

**Lehrgang  
der Härtetechnik**

**VON**

**J. Schiefer und E. Grün**

**Dritte Auflage**

# Lehrgang der Härtetechnik

von

J. Schiefer und E. Grün

Dritte Auflage

ISBN 978-3-662-26995-4

ISBN 978-3-662-28473-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-28473-5

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

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1921

Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1921

Softcover reprint of the hardcover 3rd edition 1921

## **Aus den Vorworten zur ersten und zweiten Auflage.**

Gute Werkzeuge, dauernd in gutem Zustande gehalten, sind für jedes industrielle Unternehmen von viel einschneidenderer Bedeutung als gemeinhin angenommen wird. Ihre Bedeutung und die Erkenntnis ihrer Wichtigkeit für den Betrieb wurde durch die Einführung schnellaufender Hochleistungswerkzeugmaschinen gefördert, andererseits machte sich auch der Mangel geeigneter, fachmännisch geschulter Arbeitskräfte geltend, und dies um so mehr, je höher die Anforderungen an diese stetig steigen mußten.

Um einem solchen Mangel entgegenzutreten, wurden an der Gewerbeförderungsanstalt für die Rheinprovinz in Köln a. Rhein „Kurse für Härtetechnik“ ins Leben gerufen, die in erster Linie dazu bestimmt sind, Kriegsbeschädigte der Metallindustrie einem Berufe zuzuführen, der ihnen die Möglichkeit einer ihrer Verletzung entsprechenden Betätigung gibt.

Die Verfasser, denen der Unterricht an diesen Kursen übertragen wurde, erkannten bald die Notwendigkeit eines Leitfadens dafür an, einmal um Zeit zu sparen, die dann für Erklärungen, zur Aussprache über Versuche, Beobachtungen am Mikroskop u. dgl. mehr zur Verfügung steht, dann auch, um die Schwierigkeiten bei den meist Schwerverletzten, ein Diktat nachzuschreiben, zu beseitigen. Aus diesem Grunde ist das Buch in erster Linie für den Unterricht bestimmt. Dann kann und soll es aber auch dem einigermaßen intelligenten Härter ein Hilfsmittel sein, sich mit dem von ihm behandelten Gegenstände so vertraut als nur möglich zu machen, um Fehler zu erkennen und sie zu vermeiden. Denn bekanntlich beruhen sehr viele Reklamationen der Firmen an die Stahlwerke auf nicht sachgemäßer Behandlung der Stähle in der Härtereier bzw. bei der Wärmebehandlung überhaupt. Das betreffende Stahlwerk hat dann einen seiner Härtefachleute zu

schicken, die in den meisten Fällen eine der beiden oben angeführten Ursachen als Fehlerquelle angeben müssen.

In einer zweckmäßig eingerichteten Lehrhärterei werden Werkzeuge aller Art und aller Stahlsorten unter Anleitung gehärtet, neue Stahlsorten auf ihre Härtefähigkeit geprüft, Schweißpulver, Einsatz- und Härtemittel untersucht. Sie dient auch den sonstigen Zwecken des Unterrichtes.

Die zweite Auflage bringt eine Reihe Erweiterungen und Verbesserungen in Text und Abbildungen, wobei wir Neuerungen, soweit sie uns zugänglich waren, Rechnung getragen haben. Die Druckfehler sind berichtigt worden.

Auch bei der Bearbeitung der neuen Auflage waren wir bemüht, den Charakter des Buches zu wahren: Für die Praxis!

**Die Verfasser.**

## **Vorwort zur dritten Auflage.**

In der dritten Auflage sind einige Kürzungen des Textes vorgenommen worden. Der Abschnitt „Das Roheisen“ ist fortgefallen, auch der Abschnitt „Die Prüfung des Eisens“ hat wesentliche Streichungen erfahren. Die meisten anderen Kapitel sind vertieft bzw. erweitert worden.

Dem Charakter des Buches entsprechend sollen an die Lesernennenswerte theoretische Vorkenntnisse nicht gestellt werden. Aus diesem Grunde ist der Abschnitt I als „Einleitung“ beibehalten worden. Überflüssig erscheinende Abbildungen sind fortgelassen und andere, wo erforderlich, eingefügt worden.

Unseres Erachtens wäre es wünschenswert, wenn in Werkschulen, Betriebsfachschulen u. ä. m. die „Härtereitechnik“ als Lehrfach eingeführt würde.

Allen Firmen, die durch Überlassung von Druckstöcken, Mitteilungen u. a. m. uns unterstützt haben, vor allem aber der Verlagsbuchhandlung für die vorzügliche Ausstattung des Buches und Berücksichtigung berechtigter Wünsche sei an dieser Stelle verbindlichst gedankt.

Brühl, Bez. Köln. Oberkassel, Siegburgkreis.

Frühjahr 1927.

**Die Verfasser.**

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einleitung . . . . .	1
A. Physikalische und chemische Vorgänge . . . . .	1
B. Unterschied zwischen Gemenge u. chemischer Verbindung . . . . .	1
C. Chemische Verbindungen und chemische Elemente . . . . .	2
D. Legierungen . . . . .	3
II. Stoffkunde des Eisens . . . . .	4
A. Roheisen . . . . .	7
B. Schmiedbares Eisen . . . . .	7
C. Zusammensetzung des Werkzeugstahles . . . . .	10
III. Darstellung des schmiedbaren Eisens . . . . .	13
A. Das Herdfrischen . . . . .	13
B. Das Puddeln oder Flammofenfrischen . . . . .	14
C. Raffinier- oder Gärbstahl . . . . .	16
D. Zementstahl . . . . .	16
E. Der Tiegelstahl . . . . .	17
F. Das Bessemerverfahren . . . . .	18
G. Das Thomasverfahren . . . . .	19
H. Das Siemens-Martin-Verfahren . . . . .	19
1. Das Schrotroheisenverfahren . . . . .	23
2. Das Roheisenerzfrischverfahren . . . . .	23
3. Der Bertrand-Thiel-Prozeß . . . . .	24
4. Das Hoeschverfahren . . . . .	24
5. Das Talbotverfahren . . . . .	24
6. Der Duplexprozeß . . . . .	25
J. Die Verfahren zur Erzeugung von Elektrostahl . . . . .	25
1. Lichtbogenöfen . . . . .	25
2. Induktionsöfen . . . . .	27
IV. Einteilung der Werkzeustähle nach Härtegrad und Verwendungszweck . . . . .	30
V. Äußere Beobachtungen an Werkzeugstahl, wie er in den Handel kommt . . . . .	34
VI. Prüfung des Eisens . . . . .	36
A. Physikalische Prüfverfahren . . . . .	36
1. Die Kugeldruckprobe von Brinell . . . . .	36
2. Die Kegeldruckhärte nach Ludwik . . . . .	37
3. Das Kugelfallverfahren von Shore . . . . .	38
4. Der Pendel-Härteprüfer nach Herbert . . . . .	39
5. Skalenprüfungen . . . . .	41
B. Prüfung des Eisens durch Ätzung . . . . .	42
VII. Anlage und Betriebsmittel einer Härtereier . . . . .	44
A. Lage des Härteraumes . . . . .	44
B. Feuerungsanlagen zum Erhitzen des Stahles . . . . .	46
1. Öfen für feste Brennstoffe . . . . .	47
2. Glüh- und Härteöfen mit Gasfeuerung . . . . .	55
3. Glüh- und Härteöfen mit Ölfeuerung . . . . .	62

	Seite
C. Einrichtungen zur Erzeugung der erforderlichen Verbrennungsluft . . . . .	80
D. Einrichtungen zur Temperaturmessung . . . . .	81
Elektrische Temperaturmesser und Temperaturfernschreiber	81
E. Abschreckbäder für die Werkstücke beim Härten. . . . .	100
1. Flüssigkeitsbäder . . . . .	100
2. Abkühlen in Metallen . . . . .	104
3. Abkühlen in Luft . . . . .	104
4. Abkühlen durch feste Körper . . . . .	104
F. Vorrichtungen zum Abkühlen . . . . .	108
VIII. Entlüftung des Härteraumes . . . . .	112
IX. Wärmewirtschaft im Härtereibetriebe . . . . .	113
X. Das Härten . . . . .	114
A. Das System Eisen-Kohlenstoff . . . . .	126
B. Der Schnellstahl . . . . .	140
1. Das Glühen . . . . .	144
2. Das Härten des Stahles . . . . .	145
3. Das Anlassen . . . . .	149
XI. Das Härten verschiedener Werkzeuge. . . . .	151
Stähle zum Abdrehen von Hartgußwalzen 151 — Zentrum-	
bohrer, Kanonenbohrer, Bohrmesser 151 — Gewindebohrer 153	
— Gewindebacken oder Schneidbacken 153 — Fräser 154 —	
Rohrfräser und Rohrschneider 156 — Reibahlen 157 — Scheren-	
messer, Kreisschermesser u. dgl. 157 — Fassonmesser zum	
Stanzen von Gummi, Leder u. dgl. für Sohlen, Absätze u. a. m.	
158 — Lochstempel 158 — Gravierte Prägestempel, Schlag-	
nummern usw. 159 — Rollenmesser 159 — Anfertigung von	
Schnitten 159 — Hammergesenke 161 — Hämmer 162 — Hand-	
meißel 162 — Schrotmeißel und Nietquetscher 163 — Döpper	
und Kreiskörner 163 — Ziehborne 164 — Werkzeuge für Berg-	
werksbetriebe und Steinbrüche 164 — Grubenhacken, Kreuz-	
hacken u. dgl. m. 165 — Steinhauerwerkzeuge 165 — Werk-	
zeuge aus Schweißstahl, Raffinierstahl 165.	
XII. Das Schweißen des Stahles . . . . .	166
Ausführung des Schweißens . . . . .	168
XIII. Das Löten des Stahles . . . . .	176
XIV. Das Richten beim Härten verzogener Werkzeuge. 176	
XV. Regenerieren, d. h. Verbessern des im Feuer verdor-	
benen Stahles . . . . .	179
XVI. Einsatzhärten oder Zementieren . . . . .	184
XVII. Rückkühlvorrichtungen für Härteöl . . . . .	191
XVIII. Sonstige Hilfsmittel einer Härtereier . . . . .	196
XIX. Anhang. . . . .	201
Preise des Stahles 201 — Umwandlung von englischen	
Zollen in Millimeter 202 — Gewichtstabelle 203 — Gewichts-	
tabelle für Flachstähle 204 — Deutsche Edelstahlwerke 205.	
Literaturverzeichnis . . . . .	206
Sachverzeichnis . . . . .	207

## I. Einleitung.

### A. Physikalische und chemische Vorgänge.

Die Chemie und die Physik handeln von den Naturerscheinungen, d. h. den Vorgängen, die sich in der Natur, in der Technik u. dgl. m. vollziehen, und von den Gesetzen, nach denen dies geschieht.

**Physikalische Vorgänge** sind solche, bei denen nur eine Veränderung ihrer Form, ihrer Gestalt eintritt, oder besondere Eigenschaften auftreten.

Beispiele: Durch einen Schlag mit dem Hammer wird ein Stück Kohle, Eis, Soda u. dgl. m. zertrümmert, vom ursprünglichen Stück sind sie nur nach Form und Größe verschieden. Ein weicher Eisenstab, der an sich nicht magnetisch ist, kann diese Eigenschaft erhalten, wenn man um ihn eine Spirale von Kupferdraht wickelt, durch die ein elektrischer Strom geschickt wird. Er hält nunmehr ein Bündel eiserne Nägel fest, läßt sie aber sofort wieder fallen, sobald der elektrische Strom unterbrochen wird.

**Chemische Vorgänge** sind solche, bei denen eine durchgreifende Veränderung des Stoffes entsteht. Vorhandene Stoffe verschwinden und neue Stoffe entstehen.

Beispiele: Schlägt man mit dem Hammer auf ein Zündblättchen, so nimmt man einen Lichtblitz und einen lauten Knall wahr, die pulverförmige Zündmasse ist in einen weißen Rauch verwandelt, der sich in der Luft leicht verteilt. Wird Eisen längere Zeit feuchter Luft ausgesetzt, so rostet es, wobei es seinen Glanz, seine Härte und seine Festigkeit verliert und in eine braune, leicht zerreibliche Masse übergeht.

### B. Unterschied zwischen Gemenge und chemischer Verbindung.

Bringt man in einer Reibschale Schwefelblume mit feinverteiltem Eisen zusammen und verreibt beide, so werden niemals alle Teilchen des Inhaltes der Reibschale dieselben Eigenschaften

aufweisen. Es wird immer möglich sein, mit einer Lupe die Schwefelteilchen an ihrer gelben Farbe neben den grauen Eisenteilchen zu erkennen. Durch das Zusammenreiben ist kein neuer Stoff, sondern ein Gemenge von zwei Stoffen entstanden. Beide Stoffe haben ihre Eigenschaften beibehalten. Durch diese Eigenschaften kann man sie nebeneinander erkennen und voneinander trennen. Bei der Entstehung eines Gemenges ist weder eine Wärmeentwicklung noch eine Abkühlung zu beobachten.

Erhitzt man einen Teil des Gemenges von Schwefel und Eisen an seiner Oberfläche, so wird nach kurzer Zeit die erhitzte Stelle anfangen zu glühen. Diese Erscheinung setzt sich durch das ganze Gemenge fort, auch wenn man die Wärmequelle entfernt. Nach dem Erkalten erhält man eine spröde bronzefarbene Masse. Ihre Bestandteile kann man nicht mehr erkennen, noch voneinander trennen. Man hat einen neuen Stoff, das Schwefeleisen, erhalten. Bei der Umwandlung des Gemenges von Schwefel und Eisen in die Verbindung beider Stoffe, das Schwefeleisen, wird Wärme entwickelt.

### **C. Chemische Verbindungen und chemische Elemente.**

Bei den im vorigen Abschnitte angegebenen Versuchen verschwinden zwei Stoffe und ein neuer Stoff entsteht. Derartige Vorgänge nennt man Verbindungsvorgänge oder synthetische Vorgänge. Umgekehrt nennt man Vorgänge, bei denen ein Stoff verschwindet und zwei oder mehr Stoffe entstehen, Zersetzungs Vorgänge oder analytische Vorgänge. Zersetzt man diese Stoffe soweit, bis sie sich mit den uns zur Verfügung stehenden Energiemengen nicht weiter zerlegen lassen, so gelangt man schließlich zu Ur- oder Grundstoffen, auch chemische Elemente genannt.

Diese chemischen Elemente teilt man ein in Metalle, die sich durch eigenartigen Glanz, durch Schwere, Hämmerbarkeit, Festigkeit und Schmelzbarkeit auszeichnen, Wärme und Elektrizität gut leiten und in Nichtmetalle, die jene Eigenschaften nicht oder doch nicht in demselben Maße besitzen.

Es ist nun anzunehmen, daß unter den Elementen ein gewisses Bestreben besteht, eine Verbindung einzugehen und in dieser mit einer gewissen Zähigkeit zu verharren. Dieses Vereinigungsbestreben, das mit verschiedener Geschwindigkeit erfolgen kann, hat man chemische Verwandtschaft oder Affinität genannt. Sie

setzt eine direkte Berührung der Stoffe voraus, die durch mannigfache Mittel, wie Erwärmen, Mischen mit Flüssigkeiten u. a. m. zu unterstützen ist, um den chemischen Vorgang zwischen ihnen einzuleiten.

1. Tabelle der wichtigsten Metalle und Nichtmetalle.

Name des Elementes	Chemisches Zeichen	Spezifisches Gewicht	Schmelzpunkt in °C
Aluminium . . . . .	Al	2,67	657
Blei . . . . .	Pb	11,37	326
Chrom . . . . .	Cr	6,74	2000
Eisen, rein . . . . .	Fe	7,86	1510
Flußeisen . . . . .	—	7,85	1350—1450
Stahl . . . . .	—	7,86	1300—1400
Gußeisen, grau . . . . .	—	} 7,25	1200
Gußeisen, weiß . . . . .	—		1130
Kalium . . . . .	K	0,877	62
Kohlenstoff . . . . .	C	1,5	—
Kupfer . . . . .	Cu	8,95	1057
Magnesium . . . . .	Mg	1,75	750
Mangan . . . . .	Mn	7,2—8	1900
Molybdän . . . . .	Mo	9,01	—
Natrium . . . . .	Na	0,97	96
Nickel . . . . .	Ni	8,30	1450
Phosphor . . . . .	P	1,83	44
Quecksilber . . . . .	Hg	13,57	— 40
Sauerstoff . . . . .	O	gasförmig	—
Schwefel . . . . .	S	2,07	114
Silizium . . . . .	Si	2,49	~ 3000
Titan . . . . .	Ti	—	—
Wasserstoff . . . . .	H	gasförmig	—
Wolfram . . . . .	W	19,13	etwa 3000
Zink . . . . .	Zn	7,15	420
Zinn . . . . .	Sn	7,30	230

#### D. Legierungen.

Die reinen Metalle genügen in sehr vielen Fällen nicht den Anforderungen der Praxis. Durch Zusammenschmelzen mit anderen Metallen kann man sehr oft die gewünschten Eigenschaften erreichen. Diese Mischungsprodukte oder Legierungen lassen sich entweder in jedem beliebigen Mengenverhältnis herstellen, oder es vermag das eine Metall nur eine begrenzte Menge des anderen aufzunehmen.

Auf mechanischem Wege lassen sich die Legierungen nicht in ihre Bestandteile zerlegen; soll es geschehen, so sind meist recht umständliche chemische Untersuchungsverfahren anzuwenden.

Auch das technische Eisen ist eine Legierung, d. h. eine Mischung verschiedener Elemente. Von diesen sind eine Anzahl infolge der in den Ausgangsprodukten enthaltenen Verunreinigungen hineingelangt, während andere zum Hervorbringen besonderer Eigenschaften mit Absicht zugesetzt werden.

## II. Stoffkunde des Eisens.

Wenn wir ein Stück Eisen betrachten, so ist die nächstliegende Frage wohl die, was für ein Stück Eisen haben wir da vor uns: Gußeisen, Schmiedeeisen oder Stahl. Wir versuchen an Hand uns vertrauter und bekannter Unterscheidungsmerkmale eine gewisse Einteilung, Gruppierung, vorzunehmen. Unsere Erfahrung wird uns hierbei nicht im Stiche lassen; denn wir versuchen, wenn irgend zugänglich, unser Urteil auf die Betrachtung nicht allein der Oberfläche zu beschränken, wir werden vielmehr versuchen, ein Stückchen von dem vor uns liegenden Materiale abzuschlagen, eine Bruchstelle herzustellen, die uns einen Blick in das Innere des Eisens gestattet. Wir sehen dann, daß die Bruchflächen von Gußeisen, Schmiedeeisen und Stahl recht große Unterschiede zeigen. Dunkelgrau bis schwarz die einen, wie aus lauter großen aneinandergereihten Körnern, mit zum Teil glänzenden Flächen, bestehend; die anderen hellgrau, aus feinen Körnchen oder aus lauter Faserchen zusammengesetzt, endlich ohne diese besonderen Merkmale, fast sammetartig aussehend. Doch dies genügt uns noch nicht; wir nehmen ein Vergrößerungsglas oder, wenn möglich, ein Mikroskop zu Hilfe und betrachten unsere Bruchflächen, die nun, je nach der Vergrößerungsfähigkeit des Mikroskops, ganz anders aussehen. Eine ganz neue Welt tut sich unter der scharfen Vergrößerung des Mikroskops auf. Wir erkennen, daß diese Körner und Körnchen sich voneinander sehr wesentlich unterscheiden, daß sie sich bei sehr starker Vergrößerung auflösen in Punkte, gerad- und krummlinige verästelte, mitunter tannenbaumähnliche Gebilde, weiße, helle Flächen, häufig durchzogen von feinen oder dickeren Linien. Erstaunt fragen wir uns wohl, ist das unser Eisenstückchen! Ist das alles auch Eisen oder sind da nicht andere Sachen drin, die zu erkennen oder zu bestimmen wichtig wäre! Was ist die Ursache dieser Gebilde, wie entstehen sie, in welcher Weise beeinflussen sie unser Eisen! Eine Reihe solcher Fragen

legen wir uns vor, und — möchten sie gerne beantworten. Nun, die Wissenschaft hat alle diese Fragen geklärt und gibt uns die Mittel in die Hand, sie zu lösen.

Offenbar ist nun das, was wir als Eisen anzusprechen gewohnt waren, gar kein reines Eisen, sondern wahrscheinlich eine Mischung aus diesem und einer Reihe anderer Stoffe.

Dem ist in der Tat so. Ganz reines Eisen oder wie man zu sagen pflegt, „chemisch reines Eisen“ herzustellen ist sehr schwierig; für die Praxis ist es ohne jede Bedeutung, weil ihm alle die Eigenschaften fehlen, die für uns so wertvoll sind. Man hat es nur zu wissenschaftlichen Untersuchungszwecken im Laboratorium hergestellt.

Vorstehend wurde die Betrachtung der Bruchflächen durch das Mikroskop erwähnt, die uns neue Einblicke in den Gefügebautbau der Stoffe gibt. Nur auf Metalle angewendet ist darauf ein Sonderzweig technischer Untersuchungsmethoden aufgebaut worden „die Metallographie“, die heute für die Technologie unentbehrlich ist<sup>1)</sup>.

Das chemisch reine oder doch kohlenstofffreie Eisen hat in der Metallographie den Namen „Ferrit“ erhalten (Abb. 1). Durch Behandlung geschliffener Metallflächen mit Säuren, z. B. Pikrinsäure, Salpetersäure u. a. und bei starker Vergrößerung treten Ätzfiguren auf, wie sie die Abb. 1 und folgende zeigen.

Hinsichtlich Abb. 1 ist zu bemerken, daß Ferrit von heller

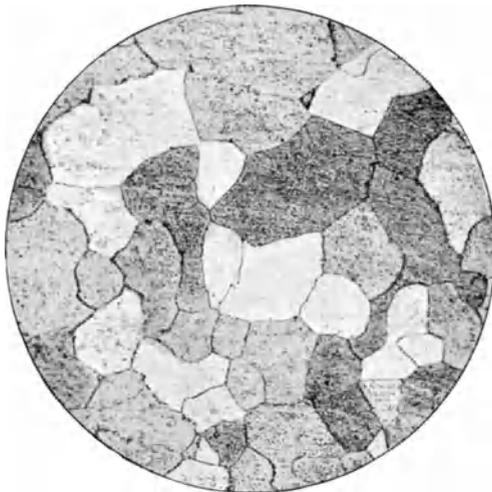


Abb. 1. Reines Eisen. Ferrit. Vergrößerung = 200.  
(Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstähle.)

<sup>1)</sup> Vgl. auch S. 42, Prüfung des Eisens durch Ätzung, von Dr.-Ing. Preuß.

Farbe ist: die dunkleren Linienzüge sind die Umgrenzungslinien der Kristalle.

Das, was wir gemeinhin als Eisen bezeichnen, ist ein Gemisch, eine Legierung von Eisen mit einer großen Anzahl anderer Stoffe, Elemente genannt. Die wichtigsten hiervon sind: Kohlenstoff, Mangan, Silizium, Phosphor und Schwefel. Wir werden später noch eine Reihe anderer und ihren Einfluß auf das Eisen kennen lernen.

Wie kommen nun diese Elemente in das Eisen hinein. Eisen-



Abb. 2. Der glatte weiße erhabene Teil ist Eisenkarbid (sog. Cementit), der glatte vertiefte weiße Teil ist kohlenstoffreies Eisen (Ferrit), der schwarze ist Temperkohle Vergrößerung = 500. (Aus Wawrziniok, Handbuch des Materialprüfungswesens.)

erze verschiedener Zusammensetzung und Herkunft werden unter Verwendung von Koks im Hochofen zu Eisen niedergeschmolzen. Die verschiedenartige Zusammensetzung der Erze einerseits und das benutzte Brennmaterial andererseits, Koks aus Kohle gewonnen, bringen es mit sich, daß eine große Zahl der in ihnen enthaltenen Beimengungen in das flüssige Eisen übergehen und beim Er-

starren darin bleiben, wie beispielsweise die vorerwähnten. Ihre chemische Verwandtschaft zum Eisen ist teilweise so groß, daß es bei den weiteren hüttentechnischen Prozessen besonderer Hilfsmittel bedarf, um sie wieder daraus zu entfernen, als sie, da unerwünscht, keinen günstigen Einfluß auf das Fertigerzeugnis ausüben.

Das wichtigste mit dem Eisen legierte Element ist der Kohlenstoff. Je nach den darin enthaltenen Mengen hat man im jeweils vorliegenden Falle Roheisen oder schmiedbares Eisen. Auch die Formen, in welchen er darin enthalten ist, können recht verschieden sein; die wichtigsten sind:

Hrätungskohle, Karbidkohle: der Kohlenstoff ist mit dem Eisen chemisch gebunden als Eisenkarbid. (Abb. 2.)

Graphit, Temperkohle: Der Graphit entsteht durch Zersetzung des Eisenkarbids.

Bei hohen Temperaturen ist Eisenkarbid im freien Zustande unbeständig, d. h. es zersetzt sich leicht in Kohlenstoff und Eisen. Kann hierbei der gebildete Kohlenstoff seinem Bestreben zu kristallisieren folgen, so bildet sich Graphit. Im Innern der Metallmasse bildet er dünne Blättchen.

Man erhält also nach der Menge und der Art des im Eisen enthaltenen Kohlenstoffes folgende Einteilung:

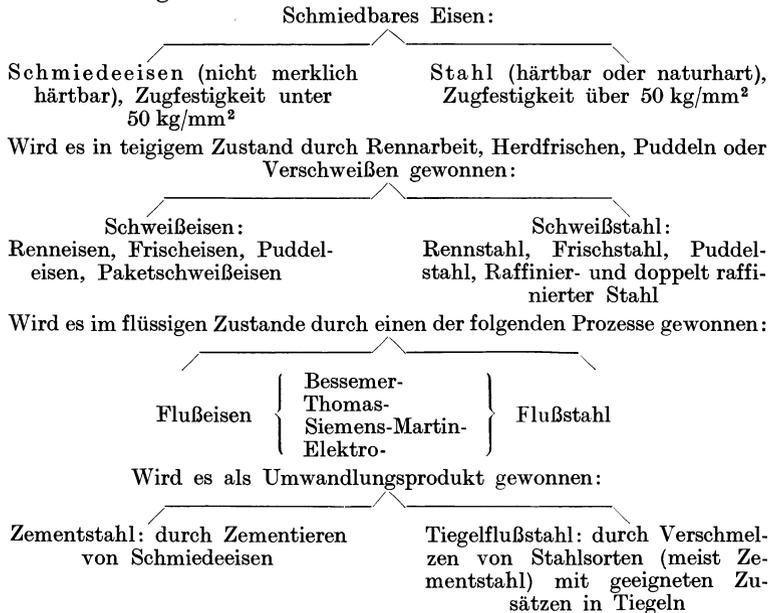
### A. Roheisen

mit 2 bis etwa 7 vH Kohlenstoff, leicht schmelzbar, läßt sich nicht schmieden.

### B. Schmiedbares Eisen

enthält weniger als 2 vH Kohlenstoff, ist schmiedbar, strengflüssiger.

Das schmiedbare Eisen kann eingeteilt werden nach seinem Herstellungsverfahren:



Schmiedbares Eisen bildet sehr leicht Kristalle, nicht nur beim Erstarren aus dem flüssigen Zustande, also beim Flußeisen, sondern auch, wenn es sich in teigiger Form beim Frischen im Puddelofen bildet, wie beim Schweißeisen. Im massiven Ma-

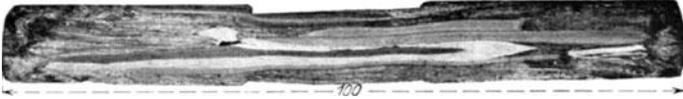


Abb. 3. Schweißen. Flachstab. (Aus Preuß, Die prakt. Nutzenanwendung der Prüfung des Eisens usw.)

terial hindern sich die Kristalle gegenseitig in ihrer freien Bildung. Wird ein solches Stück durchgebrochen, so sieht man auf der Bruchfläche die einzelnen, unregelmäßig begrenzten Kristallflächen, die man als „Korn“ bezeichnet.

Bei der Bearbeitung des Eisens nach einer Richtung hin, z. B. im Walzwerk, können die einzelnen Kristalle so zusammengedrückt werden, daß sie sich zu „Sehnen“ zusammenlagern, wie es beim Schweißeisen besonders auffällig zu sehen ist (Abb. 3).

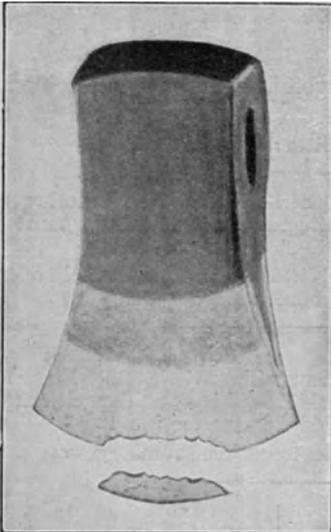


Abb. 4. Sprung in der Schneide eines Belles, hervorgerufen durch Blaubruch. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstähle.)

Die Korngröße wird einmal von der chemischen Zusammensetzung, dann auch von der Art der Behandlung und Bearbeitung beeinflußt. Eisen mit höherem Kohlenstoffgehalt zeigt feineres Korn als weniger gekohltes Eisen. Ähnlich wirkt Mangan; ein höherer Phosphorgehalt bewirkt gröberes Korn. Bei erhitztem und plötzlich abgekühltem Stahl wird das Gefüge feinkörniger; langsame Abkühlung gibt gröberes Korn.

Durch kräftige mechanische Bearbeitung werden die Kristalle zusammengedrückt, hierdurch wird das Gefüge feinkörniger. Stähle mit höherem Kohlenstoffgehalt zeigen nach dem Härten oft ein

so feines sammetartiges Gefüge, daß mit bloßem Auge keine Kristallbildung auf der Bruchfläche zu erkennen ist.

**Blaubruch.** Wird das Eisen bei einer Temperatur von etwa 300° bis 400° C, die der blauen Anlauffarbe entspricht, bearbeitet, so tritt leicht Neigung zum Bruch auf, die man als „Blaubruch“ bezeichnet (Abb. 4).

Je reiner das Eisen, um so leichter ist es schmiedbar. Mit wachsendem Kohlenstoffgehalte nimmt die Schmiedbarkeit ab, bei etwa 1 vH Kohlenstoff ist sie sehr gering, bei über 1,6 vH ist sie nicht mehr vorhanden. Ein höherer Siliziumgehalt wirkt ähnlich; ein Mangangehalt bis zu etwa 1 vH erhöht die Schmiedbarkeit, setzt sie aber bei größeren Mengen wieder herab.

**Kaltbruch.** Phosphor in Mengen von 0,03 vH und mehr macht das Eisen kaltbrüchig, beeinflußt aber kaum die Schmiedbarkeit.

**Rotbruch.** Schwefel, schon von 0,1 vH übt eine äußerst ungünstige Wirkung aus, er macht das Eisen besonders bei dunkler Rotglut sehr Brüchig:

„Rotbruch“. Der Rotbruch wird dadurch hervorgerufen, daß das im schwefelreichen Eisen vorhandene Eutektikum  $Fe = FeS$  schon in der Rotglut flüssig wird und dadurch den Zusammenhang der Eisenkristallkörner vermindert, ja ganz unterbrechen kann.

**Faulbruch.** Bei großen Mengen Schlackeneinschlüssen zeigt das Eisen beim Schmieden Neigung zur Rißbildung, die man als „Faulbruch“ bezeichnet.

**Schwarzbruch.** Beim Ausglühen kohlenstoffreicher Stähle und bei hochlegierten Nickelstählen kann „Schwarzbruch“ auftreten. Der Bruchquerschnitt eines schwarzbrüchigen Stahles zeigt ein mattes, infolge der Ablagerung von Temperkohle schwarz gefärbtes Aussehen im Vergleich zu der hellen, unverändert gebliebenen Umgebung (Abb. 5). Er ist nur selten zu beobachten.

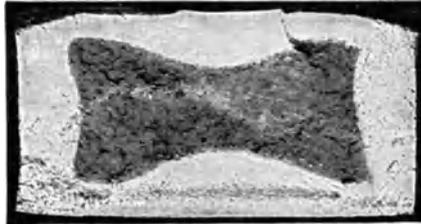


Abb. 5. Bruchquerschnitt eines schwarzbrüchigen Werkzeugstahles.  $\frac{2}{3}$  nat. Gr. (Aus Goerens, Metallographie.)

Um zwei aufeinandergelegte Eisenstücke zu schweißen, sind sie auf helle Weißglut zu erhitzen, wodurch das Eisen in einen teigartigen Zustand übergeht. An der Schweißstelle müssen sie eine metallisch reine Berührungsfläche besitzen, also nicht von einer Rost- oder Glühspanschicht überzogen sein. Zur Vermeidung der Bildung einer Oxydationsschicht bestreut man die zu vereinigenden Flächen mit sogenanntem Schweißpulver, welches bei der hohen Temperatur mit den Eisenoxyden eine leicht schmelzbare und dünnflüssige Schlacke bildet, die unter dem zum Schweißen erforderlichen Drucke herausgepreßt wird und so die reinen Metallflächen freilegt.

Bis 1 vH Kohlenstoffgehalt ist das Eisen noch schweißbar, bei über 1,6 vH Kohlenstoff verliert es die Schweißbarkeit fast vollständig. Mangan wirkt ungünstig auf die Schweißbarkeit, weshalb der Mangangehalt nicht über 1 vH sein soll. Silizium übt keinen so großen Einfluß aus, soll jedoch nicht mehr als 0,2 vH enthalten. Phosphor und Schwefel sind auf die Schweißbarkeit kaum von Belang.

### C. Zusammensetzung des Werkzeugstahles.

Im allgemeinen wird unter Stahl ein Eisen verstanden, welches, bis zur Rotglut erhitzt und rasch abgekühlt, eine solche Härte annimmt, daß es durch die Feile nicht angegriffen wird. Diese Eigenschaft der Härte wird dem Eisen durch einen Kohlenstoffgehalt von etwa 0,4 bis fast 2 vH erteilt. Die Stähle selbst teilt man wieder ein in Werkzeugstahl und Maschinenstahl. Vorstehende, über den Stahl im allgemeinen abgegebene Erklärung ist grundlegend für den Werkzeugstahl. Durch diese Fähigkeit beim Härten glashart zu werden, kann er hartes Gußeisen, harten Stahl und andere Metalle schneiden. Da nun beim Schneiden die Schneidkante einer hohen und wechselnden Beanspruchung ausgesetzt ist, muß Werkzeugstahl auch eine gewisse Zähigkeit besitzen. Hierdurch, nämlich durch die Härte, bei gleichzeitig vorhandener Zähigkeit, wird die Schneidhaltigkeit bedingt. Diese hohen, an Werkzeugstahl zu stellenden Forderungen sind nur unter gewissen Bedingungen erreichbar:

- a) Wenn er eine bestimmte chemische Zusammensetzung besitzt.
- b) Wenn er möglichst frei von schädlichen Bestandteilen ist.

Schon geringe Mengen beeinträchtigen die Güte des Stahles wesentlich.

c) Wenn bei gleichmäßigem, feinem Korn das Gefüge gut durchgearbeitet ist.

d) Wenn dieses frei von Schlackeneinschlüssen, Blasen, Falten, Rissen u. dgl. m. ist, und

e) dieses durch unsachgemäße Wärmebehandlung nicht verdorben wurde.

Wir sahen, daß die wichtigsten Eigenschaften des Stahles, nämlich Festigkeit, Härte, Härbarkeit und Schneidhaltigkeit im wesentlichen durch den Gehalt von Kohlenstoff bedingt werden. Da der Kohlenstoff also Hauptlegierungsbestandteil ist, hat man für Werkzeugstähle folgende Bezeichnungen eingeführt:

a) Kohlenstoffstähle.

b) Legierte Stähle, Spezialstähle oder Sonderstähle. Edelmetalle.

a) **Kohlenstoffstähle.** Hier beträgt der Kohlenstoffgehalt 0,8 bis 1,6 vH. Daneben enthält er noch geringe Mengen von Mangan.

b) **Legierte Stähle.** Es sind Stähle, die außer mit Kohlenstoff noch mit anderen Elementen legiert sind. Als Legierungsstoffe werden in der Regel benutzt: Mangan, Chrom, Wolfram, Molybdän, Kobalt und Vanadium.

**Mangan.** Im gewöhnlichen Werkzeugstahl ist es in Mengen von etwa 0,2 bis 0,5 vH, selten 0,8 vH enthalten. Härte und Festigkeit wird erhöht, bei gleichzeitiger Abnahme der Zähigkeit, Schmied- und Schweißbarkeit. Der im Handel vorkommende Manganstahl hat in der Regel nur den normalen Mangangehalt; er trägt diese Bezeichnung, um ihn freier von Poren und Rissen als anderen Stahl zu kennzeichnen. Unlegierte Stähle haben selten über 0,8 vH Mangan. Manganhartstahl hat etwa 10—14 vH Mangan. Er ist so hart, daß er nicht mit schneidenden Werkzeugen bearbeitet werden kann. Er ist aber gut schmiedbar und zeichnet sich durch hervorragende Festigkeitseigenschaften, besonders Verschleißfestigkeit aus.

**Nickel.** Er ist einer der wertvollsten Legierungsbestandteile. Weder die Warm- und Kaltbildsamkeit, noch die Schweißbarkeit werden durch Nickel beeinflusst. Die Festigkeit wird wesentlich erhöht ohne Verminderung der Dehnbarkeit. Durch das Härten wirkt Nickel nicht so günstig. Nickelstähle werden in der Haupt-

sache als Konstruktionsstähle Verwendung finden, d. h. bei hochbeanspruchten Maschinenteilen, die leicht sein müssen, also verhältnismäßig schwach zu bemessen sind. Auch die einige Prozente Chrom enthaltenden Chromnickelstähle werden hierfür verwendet. Niedrig legierte Stähle dieser Art härtet man vorteilhafterweise im Einsatz.

**Chrom.** Die Warmbildsamkeit wird durch Chrom nicht beeinflusst. Über den Einfluß des Chroms auf die Kaltbildsamkeit liegen keine Versuche vor. Die Schweißbarkeit soll bereits bei 0,3 vH Chrom verschwunden sein.

Chrom erhöht die Festigkeit. Niedrig legierte Chromstähle mit etwa  $1 \div 2$  vH Cr werden für Kugeln und Kugellager sowie für Dauermagnete verwendet, weil Chrom die Remanenz und Koerzitivkraft des schmiedbaren Eisens steigert. Werkzeuge, die sich beim Härten nicht verziehen dürfen, Warmgesenke und Auspuffventile von Verbrennungskraftmaschinen werden vielfach aus hochlegierten Chromstählen mit etwa 12 vH Chrom hergestellt. Chrom macht den Stahl besonders widerstandsfähig gegen Schlag und Stoß.

**Wolfram.** Warmbildsamkeit wird durch Wolfram nicht beeinflusst. Beim Schmieden soll Wolframstahl sehr vorsichtig vorgewärmt werden, um Spannungsrisse zu vermeiden. Geschmiedet werden sie bei etwas höheren Temperaturen als die Kohlenstoffstähle, wegen ihrer größeren Festigkeit und Härte im rotwarmen Zustande. Von großer Bedeutung ist, daß ein Wolframgehalt von 12—20 vH die Schneidhaltigkeit der Stähle auch bis zur Rotglühhitze bewirkt. Auch geringe Zusätze von etwa 1—2 vH Wolfram erhöhen die Verschleißfestigkeit des Stahles. Wiederholte Feuerbehandlung schadet, da die Schneidhaltigkeit rasch sinkt, die Sprödigkeit und Rißbildung beim Härten zunimmt.

**Molybdän.** Der Zusatz von Molybdän wirkt ähnlich wie der von Wolfram. Es ersetzt etwa die zwei- bis dreifache Menge Wolfram. Da Molybdän ein sehr teures Element ist, wird es seltener verwendet.

**Vanadium.** Vanadium besitzt eine sehr große Verwandtschaft zum Sauerstoff und eine außergewöhnlich hohe Verwandtschaft zum Kohlenstoff. Infolgedessen wirkt es im Stahl vorzüglich desoxydierend und auch entgasend. Sein hoher Preis und die Schwierigkeit, damit legierte Stahlgattungen herzustellen, hindern die Verwendung.

### III. Darstellung des schmiedbaren Eisens.

Beim Niedergange der Erze im Hochofen und Verschmelzen zu Roheisen ist es erklärlich, daß dieses außer Kohlenstoff noch eine Menge anderer Elemente im geschmolzenen Zustande aufnimmt, die, einen wesentlichen Bestandteil bildend, im Roheisen bleiben. Es sind dies Silizium, Mangan, Phosphor, geringere Anteile Schwefel u. a. Die Umwandlung in schmiedbares Eisen besteht im wesentlichen in der Entfernung dieser Nebenbestandteile durch Verbindung mit Sauerstoff (Oxydation); teils entweichen sie als Gase (Kohlenoxyd  $\text{CO}$ , schweflige Säure  $\text{SO}_2$ ), teils bilden sie eine Schlacke. Man nennt diesen Vorgang „Frischen“.

Wird bei der Darstellung schmiedbaren Eisens dessen Schmelzpunkt nicht überschritten, so erhält man es als festen Körper in Gestalt von kleinen Kristallen, die bald zu Klumpen zusammenschweißen. Dieses Eisen nennt man daher Schweiß Eisen.

Wird die Schmelztemperatur überschritten, so daß dieses Eisen in flüssigem Zustande gewonnen wird, so heißt es Flußeisen.

#### A. Das Herdfrischen.

Das älteste Verfahren ist das Herdfrischen, bei dem das Roheisen in einem Holzkohlenfeuer niedergeschmolzen wird, wobei das abschmelzende Metall durch einen die Verbrennung unterhaltenden Windstrom tropft. Die Nebenbestandteile Kohlenstoff, Mangan, Silizium, Phosphor und Schwefel verbinden sich leichter mit Sauerstoff als das Eisen. Das Schmelzen wird ein oder mehrere Male wiederholt, so daß jeder Einsatz darnach weniger davon enthält. Man erhält ein immer reineres Eisen, das Verfahren wird im Frischherde oder Frischfeuer durchgeführt.

Da die Anwendung eines reinen Brennstoffes wie Holzkohle Vorbedingung ist, findet es nur in sehr holzreichen Gegenden wie Schweden, Steiermark und Bosnien Anwendung. Die erzeugbare Menge Schmiedeeisen ist gering. Da das herdgefrischte Eisen nahezu frei von Schwefel und Phosphor gewonnen werden kann, wird es für besondere Eisensorten angewendet, z. B. das schwedische Eisen zur Erzeugung von Zementstahl, steiermärkisches Frischeisen für steierischen Rohstahl u. dgl. m.

Das Produkt heißt Lancashire-Eisen. Es dient als Einsatz zur Erzeugung von Tiegelstahl.

### B. Das Puddeln oder Flammofenfrischen (Abb. 6)

Der Mangel an Holzkohlen und die Unmöglichkeit, sie beim Herdfrischen durch Steinkohlen oder Koks zu ersetzen, führte zur Erfindung des Puddelns. Hier kommt nur die Flamme, nicht der Brennstoff, mit dem schmelzenden Eisen in Berührung. Die Oxydation der Beimengungen des Roheisens erfolgt hier im wesentlichen durch den Eisenoxydgehalt des Herdfutters und

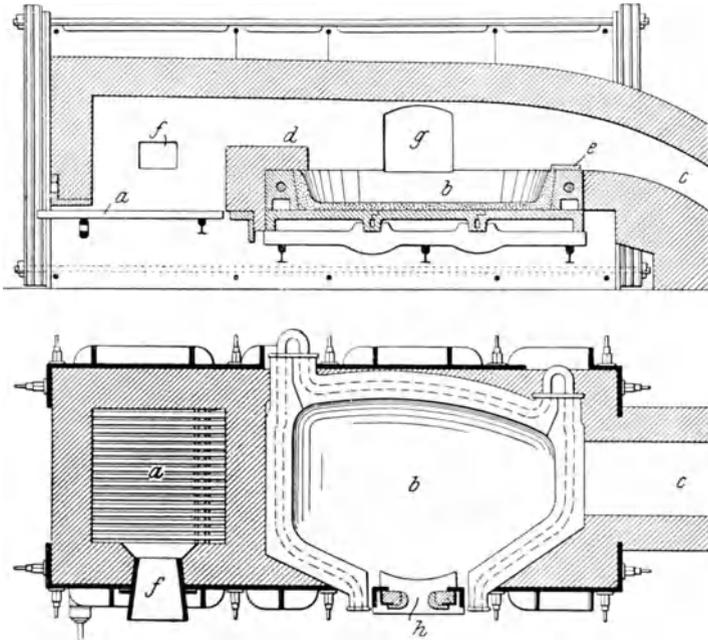


Abb. 6. Puddelofen. (Aus Gemeinfaßliche Darstellung des Eisenhüttenwesens.)

der Schlacke. Herdfutter und Schlacke müssen deshalb reich an Eisenoxyden ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sein. Zu dem Zwecke gibt man Hammer-schlag, Erze, Walzensinter, Schweiß- und alte Puddelofenschlak-ken zu.

Der Ofen wird auf helle Glühhitze gebracht, der Einsatz, etwa 300 kg Roheisen, schmilzt binnen 35 Minuten. Während dieser Zeit wirken die an Sauerstoff und Kohlensäure reichen Feuergase oxydierend auf das Eisen ein und verbrennen vorwiegend das darin enthaltene Silizium. Da das abschmelzende Eisen sofort von der

Schlacke bedeckt und der weiteren Einwirkung der Feuergase entzogen wird, so muß der Puddler durch Rühren mit dem Haken das Eisen mit den Feuergasen in Berührung bringen. Es wird dabei der Rest Silizium und nun auch Mangan und Eisen in größeren Mengen oxydiert, und zwar teils durch den Sauerstoff der Feuergase, teils durch den Sauerstoff des Eisenoxyduls der Schlacke sowie durch Einwerfen von Garschlacke und Hammerschlag. Nun bemerkt man, wie an der Schlacke Gasblasen aufsteigen, die mit blauer Flamme verbrennen: es ist Kohlenoxyd, d. h. der Kohlenstoff wird jetzt oxydiert. Die Gasentwicklung wird immer lebhafter, das ganze Bad kocht. Je weiter die Entkohlung fortschreitet, desto strengflüssiger wird das Eisen und die Ofenhitze reicht nicht mehr aus, das Bad flüssig zu halten, das Metall beginnt zu erstarren. Nun wird durch Steigerung der Temperatur im Ofen erreicht, daß sich einzelne Eisenkriställchen abscheiden, sie heben sich wie glänzende Punkte von der dunkleren Schlacke ab. Diese Kriställchen schweißen zu Klumpen zusammen, wodurch weiteres Rühren unmöglich wird. Das Roheisen ist jetzt in schmiedbares Eisen verwandelt, aber noch nicht gleichmäßig genug entkohlt. Diese Gleichmäßigkeit des Kohlenstoffgehaltes erzielt der Puddler durch das „Aufbrechen und Umsetzen“. Er vertauscht den Rührhaken mit einer starken Brechstange, der „Spitze“, mit welcher er die erstarrte Masse in einzelne Klumpen losbricht, umwendet und aufeinanderhäuft; wenn nötig, wird diese Arbeit wiederholt. Dann schreitet er zum Luppenmachen, d. h. er teilt den großen Eisenballen in vier bis sechs Stücke, rollt sie auf dem Herde hin und her, um ihnen annähernd Kugelgestalt zu geben und die umliegenden kleinen Eisenmassen mit ihnen zusammenzuschweißen. Durch Steigerung der Ofentemperatur wird die das schwammige Eisen durchsetzende Schlacke zum Fließen und Abscheiden gebracht. Nun werden die Luppen einzeln unter dem Dampfhammer fester zusammengeschweißt, wodurch der größte Teil der noch darin enthaltenen Schlacke ausgepreßt wird, endlich im Walzwerk zu „Rohschienen“ ausgewalzt.

Beim Puddeln auf Stahl oder Feinkorn wird graues Roheisen allein oder im Gemenge mit manganreichem, hochstrahligem und Spiegeleisen verwendet, weil eine dünnflüssige, kieselsäure- und manganreiche Schlacke die Entfernung des schädlichen Schwefels begünstigt.

### C. Raffinier- oder Gärbstahl.

Das im Puddelofen gewonnene Erzeugnis wird dadurch weiter verbessert, daß man versucht aus den Rohschienen durch Verschweißen und neuerliches Aushämmern oder Walzen eine größere Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung über den ganzen Querschnitt zu erreichen. Dieses Verfahren heißt „raffinieren“ oder „gärben“. Daher bezeichnet man einmal verschweißten Stahl als „Raffinierstahl“ und zweimal hintereinander so behandelten als „doppelt raffinierten Stahl“ bzw. als „Gärbstahl“.

Die nach dem Bruchaussehen gesonderten Rohschienen werden zu Paketen zurechtgelegt, mit geeignetem Draht, Blech oder Flacheisen verschnürt und nach dem Erhitzen im Schweißofen zu den gewünschten Halbzeugen ausgewalzt. Hierdurch wird eine größere Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung erreicht und der hohe Schlackengehalt der Rohschienen verringert.

### D. Zementstahl.

Das „Zementieren“ oder das „Kohlen“ des Eisens bezweckt dessen Kohlenstoffgehalt zu erhöhen. Weiches, reines Schmiedeeisen, wird also durch Zuführung von Kohlenstoff und Erhitzen in Stahl verwandelt. Bei höherer Temperatur nimmt nämlich das Eisen auch im festen Zustande Kohlenstoff auf. Der so gewonnene „Zementstahl“ eignet sich besonders zur Bereitung eines guten Tiegelstahles.

Der Vorgang ist folgender: Flache Schweiß Eisenstäbe, 10 bis 20 mm dick, 50—100 mm breit, packt man in große, bis 8 oder 12 t Eisen fassende, gemauerte Kisten zwischen zerkleinerte Holzkohle und glüht das Ganze bei etwa 1000° C 7—12 Tage lang, worauf man die Kisten während 5—7 Tagen langsam abkühlen läßt. Dabei wandert der Kohlenstoff in das Eisen bis in das Innerste der Stäbe. Die Menge des aufgenommenen Kohlenstoffes ist von der Höhe der Temperatur, der Dauer des Glühens und der Dicke der zu zementierenden Stücke abhängig.

Das Erzeugnis hat einen Kohlenstoffgehalt von 0,8—1,5 vH und ist auf dem Bruche grau und grobblättrig. Der in das Metall eindringende Kohlenstoff bildet in der Regel mit dem reichlich vorhandenen Sauerstoff der Schlackeneinschlüsse auf der Oberfläche Blasen. Dieser Blasenstahl kann nur als Einsatzmaterial

für die Gußstahlfabrikation verwendet werden. Zementstahl enthält noch Schlackeneinschlüsse, auch ist der Kohlenstoffgehalt nicht in allen Teilen gleichmäßig hoch, erfordert also einen Ausgleich. Beides kann man erreichen, entweder

- a) durch Zusammenschweißen mehrerer Rohstäbe oder
- b) durch Umschmelzen.

Ersteres, das ältere Verfahren, heißt Gärben und ist schon oben näher angegeben worden. Für Flußstahl ist letzteres in Aufnahme gekommen; das Erzeugnis heißt Tiegelstahl.

### E. Der Tiegelstahl. (Abb. 7.)

(B. Huntsman 1730.)

Zum Umschmelzen benutzt man Tiegel aus feuerfestem Ton mit Graphitzusatz.

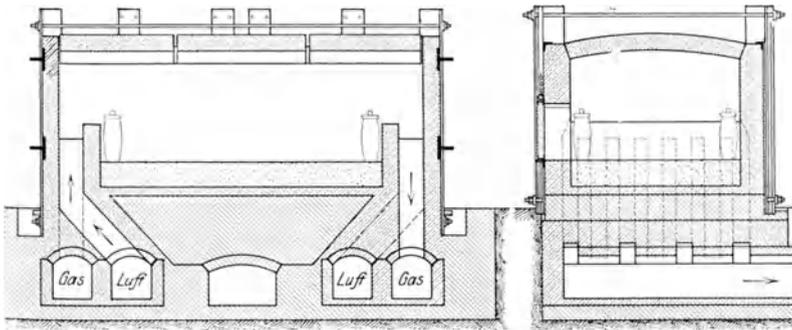


Abb. 7. Tiegelofen.

Die Schmelzöfen werden mit Siemens-Gasfeuerung (Regenerativfeuerung), unter Wiedergewinnung der Abgaswärme in Wärmespeichern, Rekuperatoren, betrieben. 20—100 Tiegel werden gleichzeitig eingesetzt und nach dem fertigen Schmelzen mittels langer Zangen aus dem Ofen geholt und in die Gußform oder Kokille entleert. Das Wesen des Tiegelstahls beruht auf der Läuterung des Stahles von der eingeschlossenen Schlacke. Hierunter sind die im Metall mechanisch eingeschlossene Silikatschlacke wie auch die gelösten Oxyde zu verstehen. Der Vorgang findet in folgender Weise statt<sup>1)</sup>: In dem sehr dünnflüssig gehaltenen Metallbad steigt die mechanisch eingeschlossene Schlacke vermöge ihres geringen spezifischen Gewichtes an die Oberfläche. Die gelösten

<sup>1)</sup> S. a. Mars: Spezialstähle. S. 449.

Oxyde des Metallbades werden entweder von dem Kohlenstoff des Stahles oder der Tiegelwand reduziert, wodurch ein Aufwallen des Tiegelinhaltes entsteht, oder sie bilden mit dem Ton der Tiegelwand eine Schlacke, welche ebenfalls an die Oberfläche des Metallbades steigt. Die so von selbst entstandene Schlackendecke des Stahles tritt in Wechselwirkung mit der Tiegelwandung. Aus der stark eisenoxydhaltigen Schlacke wird Eisen reduziert, wodurch sehr kieselsäurereiche Schlacken entstehen, welche keinen nennenswerten Einfluß mehr auf das Metallbad haben. Damit ist die Wirkung des Tiegelschmelzverfahrens erreicht und dieses selbst beendet.



Abb. 8. Zustand des Schmelzergutes im Tiegel (an der Luft erkaltet).

Die Qualität des Tiegelstahles ist ganz vorzüglich, seine Darstellung aber kostspieliger als jede andere. Zur Verbesserung seiner Festigkeitseigenschaften und Schneidfähigkeit setzt man dem Tiegelstahl noch andere Metalle zu wie Wolfram, Chrom, Nickel, Molybdän, Vanadium usw. und zwar in verhältnismäßig kleinen Mengen.

In Abb. 8 ist ein Tiegel im Längsschnitt abgebildet. Die Veränderung des Tiegelinhaltes entsprechend der Schmelzdauer ist deutlich erkennbar.

## F. Das Bessemerverfahren. (Abb. 9.)

(Henry Bessemer 1855.)

Hier wird die Umwandlung des grauen Roheisens in Flußstahl dadurch bewirkt, daß durch das flüssige Roheisen Wind hindurch

geblasen wird. Durch den Sauerstoff der Luft wird Mangan, Silizium und Kohlenstoff verbrannt. Die durch die fast vollständige Entkohlung nötige Wärmemenge wird durch das Verbrennen des Siliziums erreicht. Ein Prozent Silizium im Roheisen, das zu  $\text{SiO}_2$  verbrennt, erhöht die Badtemperatur um etwa  $200^\circ \text{C}$ .

Das Verfahren wird in einem „Konverter“ durchgeführt. Der Phosphorgehalt bleibt im Flußstahl, weshalb höchstens 0,1 vH P im flüssigen Roheisen zuzulassen sind.

### G. Das Thomasverfahren.

(Thomas und Gilchrist 1878.)

Durch das von beiden verwendete basische Futter gelang die Entphosphorung des Roheisens in genügender Weise. Hier erfolgt die Erhöhung der Badtemperatur durch Verbrennen des Phosphors. Denn wenn 1 vH P zu  $\text{P}_2\text{O}_5$  verbrennt, erhöht sich die Badtemperatur um  $120^\circ \text{C}$ , der Roheiseneinsatz muß also einen Phosphorgehalt von rund 2 vH haben.

Beide Verfahren kommen für die Herstellung von legierten Stählen und Kohlenstoffstählen nicht in Frage. Sie sind auch nur der Vollständigkeit halber erwähnt worden.

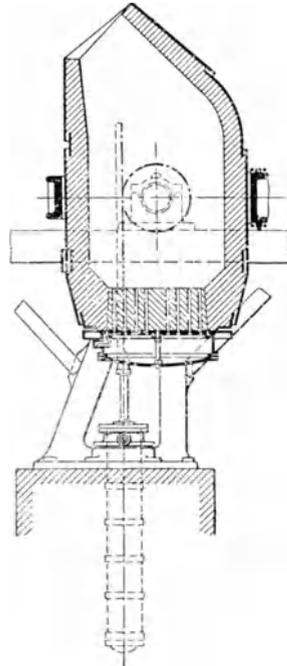


Abb. 9. Bessemerbirne. (Aus Gemeinfaßliche Darstellung.)

### H. Das Siemens-Martin-Verfahren. (Abb. 10a u. 10 b.)

(P. Martin und W. von Siemens 1865.)

Hier erfolgt die Darstellung des schmiedbaren Eisens auf dem Herde eines Flammofens, der, in gleicher Weise wie beim Windfrischverfahren, mit saurerer Masse (Quarz) oder basischer Masse (Dolomit) ausgekleidet werden kann. Die basische Zustellung wird weitaus am meisten angewandt wegen der Möglichkeit, auf dem basischen Herde den Phosphor aus dem Bade abscheiden zu können.

Anfangs benutzte man das Verfahren zur Verwertung der Abfallstücke (Schrot), indem diese unter Zusatz von Roh-

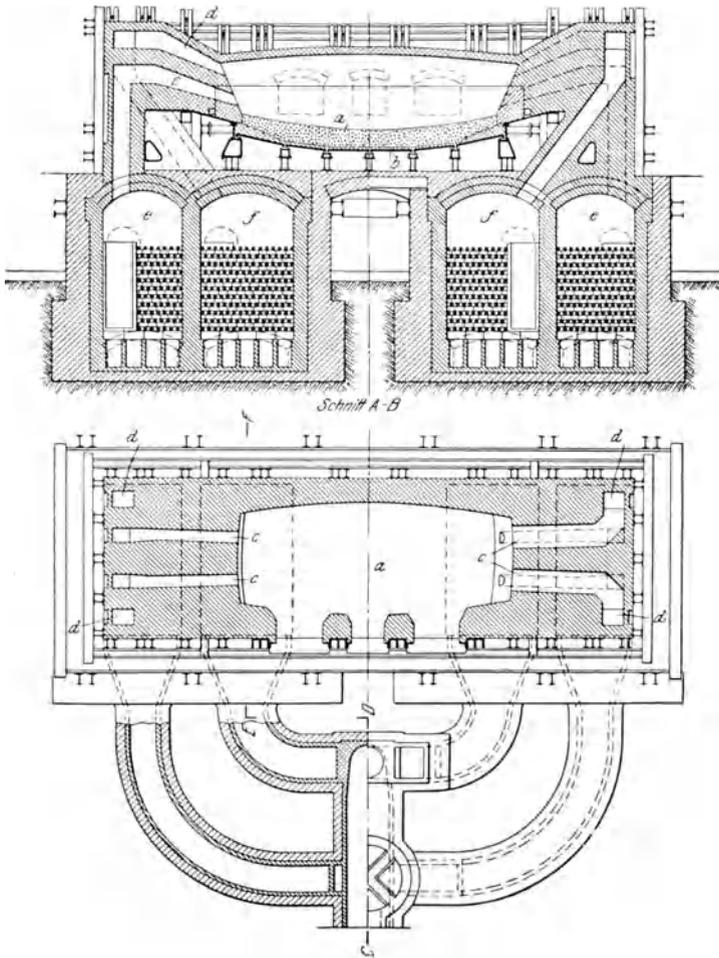


Abb. 10a. Siemens-Martin-Ofen im Längsschnitt. (Aus Gemeinfaßliche Darstellung.)

eisen eingeschmolzen wurden. Allmählich hat es sich zu einem selbständigen Frischverfahren entwickelt und dadurch große Bedeutung erlangt.

Der Heizstoff ist vorwiegend Kohlenoxydgas, das in besonderen Gaserzeugern, den Generatoren, hergestellt wird. Mit Luft gemischt verbrennt es unter großer Wärmeentwicklung. Eine weitere Temperatursteigerung erzielt man durch Vorwärmung der Heizgase und der Verbrennungsluft, indem man die aus dem Ofen strömenden, noch sehr heißen Verbrennungsgase durch Kammern mit gitterförmiger Steinfüllung, die man Wärmespeicher oder Rekuperatoren nennt, leitet, wodurch dieses Gitterwerk

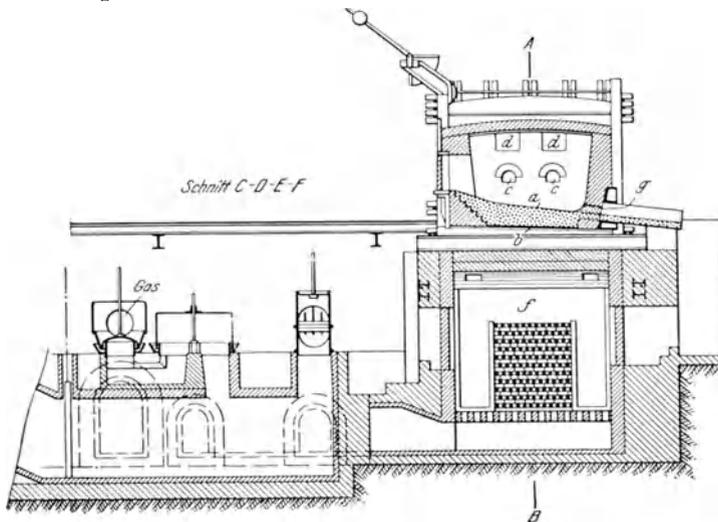


Abb. 10 b. Siemens-Martin-Ofen im Querschnitt. (Aus Gemeinfaßliche Darstellung.)

auf helle Glühhitze gebracht wird. Die aufgespeicherte Wärmemenge wird dann an das durch dieselben Kammern geführte Heizgas und an die Verbrennungsluft abgegeben.

Zum Beschicken benutzt man Einsetz- oder Chargiermaschinen; sie nehmen die einzelnen Beschickungsmaterialien in Mulden auf, heben diese in den Ofen und entleeren sie dort durch Drehen (Abb. 11).

Beim Frischvorgang im Siemens-Martinofen wirkt der überschüssige Sauerstoff der Verbrennungsgase oxydierend auf das Eisenbad ein. Auch ist von großer Bedeutung auf den Verlauf des Prozesses die Wirkung und Zusammensetzung der Schlacke.

Bei dem heute gebräuchlichen Schmelzen im Martinofen haben sich eine Reihe von Verfahren herausgebildet.



Abb. 11. Chargierbühne mit Chargierkran. (Aus Gemeinfaßliche Darstellung.)

### 1. Das Schrotroheisenverfahren.

Es werden 15—35 vH Roheisen und 85—65 vH Schrot eingesetzt. Der Verlauf des Schmelzvorganges bedingt eine allmählich fortschreitende Verbrennung des Kohlenstoffes, Siliziums, Mangans und Phosphors durch den Sauerstoff, der mit reichlichem Luftüberschuß über das Bad streichenden Gase. Um die Entkohlung zu beschleunigen, wirft man sauerstoffreiche Eisenverbindungen wie Roteisenerz =  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Magneteisenstein =  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , Hammer Schlag und Walzensinter als Zuschläge in das Bad.

Silizium ist schon nach beendigtem Einschmelzen fast völlig abgeschieden; Mangan wird zwar rasch oxydiert, aber die basische Schlacke verzögert die völlige Verbrennung, so daß gegen Ende des Einschmelzens etwa 0,2 vH Mangan im Metallbade enthalten sind; Phosphor verbrennt auch teilweise während des Einschmelzens, bei höherem Gehalte wird er aber erst bei starker Kohlenstoffabnahme abgeschieden.

Ist der Frischprozeß genügend weit fortgeschritten, was durch Schöpf-, Schmiede- und Bruchproben festgestellt wird, so folgt ein Zusatz von Ferromangan oder Spiegeleisen zur Desoxydation bzw. mehr oder weniger starker Rückkohlung. Man erhält so weichstes Flußeisen oder Stahl. Durch Zusatz anderer Metalle: Nickel, Chrom u. a. kann man die entsprechenden Sonderstahlarten herstellen.

Nach Beendigung des Prozesses wird der Ofeninhalt in die Gießpfanne abgelassen, wobei Zusätze von Aluminium und Ferrosilizium gegeben werden.

### 2. Das Roheisenerzfrischverfahren.

Es wird fast nur im basisch zugestellten Herde durchgeführt, um den Phosphorgehalt der Erze binden zu können. Zuerst gibt man 5 vH gebrannten Kalk und 18—25 vH Eisenerz auf den Herdraum des Ofens. Das Roheisen wird aus dem Mischer flüssig mittels einer Gießpfanne in den heißen Martinofen gegossen, wo sogleich die lebhafteste Reaktion beginnt. Falls der Roheiseneinsatz stark phosphorhaltig ist, wird die Schlacke mehrmals bei einer Charge erneuert, denn wenn der Phosphorgehalt stark steigt, ist es nur hierdurch möglich, einen guten phosphorarmen Stahl zu gewinnen, weil ein Teil des Phosphors der Schlacke reduziert wird und in das Bad übergeht.

### 3. Der Bertrand-Thielprozeß.

Benutzt werden zwei in verschiedener Höhenlage befindliche Siemens-Martinöfen mit basischem Herd. Da die stark phosphorhaltige Schlacke während des Betriebes nicht vollständig abgezogen werden kann, wird im höher gelegenen Ofen unter Zuschlag von Kalk vorgefrischt. Dann wird diese Schlacke gut vom flüssigen Stahl getrennt, wobei dieser in den tiefer gelegenen Siemens-Martinofen fließt. Hier wird die Charge, häufig unter Zusatz von Eisenschrot, fertig gemacht. Neuerdings benutzt man zum Vorfrischen einen gleichzeitig als Mischer dienenden großen Kippofen und macht die Schmelze im feststehenden Martinofen fertig.

### 4. Das Hoeschverfahren.

Das Stahlwerk Hoesch hat dieses Verfahren verändert und vereinfacht. Benutzt wird nur ein Ofen. Nach dem üblichen Vorfrischen wird in eine Pfanne abgestochen. Hier trennt man die sehr phosphorreiche Schlacke vom Stahl. Dann wird das schlackenfreie Metall in demselben feststehenden Martinofen unter Zuschlag von Erz, Kalk und Schrot fertig gefrischt. Die Entkohlung erfolgt sehr rasch, Phosphor wird in kurzer Zeit bis auf Spuren beseitigt.

### 5. Das Talbotverfahren.

Es wird in Amerika und England mit kippbaren Siemens-Martinöfen viel angewendet. Am Anfange einer Betriebswoche wird in dem gut instand gesetzten Ofen eine Charge Martinmetall aus flüssigem Roheisen mit Erz- und Kalkzuschlag gefrischt. Unwirksame Schlacke wird durch Kippen des Ofens abgegossen und durch neue Zuschläge ersetzt. Nach genügender Entkohlung der Schmelze wird etwa ein Viertel der Charge in eine Gießpfanne abgegossen und darin nach erfolgter Desoxydation, Rückkohlung und eventuellen weiteren Zusätzen vergossen. Die Hauptmenge der Schmelze bleibt im Ofen. Nach raschen Ausbesserungen des Ofenmauerwerkes in der Schlackenzone kommt der neue Roheiseneinsatz mit Erz- und Kalkzuschlag in den Ofen. Durch Vermischen mit der etwa dreimal so großen Menge stark entkohlten Eisens geht das Frischen des neuen Roheiseneinsatzes viel rascher vor sich, so daß diese zweite, wie die nun ununterbrochen folgenden weiteren Chargen, in rund je drei Stunden fertig werden.

### 6. Der Duplexprozeß.

Zuerst in Witkowitz ausgebildet, ist es dort von Vorteil, wo ein Roheisen verarbeitet werden muß, das für das Thomasverfahren zu arm an Phosphor und zu reich an Silizium ist, andererseits aber zu viel Phosphor für den Bessemerprozeß enthält. Das Roheisen wird in der sauren Birne zunächst vorgefrischt, wobei Silizium abgeschieden wird; im basischen Martinofen erfolgt das Fertigfrischen.

Das Vergießen des Siemens-Martinstahles zu Blöcken muß mit großer Sorgfalt geschehen; bei möglichst niedriger Temperatur wird mit steigendem Guß gegossen. Der Entstehung tiefer Lunker sucht man nach den verschiedensten Verfahren entgegenzuwirken.

Im Siemens-Martinofen werden Werkzeugstahlsorten bis Härte Nr. 9 mit 0,25—0,9 vH C, 0,6—1,5 vH Mn, die eine Zerreißfestigkeit von 50—100 kg/mm<sup>2</sup> haben, hergestellt.

### J. Die Verfahren zur Erzeugung von Elektro Stahl.

Die erste technische Anwendung des elektrischen Stromes als Wärmequelle zur Herstellung von Elektro Stahl datiert seit Anfang dieses Jahrhunderts. Die Elektro Stahlöfen bieten als besondere Vorteile leichtes Erreichen hoher Temperaturen und deren sichere Regulierbarkeit. Infolge unmittelbarer Umsetzung der elektrischen Energie in Wärme können alle schädlichen Einwirkungen der Luft und der Verbrennungsgase ferngehalten werden. Je nach der Art, wie diese Umsetzung erfolgt, kann man die Elektro Stahlöfen in zwei Gruppen einteilen:

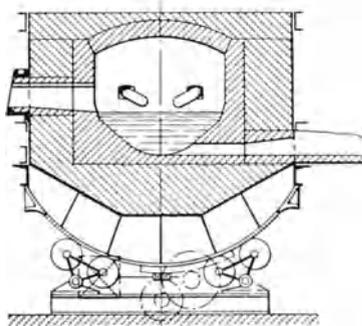


Abb. 12. Stassano-Ofen.

#### 1. Lichtbogenöfen.

Lichtbogenöfen, bei denen die Wärme durch den Lichtbogen erzeugt wird.

**Der Ofen von Stassano** (Abb. 12). Der Ofenraum von runder oder ovaler Form ist allseitig geschlossen. Die Kohlenelektroden

von 80—100 mm Durchmesser ragen durch die Seitenwände. Sie sind regulierbar. Zwischen ihnen entsteht der Lichtbogen, durch dessen strahlende Wärme die Ofenwände und das Bad erhitzt werden. Der Ofen wird kippbar ausgeführt.

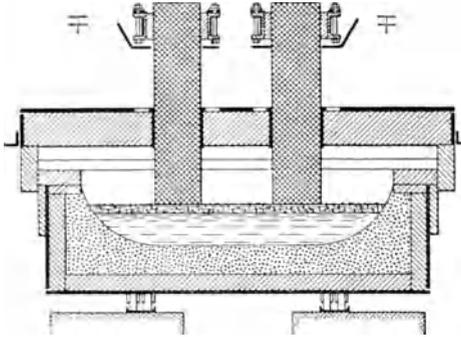


Abb. 13. Ofen von Héroult.

**Der Ofen von Héroult** (Abb. 13). In seiner äußeren Form ähnelt er einem kleinen kippbaren Martinofen. Er besitzt bei Wechselstrom 2, bei Drehstrom 3 Kohlenelektroden, die beim 3t-Ofen  $360 \times 360$  mm stark sind; sie sind durch die Ofendecke hindurchgeführt und werden von

Hand oder automatisch so eingestellt, daß sie sich 45 mm über dem Stahlbade befinden. Auf dem Metallbade wird eine dünne

Schlackendecke gehalten. Der Strom tritt durch einen Lichtbogen von der einen Elektrode zur Schlackendecke über, strömt durch das Bad hindurch und durch einen zweiten Lichtbogen zur anderen Elektrode zurück. Der Stahl kommt also nicht in direkte Berührung mit den Kohlenelektroden, und die Schlackenschicht sorgt für eine gleichmäßigere Verteilung der zugefügten Wärme.

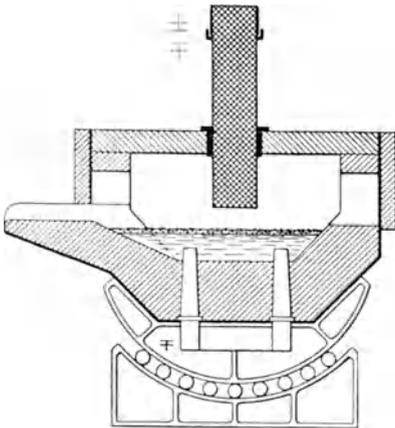


Abb. 14. Ofen von Girod.

**Der Ofen von Girod.** Er arbeitet nur mit einer Kohlenelektrode, die durch das Deckengewölbe in den kippbar ein-

gerichteten Ofen hineinragt. Der Strom geht von dieser über einen Lichtbogen durch die Schlackendecke zum Stahlbad auf dem basischen Herde. Dieses bildet durch mehrere Stromzu-

führungen am Boden des Ofens sozusagen die zweite Elektrode (Abb. 14).

## 2. Induktionsöfen.

Durch Induktion im Schmelzgut werden elektrische Ströme erregt und durch die beim Stromdurchgang auftretende Entwicklung Joulescher Wärme findet Widerstandserhitzung statt. Hierdurch wird das Schmelzen des Einsatzes, oder bei flüssigem Einsatz dessen Erhitzen, bewirkt.

Der Ofen von Kjellin (Abb. 15). Den eigentlichen Ofenraum bildet hier eine aus feuerfestem Materiale gebaute kreisförmige Rinne. In der Mitte dieses rinnenförmigen Herdes befindet sich ein senkrecht zur Ofenebene stehender ringartiger Metallkern, der aus starken, voneinander isolierten Eisenblechen zusammengesetzt und in der Mitte von einer Kupferdrahtspule umgeben ist.

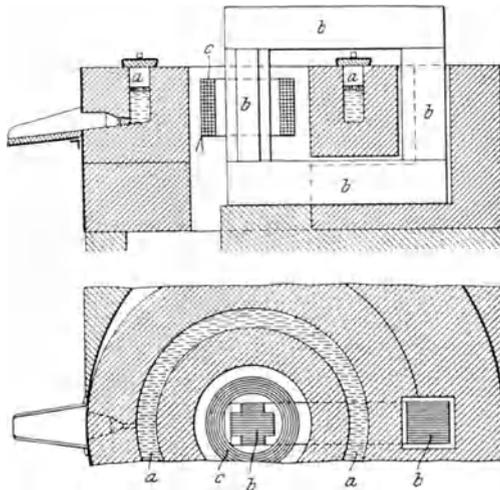


Abb. 15. Ofen von Kjellin.

Fließt durch diese Spule ein Wechselstrom, so wird, wie bei einem gewöhnlichen Transformator, in dem Eisenkerne Magnetismus erregt, der seinerseits wieder in dem als Sekundärkreis wirkenden ringförmigen Metallbade durch Induktion Wechselströme erzeugt, die dann das Metall durch Widerstandserhitzung zum Schmelzen bringen. Der Vorteil dieses Ofensystems beruht darauf, daß die im Innern des Bades entstehende Hitze die Ofenwände schont, von Nachteil ist die geringe Oberfläche der Schmelzrinne; man ist deshalb an reinen, guten Einsatz gebunden, da Schlackenzusätze, die reinigend auf das Bad wirken, nicht möglich sind.

Der Ofen von Röchling-Rodenhauser (Abb. 16). Er ver-

meidet den zuletzt erwähnten Nachteil des Kjellinofens, da er außer der schmalen Heizrinne einen Herdraum mit großer Oberfläche, den sog. Arbeitsherd, besitzt. In diesem wird das Bad durch Widerstandserhitzung geschmolzen, wozu über die Primärspule eine zweite Spule gewickelt ist, deren Enden mit Eisenplatten verbunden, im Ofenmauerwerk so angebracht sind, daß der Stromfluß

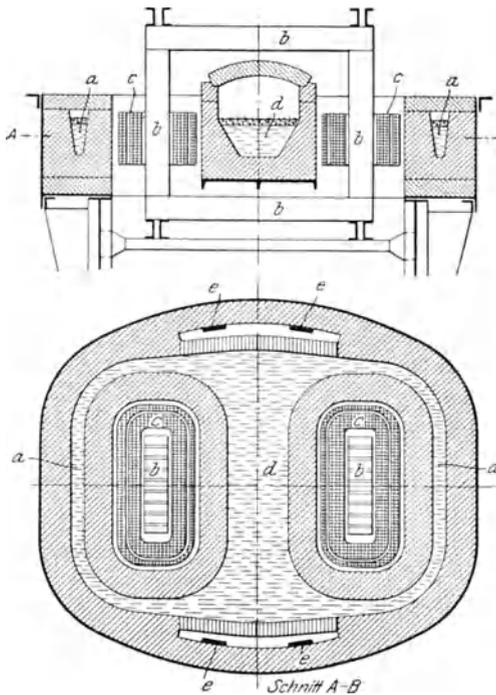


Abb. 16. Ofen von Röchling-Rodenhauser.

durch das Bad des Herdes gehen muß. Die Platten sind durch vorliegendes Mauerwerk, welches bei der hohen Ofentemperatur leitend ist, vor dem Abschmelzen geschützt. Der Ofen arbeitet in der Regel mit Wechselstrom. Der elektrische Strom wirkt bei allen drei Ofenarten nur als Wärmequelle. Durch diese Art der Beheizung erreicht man nicht nur bedeutend höhere Temperaturen, sondern sie zeichnet sich auch durch hohe Reinheit aus.

Der Einsatz kann kalt oder warm ein-

gegeben werden; in Deutschland wird das Frischen des Roh Eisens mit festem oder flüssigem Einsatz nur bei niedrigem Strompreise durchzuführen sein. Das Verfeinen von flüssigem Stahleinsatz ist auch bei hohen Strompreisen wirtschaftlich durchzuführen. Im Elektroofen ist das Frischen und Verfeinen wegen guter Regulierbarkeit der Temperatur rascher und sicherer durchzuführen als in anderen Öfen; auch kann das Bad nicht durch Flammengase verunreinigt werden.

Beim Frischen werden nach dem Einsatze des Roheisens oxydierende Mittel: Roteisenerz  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oder Hammerschlag bzw. Walzensinter  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  und gebrannter Kalk  $\text{CaO}$  zugesetzt. Mangan geht in die Schlacke.

Es werden fast nur basisch zugestellte Herde angewendet. Phosphor wird oxydiert und geht ebenfalls in die Schlacke über. Nunmehr werden Proben genommen; zeigen diese, daß der Phosphorgehalt genügend niedrig ist, so wird die phosphorhaltige Schlacke abgossen und neuer Kalk zugegeben. Es beginnt nun die Desoxydation und gleichzeitig die Entschwefelung. Als Desoxydationsmittel fügt man Ferromangan, Ferrosilizium, auch wohl Kalziumkarbid oder Siliziumkarbid im Verein mit Manganerzen zu. Ein Teil des Mangans verbindet sich mit den im Bad vorhandenen Oxyden, und geht als Manganoxydul in die Schlacke. Hier wirken unter Reduktion die eben genannten Karbide darauf ein; das Mangan wirkt somit nur zur Übertragung des Sauerstoffes.

Die Entschwefelung des Stahles erfolgt im Elektroofen durch Kalzium, doch nur dann, wenn die hochohitze, dünnflüssige Schlacke frei von Eisenoxyden ist. Man kann hier auch durch Ferrosilizium entschwefeln, weil bei der hohen Temperatur das sich bildende Schwefelsilizium —  $\text{SiS}$  — verflüchtigt. Nach der Entschwefelung beginnt die Rückkohlung durch Ferromangan, Spiegeleisen, Holzkohlen- oder Kokspulver auf den gewünschten Kohlungsgrad. Um das Bad frei von Gasen zu erhalten, läßt man es noch einige Zeit stehen („garen“), damit die Gase entweichen können, dann wird es in die Gießpfanne gegossen. Der ganze Prozeß dauert etwa 3—3½ Stunden.

Der Stromverbrauch beträgt

bei festem Einsatz für 1 t = 800—900 KWst,

bei flüssigem Einsatz für 1 t = 150—300 KWst.

Das im elektrischen Ofen erzeugte Material zeichnet sich durch besondere Reinheit aus. Da kein Abbrand stattfindet ist es nach vollständiger Desoxydation möglich, nur die theoretisch erforderlichen Zusatzmengen von Ni, Chr, Wo, Mol, Van zuzusetzen. Hierdurch werden dem Stahl besondere Eigenschaften erteilt, die vom Werkzeugstahl und von hochbeanspruchten Konstruktionsstählen verlangt werden.

#### IV. Einteilung der Werkzeugstähle nach Härtegrad und Verwendungszweck.

Alle gewöhnlichen Werkzeugstähle sind Eisen-Kohlenstofflegierungen, man nennt sie daher Kohlenstoffstähle. Sie erhalten ihre Härte ausschließlich durch ihren Gehalt an Kohlenstoff, besitzen aber keine die Härte steigernden Beimengungen. In der Praxis teilt man die Kohlenstoffstähle ein in weiche mit weniger als 0,8 vH Kohlenstoff und in harte mit mehr als 0,8 vH Kohlenstoff; der höchste Kohlenstoffgehalt bei Werkzeugstählen beträgt 1,7 vH.

Im Handel ist der Werkzeugstahl gekennzeichnet mit dem eingeschlagenen Firmenstempel und einem aufgeklebten farbigen Etikett, wobei der härteste Stahl die hellste, der weichste die dunkelste Farbe erhält, das außer der Firmenbezeichnung und der Handelsmarke auch die Angabe des Härtegrades, der hauptsächlichsten Verwendungszwecke und der beim Schmieden und Härten angewendeten Temperaturen enthält. Vielfach wird der Härtegrad durch Zahlen, entsprechend dem Kohlenstoffgehalte, ausgedrückt, also z. B. Härtegrad 7 = 0,7 vH Kohlenstoff; andere Fabriken bezeichnen die Stähle mit: sehr hart, hart, mittelhart usw.

Die Leistungsfähigkeit eines Werkzeuges hängt bis zu einem gewissen Grade von der Art des verwendeten Stahles ab. Er darf für einen bestimmten Verwendungszweck, z. B. für alle ruhig beanspruchten Werkzeuge um so härter, also kohlenstoffreicher, gewählt werden, je reiner er von schädlichen Beimengungen ist; für alle Werkzeuge, die in der Hauptsache durch Schlag oder Stoß beansprucht werden, ist ein kohlenstoffarmer, reiner Stahl, z. B. Tiegelstahl, zu benutzen. Je höher der Kohlenstoffgehalt sein darf, desto größer kann die Arbeitsleistung des daraus hergestellten Werkzeuges sein, eine um so sorgfältigere Behandlung muß das Werkzeug indes bei seiner Herstellung — Feuerbehandlung — erfahren. Weicher Werkzeugstahl (Bessemer-, Martin-Stahl) kann nicht so leicht überhitzt und verglüht werden als harter Werkzeugstahl; beim Härten erhält er, infolge höherer Zähigkeit, nicht so leicht Härterisse, erfordert bei der Verarbeitung zu Werkzeugen geringere Aufmerksamkeit und wird in der Praxis in viel größerem Umfange angewendet als harter Stahl.

Harter Stahl — Tiegelgußstahl — erfordert gewissenhafte

und aufmerksame Arbeit bei der Herstellung der Werkzeuge und gut unterrichtete, erfahrene Schmiede und Härter.

Der Stahlfabrikant verlangt vom Käufer in der Regel Angaben über den Verwendungszweck, weil man häufig Werkzeuge findet, die aus völlig ungeeignetem Rohstahl hergestellt wurden.

Nachstehende Tabelle gibt einige Anhaltspunkte hinsichtlich der Wahl des Rohstahles für daraus herzustellende Werkzeuge:

Tabelle 2. Werkzeugstähle (Kohlenstoffstähle)<sup>1)</sup>.

Analyse			Verwendungszweck
vH C	vH Mn	vH Si	
1,25—1,38	0,35	0,25	Dreh- und Hobelmeißel normaler Beanspruchung, Fräser, Spiralbohrer, Rasiermesser, Sägefeilen
1,40—1,50	0,35	0,25	Dreh- und Hobelmeißel normaler Beanspruchung, Fräser, Spiralbohrer, Rasiermesser, Sägefeilen usw.
0,99—1,10	0,35	0,25	Kompl. Schnitte und Stanzen, Prägestempel, Bohrer, Gewindebohrer, Feilen, Feilenhauermeißel, Kaltmatrizen und Scherenmesser usw.
0,90—0,98	0,35	0,25	Hand- und Schrotmeißel, Holzbearbeitungswerkzeuge, Kaltsägen und Metallkreissägen mit gestauchten, geschränkten und gewellten Zähnen, Gesenke
0,70—0,79	0,35	0,25	Döpper, Hämmer, Warmmatrizen, Stanzen für weiche Bleche
0,90—1,00	0,9—1,0	0,40	Für alle Arten Holzsägen und Messer für Bearbeitung von Holz, Kork, Gummi, Leder, Papier, Tuch, Tabak usw. sowie für den landwirtschaftlichen Gebrauch, ferner besonders geeignet für Lehren
0,85—0,92 bzw. 0,78—0,84	0,60	0,40	Für alle Arten Holzsägen und Messer für Bearbeitung von Holz, Kork, Gummi, Leder, Papier, Tuch, Tabak usw. sowie für den landwirtschaftlichen Gebrauch, geeignet für Lehren
0,80—0,83			0,35
1,10—1,20	0,35	0,25	Drehmeißel für Maschinenguß, Spiralbohrer, Reibahlen

<sup>1)</sup> Tabelle 2 bis 7 sind mit gütiger Zustimmung des Herrn Verfassers dem Werke „Das technische Eisen“ von Prof. Dr.-Ing. P. Oberhoffer 2. Aufl., Berlin: Julius Springer 1925, entnommen.

Tabelle 2 (Fortsetzung).

Analyse			Verwendungszwecke
vH C	vH Mn	vH Si	
0,45	0,60—0,65	0,40—0,45	Schweißstahl, Gesteinsbohrer
0,50—0,60	0,95—1,10	0,40—0,50	Stammblätter, Sägen, Messer
0,55	1,00	0,35—0,45	Stammblätter, Sägen, Messer
0,50—0,60	0,50—0,60	0,35	Gesenke
0,40—0,50	0,8—1,0	1,8—2,2	Ausgleichfedern

Spezialstähle oder legierte Stähle enthalten außer Eisen und Kohlenstoff zur Erzielung bestimmter Eigenschaften, z. B. die Härte steigernde, Beimengungen von Mangan, Chrom, Wolfram, Nickel, Molybdän, Vanadium. Sie heißen je nach der Art der Beimengungen: Chrom-, Wolfram-, Nickelstahl usw. Das ihnen aufgeklebte Etikett weicht in Text und Farbe von dem bei gewöhnlichem Werkzeugstahle gebräuchlichen ab.

Tabelle 3. Legierte Werkzeugstähle.

Analyse					Verwendungszweck
vH C	vH Mn	vH Si	vH Mo	vH Cr	
0,85—1,05	0,60	0,40	—	0,5—0,6	Lange Gewindebohrer, Stehbolzenbohrer, Kaltsägen, Metall-, Lang- und Kreissägen, Sägefeilen, Rasiermesser, Schlitzfräser, Schienensägen
1,0—1,20	0,35	0,25	0,5—0,7	1,0—1,2	Kaltsägen, Metallkreissägen, Schlitzfräser, Schienensägen, Metall-Langsägen, hochbeanspruchte Fräser, Drehstähle a. Hartguß

Die hauptsächlichsten im Handel vorkommenden Spezialstahlgattungen sind:

Schnellstahl, naturharter Werkzeugstahl, Spezialdrehstahl und Magnetstahl.

Tabelle 4. Schnellstähle.

Analyse								Verwendungszweck
vH C	vH Mn	vH Si	vH W	vH Cr	vH Mo	vH Co	vH V	
0,50—0,60	0,35	0,25	13—14	4,0—4,5	—	—	—	Dreh-, Schlicht- u. Schrubbarbeit, ferner für Spiralbohrer, Warmgesenke, Metall-sägen, Fräser usw.
0,50—0,60	0,35	0,25	13—14	4,0—4,5	—	—	0,3—0,5	
0,55—0,65	0,35	0,25	18—20	4,0—5,0	—	—	—	
0,55—0,65	0,35	0,25	18—20	4,0—5,0	—	—	0,3—0,5	
0,60—0,70	0,35	0,10	22—25	4,0—5,0	—	—	1,0	
0,6—0,65	0,35	0,35	9,0—9,5	4,2—4,6	3,5—4,0	—	0,2—0,5	
0,6—0,7	0,35	0,35	12—13	4,0—5,0	3,5—4,0	1,5	0,3—0,5	
1,5—1,6	0,45	0,3—0,4	—	11—12	0,5—0,4	3,5	—	

Tabelle 5. Kugellager- und Zieheisenstahl.

Analyse				Verwendungszweck
vH C	vH Mn	vH Si	vH Cr	
0,85—1,05	0,35	0,25	0,9—1,3	Kugeln
0,85—1,05	0,35	0,24	1,4—1,8	Kugellager
1,00	0,25	0,40	1,5—1,7	Magnete
2,20—2,50	0,35	0,25	2,8—3,3	Zieheisen
2,20—2,50	0,35	0,25	11,0—12,0	Hochbeanspruchte Schnitte und Stanzen, Ziehborne u. Zieheisen

Tabelle 6. Konstruktionsstahl (hochwertige Kurbelwellen).

Analyse					Verwendungszweck
vH C	vH Mn	vH Si	vH Ni	vH Cr	
0,05—0,15	0,35—0,50	0,25	2,0—2,5 bzw. 4,5—5,5	—	Konstruktionsmaterial, Einsatzmaterial
0,20—0,22	0,35—0,50	0,25	3,55—4,0	1,4—1,7	
0,05—0,15	0,35—0,50	0,25	3,5—4,5	1,4—1,7	Konstruktionsmaterial, Einsatzmaterial, Warmpreßwerkzeuge
0,05—0,15	0,35—0,50	0,25	2,5—2,8	0,5—0,8	Konstruktionsmaterial, Einsatzmaterial
0,12—0,15	0,40—0,60	0,25—0,31	—	0,90—1,0	Einsatzmaterial
0,35—0,50	0,35—0,50	2,5—3,5 0,25	2,5—3,5 bzw. 4,0—4,5	1,3—1,5	Kurbelwellen ohne Einsatz

Tabelle 7. Panzerstahl.

Analyse					Verwendungszweck
vH C	vH Mn	vH Si	vH Ni	vH Cr	
0,35—0,45	0,70—1,0	0,70—1,0	—	0,70—1,0	Warmpreßstempel, Ventile, Panzerplatten usw.
0,38—0,42	0,50—0,60	0,30—0,40	1,8—2,0	0,75—1,0	Minenwerfer

Naturharter Stahl hat in ungehärtetem Zustande eine so große Schneidkraft und Härte, daß er ohne weiteres zu ruhig beanspruchten Schneidwerkzeugen verwendet werden kann. Bei langsamem Erkalten aus Rotglut ist die Härte größer als bei raschem Abkühlen.

Der Vorzug des naturharten Stahles besteht in der nicht so starken Beeinflussung der Schneidhaltigkeit bei Erhitzung der Schneidkante während der Arbeit, also bei Anwendung schnell-

laufender Werkzeugmaschinen, auf harten Materialien, bei Abnahme eines besonders starken Spanes usw. Der naturharte Stahl erhält diese Eigenschaften durch einen höheren Gehalt an Wolfram, Mangan und Silizium. Über die Zusammensetzung und die Entwicklung der Schnellstähle gibt nachstehende Tabelle Aufschluß.

Tabelle 8.

	vH C	vH Si	vH Mn	vH Cr	vH W	vH V	vH Mo
Kohlenstoffstahl bis 1894	1,05	0,21	0,20	0,20	—	—	—
Mushetstahl bis 1900 . .	2,15	1,04	1,58	0,40	5,44	—	—
Erster Schnellstahl 1900	1,85	0,15	0,30	3,80	8,00	—	—
Schnellstahl 1906. . . .	0,67	0,04	0,11	5,47	18,91	0,29	—
Beste neuere Schnellstähle	0,4 ÷ 0,8	0,2 ÷ 1,0	0,1 ÷ 0,5	3 ÷ 9	12 ÷ 24	0 ÷ 1,5	0 ÷ 8

Ersatz-Schnellstähle enthalten etwa 10—12 vH Chrom und 1—2,5 vH Kohlenstoff. Ihre Leistung ist wesentlich geringer als die der eigentlichen Schnellstähle.

## V. Äußere Beobachtungen an Werkzeugstahl, wie er in den Handel kommt.

Der Verbraucher von Werkzeugstahl beachte beim Empfange der Lieferung bzw. vor Weiterverarbeitung zu Werkzeugen folgendes:

Der erhaltene Stahl muß frei sein von Rissen, Nähten, Schuppen u. ä. m.

Risse sind an der Oberfläche des Stahles durch kurze, gerade, in der Längsrichtung verlaufende Linien erkennbar. Sie lassen sich mit Sicherheit durch Überfeilen der betr. Stellen freilegen und feststellen.

Nähte laufen ebenfalls parallel zur Längsrichtung, meist an zwei einander gegenüberliegenden Seiten oder Kanten, selten an einer Seite. Sie entstehen durch das seitliche Austreten des Stahles beim Walzen oder Schmieden im Gesenk und durch das Umlegen und Eindrücken des ausgedrückten Materiales bei der Weiterverarbeitung.

Die Ursachen der Längsrisse und Schweißnähte sind Lunker- und Gasblasen im Kern des Blockes. War dieser heiß genug und wurde er hinreichend stark durchgearbeitet, so können diese Hohlräume unter günstigen Verhältnissen verschweißt werden.

Andernfalls werden sie zusammengeschlagen, in die Länge gestreckt, ohne daß ein Zusammenschweißen eintritt.

Falten entstehen durch Übereinanderlegen des Materials beim Walzen.

Schuppen bestehen aus einzelnen im Bogen verlaufenden oder aus mehreren zusammenhängenden Bogen bestehenden Linien. Sie rühren meist von Gasblasen der Randschicht, nicht entfernten Saigerkörnchen an der Blockoberfläche, Schlackenresten oder von beim Gießen des Stahles entstandenen Gußschalen her, seltener von Schmiede- oder Walzfehlern.

Kantenrisse sind Querrisse an den Kanten des Stahles, die senkrecht zur Längsrichtung verlaufen. Sie deuten auf „Rotbruch“ oder zeigen, daß der Stahl schon beim Schmieden stark überhitzt — verbrannt — wurde. Zur Herstellung von Werkzeugen ist solcher Stahl gänzlich ungeeignet.

Alle diese vorstehend angeführten, an der Oberfläche des Stahles wahrnehmbaren Fehler führen bei der Verarbeitung leicht zu unbrauchbaren Werkzeugen, weil die beim Härten entstehenden Härterisse hier ihren Anfang nehmen.

Edelstahl zeigt die vorgenannten Fehler nicht, weil durch Wahl reiner Rohstoffe, durch deren zweckentsprechende Behandlung beim Raffinieren im Tiegel- oder Elektroofen, durch sorgfältige Auswahl der Stangen und Ausscheiden der fehlerhaften, die Ursachen davon wegfallen.

Das Bruchaussehen nicht gehärteten Stahles ist für seine Güte nicht, für seine Härte nur in sehr unbestimmten Grenzen maßgebend. Viele Härtefachleute, Meister u. a. m. beurteilen die einzelnen Stahlsorten nur nach dem Bruchaussehen. Bei der großen Zahl von Stahlsorten aller Art ist dies heute nicht mehr zugänglich, führt leicht zu Irrtümern und Verwechslungen. Man schlage daher die Fabrikmarke, Härtegrad oder sonstige unterscheidende Bezeichnungen tunlichst an das Ende der Stahlstange nochmals auf, so daß beim Abarbeiten diese wichtigen Bezeichnungen bis zum letzten Stahlstück erkennbar bleiben. Die Ordnung im Stahllager, die so außerordentlich wichtig und die unter allen Umständen einzuhalten ist, wird hierdurch wesentlich erleichtert.

Jeder Werkzeugmacher achte besonders auch darauf, daß die für ein bestimmtes Werkzeug mit bestimmtem Verwendungs-

zweck erforderlichen Härtegrade der zur Verarbeitung dienenden Stahlsorte vorhanden sind; ein Behelfen mit einem für das vorliegende Werkzeug ungeeigneten Härtegrad führt fast stets zu Beanstandungen.

## VI. Prüfung des Eisens.

Die Eigenschaften, die hierbei festzustellen sind, können physikalischer oder chemischer Natur sein. Die Prüfung der physikalischen Eigenschaften des Eisens erstreckt sich auf: Festigkeit, Härte, Formänderungsvermögen, Zähigkeit und Sprödigkeit, Bearbeitbarkeit oder Bildsamkeit. Die chemische Prüfung erstreckt sich auf die Untersuchung der Zusammensetzung des Werkstoffes.

Die meisten der angewendeten Prüfungsverfahren lassen sich nur in einem mit allem notwendigen wissenschaftlichen Rüstzeug ausgestatteten Laboratorium vornehmen. Bei einigen wenigen sind die Untersuchungsverfahren und die erforderlichen benutzten Apparate so durchgebildet worden, daß sie auch in der Werkstatt ausführbar sind. Die beigegebenen Gebrauchsregeln sind jedem verständlich, so daß die Verwendung im Betrieb leicht möglich ist.

Dem vorliegenden Stoffe entsprechend sollen nur die zur Härteprüfung verwendeten Apparate erläutert werden, während über die anderen Untersuchungsmethoden die zahlreiche Literatur genügend Auskunft gibt.

### A. Physikalische Prüfverfahren.

Im allgemeinen versteht man unter Härte den Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen entgegensetzt. Die hier in Frage kommenden Verfahren sind:

- a) Die Kugeldruckprobe von Brinell.
- b) Die Kegeldruckprobe von Ludwik.
- c) Das Kugelfallverfahren von Shore.
- d) Der Pendel-Härteprüfer nach Herbert.

#### 1. Die Kugeldruckprobe von Brinell. (Abb. 17 u. 18.)

Sie beruht darauf, daß eine Stahlkugel von bestimmter Größe — 10 mm Durchmesser — durch einen vorgeschriebenen Druck in die polierte Oberfläche des Werkstoffes dreißig Sekunden lang eingedrückt und der Durchmesser des Eindrucks gemessen wird.

Der Belastungsdruck soll nach Brinell für Eisen und Stahl 3000 kg betragen. Als Härtezahl hat Brinell den Quotienten aus Druckkraft und Oberfläche der Eindrucksalotte angegeben. Nach einem Vorschlag von E. Meyer kann man die Härtezahl auch aus dem Eindruckskreis berechnen. Beide Verfahren sind für die Rechnung im Gebrauch. Es ist jedoch erforderlich, anzugeben nach welchem Verfahren man rechnet, da beide verschiedene Resultate erzielen. Der deutsche Verband hat für die Kugeldruckprobe einheitliche Versuchsbedingungen zusammengestellt. Hier-nach gilt folgendes:

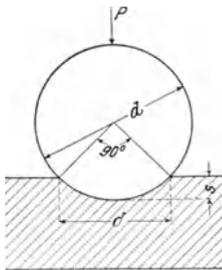


Abb. 17. Kugeldruckprobe nach Brinell.

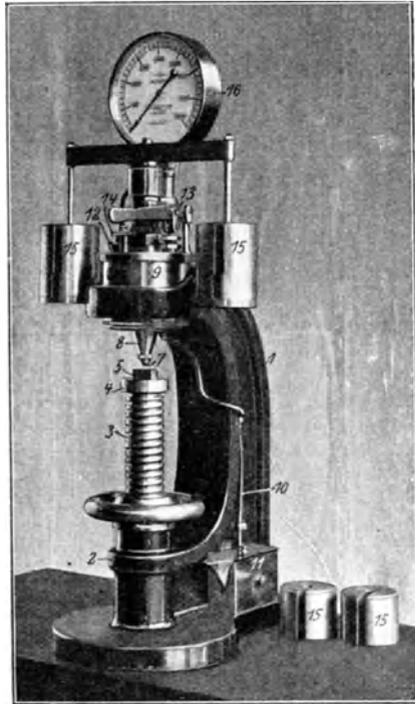


Abb. 18. Brinellsche Kugeldruckpresse.

Als Einheitskugel die Kugel von 10 mm Durchmesser.  
 Für dünnwandige Proben Verwendung kleinerer Kugeln.

Dicke der Proben . . . . .	6	6—3	3 mm
Durchmesser $D$ der Kugel . .	10	5	2,5 „
Druckbelastung $P$ kg			
für Eisen und Stahl $30 D^2 = 3000$	750	187,5 kg	

Belastungsdauer 30 Sekunden.

2. Die Kegeldruckprobe nach Ludwik. (Abb. 19.)

Sie wird nach dem gleichen Grundsatz bestimmt. Zur Erzeugung des Eindruckes wird ein Stahlkegel von bestimmten Abmessungen verwendet.

### 3. Das Kugelfallverfahren von Shore. (Abb. 20. u. 21.)

Die Prüfung wurde mit einem Skleroskop genannten Apparat, bei dem ursprünglich eine kleine Stahlkugel Verwendung fand, durchgeführt. Bei den neuesten Ausführungen des „Härteprüfers nach dem Rückprallverfahren“ läßt man einen kleinen Stahlhammer mit Diamantspitze aus bestimmter Höhe auf die Oberfläche des auf einer größeren Unterlage befestigten Werkstoffes fallen, und beobachtet, bis zu welcher Höhe der Hammer wieder zurückspringt. Letzterer Wert gilt bei diesen Verfahren als Maßstab für die Härte

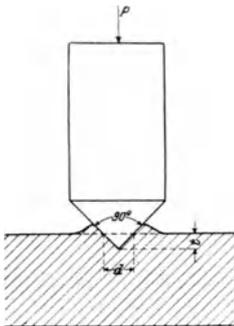


Abb. 19. Kegeldruckprobe von Ludwik.

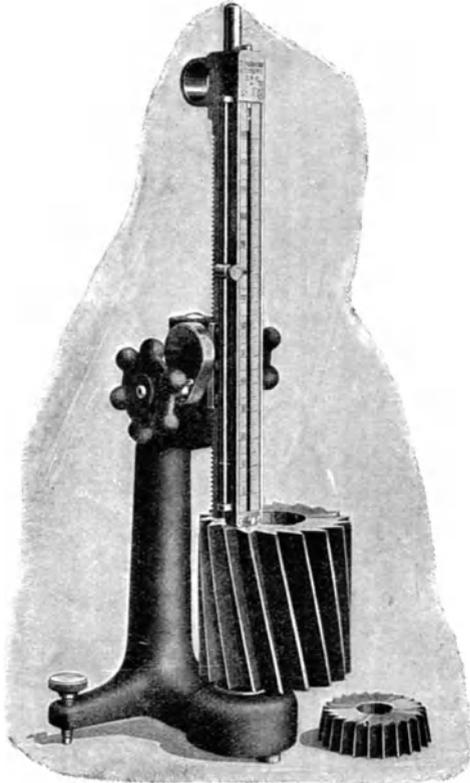


Abb. 20. Rückprallhärteprüfer.

des Materials. Das Verfahren hat den Vorzug leichter Handhabung und Anwendbarkeit auch an sperrigen Stücken, andererseits ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von verschiedenen Apparaten von der Form und Masse der Probestücke beeinflusst.

Bei der Anwendung des Härteprüfers sind einige Vorsichtsmaßregeln zu beobachten, um stets einwandfreie Versuchs-

ergebnisse zu erhalten. Zur Erzielung zuverlässiger Angaben ist es notwendig, nach jedem Aufschlag des 2,5 g schweren Fallhammers das zu prüfende Stück etwas zu verschieben. Tut man dies nicht oder nur in ganz geringem Maße, so wird der Fallhammer auf eine Stelle des Werkstückes treffen, die durch den vorhergehenden Aufschlag eine Verdichtung erfahren hat, Abb. 21 zeigt dies in übertriebenem Maße dargestellt, er wird demnach hier eine größere Sprunghöhe erreichen.

Nach ähnlichen Gesichtspunkten arbeitet ein Kugeldruckverfahren, bei dem eine Stahlkugel durch einen Schlag mit einem Federhammer in den zu prüfenden Werkstoff und in eine Vergleichsprobe bekannter Härte eingepreßt wird. Aus dem Vergleich der in beiden Werkstoffen erzielten Kugeleindruckdurchmesser ergibt sich annähernd die gesuchte Härte.

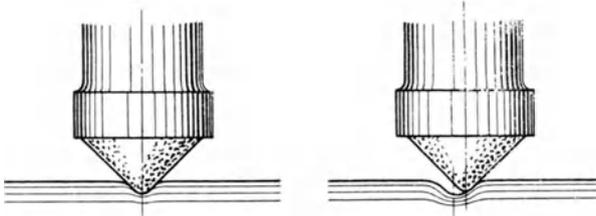


Abb. 21.

#### 4. Der Pendel-Härteprüfer nach Herbert. (Abb. 22.)

Der Apparat hat die Gestalt einer beiderseits einer Tragspitze tief heruntergreifenden Schwinge oder umgekehrten Wiege. Form und Gewichtsverhältnisse sind so bemessen, daß der Schwerpunkt der Wiege genau in der Achse der kegelförmig zulaufenden Tragspitze liegt. Den letzten Ausläufer der Spitze bildet eine Kugel aus Stahl oder Rubin von 1 mm Durchmesser. Um diese Kugelspitze, die frei auf den zu prüfenden Gegenstand aufgesetzt wird, schwingt die Schwinge oder Wiege. Durch Drehung an einer Stellenschraube kann die Schwerpunktslage entweder genau in den Mittelpunkt der Kugel oder etwas darunter oder darüber gerückt werden. Der Apparat wiegt in seiner Normalausführung 4 kg, in einer anderen Ausführung 2 kg (Abb. 22).

Der Pendel-Härteprüfer ermöglicht die Ausführung zweier gänzlich voneinander unabhängigen Härteprüfungen: Die Zeitprüfungen und Skalenprüfungen.

**Zeitprüfungen:** Die Schwingungsdauer des Pendels ist ein Maß für die Eindruckhärte der Oberfläche, auf der es ruht und die Zeit in Sekunden für zehn Schwingungen ist die Zeithärtezahl des betreffenden Materiales. Das Pendel wird mit Libelle 50 oder annähernd 50 vorsichtig auf das Probestück gesetzt und dann in



Abb. 22. Pendel-Härteprüfer nach Herbert.

einem kleinen Bogen zum Schwingen gebracht. Die Schwingungszeit wird mittels Stoppuhr gemessen.

Das Gefügelichtbild, Abb. 23, zeigt einen Eindruck in 50 facher Vergrößerung, den das Pendel bei normaler Zeitprüfung auf ausgeglühtem Kohlenstoffstahl hinterlassen hat.

Die Pendelzeitprüfung mißt wie die Brinellprüfung die Eindruckhärte. Die Pendelzeithärteskala stimmt mit den Brinellzahlen überein bzw. sie ist in diese umwandelbar. Sie kann auch

auf dünnen und zerbrechlichen Gegenständen vorgenommen werden, die durch kein anderes Verfahren geprüft werden können.

Beim Prüfen von gehärtetem Stahl kann die Brinellhärtezahl direkt vom Pendel abgelesen werden, wenige Sekunden nachdem es auf das Probestück gesetzt wurde. Die Sekundenzahl einer Einzelschwingung multipliziert mit 100 ist die Brinellhärtezahl.

Zeithärtezahlen, d. h. Sekunden für 10 Schwingungen.

Glas . . . . .	100
Sehr harter Kohlenstoffstahl . . . . .	75
Harter Kohlenstoffstahl . . . . .	65
Angelassener Schnelldrehstahl . . . . .	52
Geglühter Schnelldrehstahl . . . . .	26
Geglühter Kohlenstoffstahl . . . . .	22
Gewalztes Messing . . . . .	15
Gegossenes Messing (weich) . . . . .	11
Blei . . . . .	3



Abb. 23. Gefügebild bei Zeitprüfung auf ausgeglühtem Kohlenstoffstahl. 50 ×.

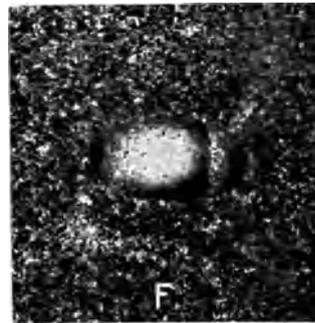


Abb. 24. Gefügebild bei Skalenprüfung auf ausgeglühtem Kohlenstoffstahl.

### 5. Skalenprüfungen.

Das Pendel wird vorsichtig in senkrechter Stellung auf das Probestück gesetzt, dann nach rechts geneigt, bis die Luftblase auf 0 steht und losgelassen. Das Gewicht des Instrumentes drückt bereits die Kugel in die Oberfläche ein und die Neigung bis 0 verursacht eine Verlängerung des Eindrucks. Wenn das Pendel losgelassen wird, rollt die Kugel in der so gebildeten Vertiefung zurück, wobei sie dauernd eine kleine Welle von Material vor sich herschiebt. Die Energie, die bei dieser Verschiebung des Materials aufgewandt worden ist, wird von der potentiellen Energie des Pendels genommen und kommt in einer Verkürzung der ersten

Schwingung zum Ausdruck. Die Stellung der Libellenblase am Ende der ersten Schwingung ist ein Maßstab für die Arbeit, die die Kugel auf dem Probestück geleistet hat und gibt die Härte desselben an. Die Ablesung an der Skala zeigt die Bearbeitungshärte an.

Gefügelichtbild Abb. 24 zeigt einen Eindruck in 50 facher Vergrößerung, den das Pendel bei einer normalen Skalenprüfung auf ausgeglühtem Kohlenstoffstahl hinterlassen hat.

#### Skalenhärtezahlen.

Glas . . . . .	97
Sehr harter Kohlenstoffstahl . . . . .	93
Harter Kohlenstoffstahl . . . . .	88
Angelassener Schneldrehstahl . . . . .	75
Geglühter Schneldrehstahl . . . . .	54
Geglühter Kohlenstoffstahl . . . . .	41
Gewalztes Messing . . . . .	14
Gegossenes Messing (weich) . . . . .	4
Blei . . . . .	0

### B. Prüfung des Eisens durch Ätzung<sup>1)</sup>.

Bei der Prüfung des Eisens durch Ätzung wird das Gefüge, der innerste Aufbau, dem Auge erschlossen. Dabei ist in manchen Fällen die Beobachtung mit dem bloßen Auge ausreichend, in weitaus überwiegender Zahl wird man aber das Mikroskop zu Hilfe nehmen, um Aufschluß über Einzelheiten zu erlangen.

Wesentlich ist in beiden Fällen die Herstellung einer geeigneten Schlißfläche. Die zu untersuchende Fläche wird möglichst eben gehobelt oder gefeilt, mit der Schlichtfeile geschlichtet, zuletzt mit Schmirgelpapier von immer höherem Feinheitsgrade geschliffen.

Das Ätzen erfolgt mit Kupferammoniumchlorid, und zwar löst man 1 Gewichtsteil desselben in 12 Gewichtsteilen Wasser. Diese Lösung füllt man in eine Glas- oder Porzellanschale von einer dem Umfang der Probe entsprechenden Größe. Beim Eintauchen in die Lösung ist das Probestück etwas hin und her zu bewegen; es soll genau 60 Sekunden darin liegen bleiben und darnach sofort in fließendes Wasser gehalten werden, wobei mit einem Wattebausch der Kupferniederschlag, der sich

<sup>1)</sup> Vgl. auch Dr.-Ing. E. Preuß: Die praktische Nutzenanwendung der Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskopes. Berlin: Julius Springer.

auf der Schliefffläche gebildet hat, zu entfernen ist; darnach wird sie mit einem weichen Leinentuch abgetrocknet, mit einem in Alkohol getränkten Wattebausch abgetupft und nochmals sorg-

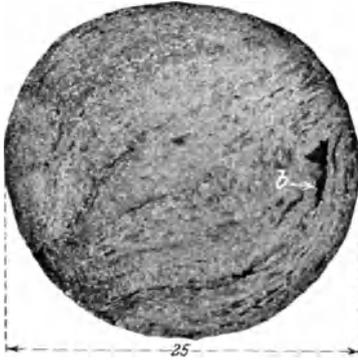


Abb. 25. Schweißisen, Rundstab.



Abb. 26. Schweißstahl (Gärbstahl).

fältig getrocknet. Man erhält so das Gefügebild der Schliefffläche.

Es sind nun mit dem bloßen Auge schon die besonderen Unterschiede der Eisen- und Stahlsorten wahrnehmbar. Abb. 25 zeigt den Querschnitt eines Rundstabes aus Schweißisen, bei

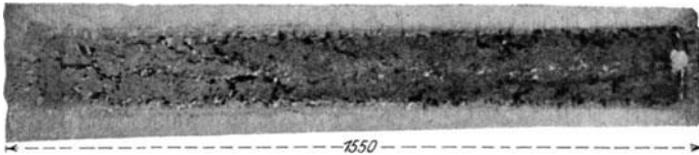


Abb. 27. Längsschnitt durch einen Flußisenblock.

dem deutlich die einzelnen Lagen, aus denen das Material zusammengeschweißt wurde, zu erkennen sind. Die dunkle Stelle bei *b* ist ein Schlackeneinschluß. Abb. 26 stellt den Querschnitt durch einen Vierkantstab aus Schweißstahl (Gärbstahl) dar. Das flammige Gefüge ist, dem Schweißisen eigentümlich, erkennbar.

Bei Flußisen treten, infolge seiner Erzeugung im flüssigen Zustande und Erstarrung in der Gußform — eiserne Kokillen — Seigererscheinungen auf, die in einer Entmischung bestehen, wie

Abb. 27 zeigt. Die dunklen Stellen enthalten Ausscheidungen von Phosphor und Schwefel. Abb. 28 zeigt die rechteckige dunkle Seigerungszone im Kern eines Flußeisenstabes.

Zur Untersuchung mit dem Mikroskop, das natürlich tiefere Einblicke in die Natur des Materials gestattet, muß eine größere

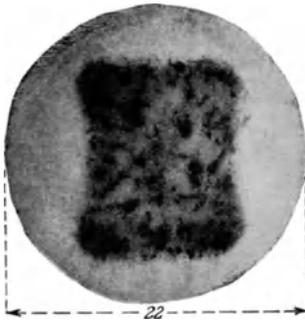


Abb. 28. Flußeisenrundstab mit starker Seigerung.

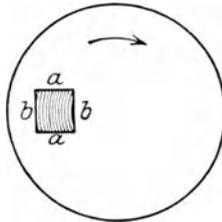


Abb. 29. Schleifen der Proben.

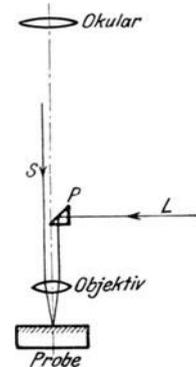


Abb. 30. Strahlengang im Metallmikroskop.

Sorgfalt bei Herstellung der Schliffproben angewendet werden. Das Schleifen erfolgt auf der Bank mit Schmirgelleinen immer feinerer Körnung (Abb. 29).

Für die Werkstatt genügt ein Mikroskop von 40—100 facher Vergrößerung, die Metallschliffe werden mit auffallendem Lichte untersucht (Abb. 30).

## VII. Anlage und Betriebsmittel einer Härterei.

### A. Lage des Härteraumes. (Abb. 31.)

Als allgemeinen Grundsatz kann man hierfür aufstellen: Die Härterei bzw. die Schmiede lege man in die Teile der Fabrikräume, die wegen Lichtmangel ohnehin für andere Zwecke nicht verwendbar sind. Die Fenster richte man nach der Nordseite, weil die Räume so die gleichmäßigste Beleuchtung durch zerstreutes Licht erhalten. Die beste Beurteilung der Glüherscheinung findet im Halbdunkel statt; bei vollem Tageslicht wird die Temperatur leicht für niedriger, hingegen bei Nacht leicht für höher angesetzt, als sie wirklich ist. Bereits vorhandene Anlagen, die zu gewissen

Tageszeiten dem direkten Sonnenlichte ausgesetzt sind, sollen Fenster mit einem geeigneten Anstrich oder mit Zuggardinen erhalten, um die Härterei vor grellem oder wechselndem Lichte zu schützen.

Es ist nämlich zu beachten, daß die Schmiede- und noch mehr die anzuwendenden Härtetemperaturen in verhältnismäßig recht engen Grenzen liegen, die das Auge des Härters



Abb. 31. Ansicht einer vollständig eingerichteten Härtereie.

zu beurteilen hat. Der Vorteil zweckmäßig beleuchteter Räumlichkeiten liegt also im Interesse des Verbrauchers der vom Härter hergestellten Werkzeuge. Temperaturdifferenzen von + oder  $- 30^{\circ} \text{C}$  haben gegenüber der richtigen Härtetemperatur schon erheblich ungünstigere Resultate zur Folge; Temperaturunterschiede von nur  $60^{\circ} \text{C}$  sind selbst für das geübteste Auge kaum bemerkbar, für ein weniger geübtes aber völlig unkenntlich. Daraus erklären sich auch die vielen Mißerfolge beim Härten und die

oft beobachtete große Verschiedenheit in der Leistung der Werkzeuge aus ein und derselben Stahlsorte.

Die hier angegebenen allgemeinen Regeln sind heute in den mit allen Hilfsmitteln der Neuzeit eingerichteten Betriebswerkstätten nicht mehr gültig. Ganz abgesehen davon verlangen die überall verwandten legierten Werkzeug- und Konstruktionsstähle auch für die Härtestube vollkommene Betriebsmittel. Die Härtereier wird jetzt in besonderen, hellen, geräumigen Werkstätten angelegt. Sie sind mit Gas, Wasser, Preßluft, elektrischen Anlagen und Einrichtungen zum Absaugen gesundheitsschädlicher Gase auszurüsten. Instrumente und Einrichtungen zur Temperaturmessung, zur Prüfung der Härte u. a. m. sind unerlässlich.

### B. Feuerungsanlagen zum Erhitzen des Stahles.

Alle hier verwendeten Öfen sind nach Bauart, Größe, Güte und Art der benutzten Heizmittel sehr mannigfaltig. Vom einfachen Schmiedefeuer bis zum elektrisch geheizten Ofen sind alle Bauarten hier vertreten. Hinsichtlich der Verwendung im Betrieb lassen sich einige allgemein gültige Forderungen aufstellen:

1. Das Werkstück darf sich im Ofen durch die Erhitzung in seiner Zusammensetzung nicht verändern. Glühspanbildung — Oxydation der Oberfläche —, Entkohlung dieser, wie auch die Aufnahme schädlicher Beimengungen aus dem Heizstoff dürfen unter keinen Umständen eintreten.

2. Durch Einbringen eines neuen Werkstückes soll die Ofentemperatur nicht zu stark sinken, um sich rasch wieder zu erholen.

3. Die für jede Stahlsorte vorgeschriebene Höchsttemperatur soll leicht erreichbar sein.

4. Das Umstellen auf eine andere vorgeschriebene Temperatur muß innerhalb der für jeden Ofen erreichbaren Hitzegrade leicht erfolgen können. Der hierbei erwünschte Genauigkeitsgrad von etwa 10° C soll ohne Schwierigkeiten gehalten werden.

5. Die Ofentemperatur soll dauernd konstant bleiben.

6. Vorteilhaft ist einfache Bedienung, sauberes und ruhiges Arbeiten des Ofens.

7. Soweit als irgend zugänglich ist Wirtschaftlichkeit des Betriebes anzustreben.

Alle in den Härtereien verwendeten Heizvorrichtungen kann man trotz ihrer großen Mannigfaltigkeit einteilen in:

### 1. Öfen für feste Brennstoffe.

Öfen für feste Brennstoffe: Kohle, Koks, und zwar: mit offenem Feuer und mit offenem Glühraum, bei denen das Werkstück mit dem Brennstoff nicht in Berührung kommt, das Erhitzen durch

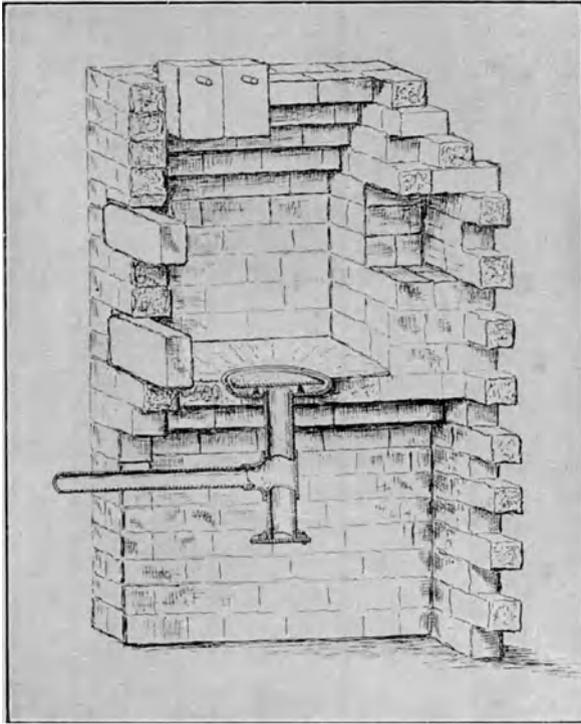


Abb. 32. Schmiedeherd für Härtezwecke.

die Flammen erfolgt; und mit geschlossenem Glühraum, wobei das Werkstück weder mit dem Brennstoff noch mit den Flammen oder Heizgasen in Berührung kommt, diese vielmehr den Heizraum von außen umspülen und erhitzen. Man nennt diese Öfen auch Muffelöfen.

In der weitaus größten Anzahl kleinerer Betriebe steht zum Erwärmen des Stahles das gewöhnliche Schmiedefeuer zur Verfügung. Bei Anwendung geeigneter Vorsichtsmaßregeln lassen sich auch hiermit gute Resultate erzielen, wobei allerdings nicht außer acht zu lassen ist, daß dabei von der Aufmerksamkeit und Geschicklichkeit des Härters der Erfolg abhängt und an diese naturgemäß höhere Anforderungen gestellt werden (Abb. 32). Zum Anwärmen nimmt man Holzkohle, wo solche nicht vorhanden, gut durchgebrannte Schmiedekohlen. Mit geringer Mühe kann man sich auch eine Art Muffelofen herstellen. Zum Erwärmen von Werkzeugen wie Spiralbohrer, Reibahlen, Gewindebohrer

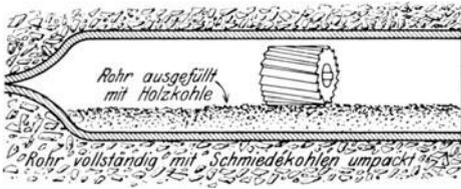


Abb. 33. Altes Stück Gasrohr zur Muffel zurechtgemacht.

u. dgl. m. läßt sich ein Stück altes Gasrohr leicht zurechtmachen, indem man das eine Ende zuklopft (Abb. 33). Im Feuer wird es dann von allen Seiten, mit Ausnahme des herausragenden offenen Endes, mit glühender Kohle

oder Koks gut umpackt. Kürzere Stücke alten U-Eisens oder ein aus einem Stück Blech gebogener Kasten leisten ebenfalls gute Dienste. In diese selbstgefertigten Muffeln bringt man dann Holzkohle und erwärmt. Man erreicht hierdurch einen vollkommenen Schutz vor der schädlichen Einwirkung des Gebläsewindes, die Ecken und Schneidkanten der Werkzeuge werden vom Feuer nicht angegriffen, die Werkstücke lassen sich gut beobachten und gleichmäßig und sicher erwärmen.

Die Nachteile der Erwärmung des Stahles im offenen Feuer — ungleichmäßige Temperatur, direkte Berührung mit dem Brennstoff und dem Gebläsewind — werden bei Verwendung von Schachtöfen vermieden, bei denen der Stahl nur mit den heißen Verbrennungsgasen der Brennstoffe und nicht mit diesen selbst in Berührung kommt. In ihrer Einrichtung sind alle diese Öfen gleich; zur Verwendung gelangen Brennstoffe, die keine eigentliche Flamme bilden, sondern vergasen. Sie können ohne Anwendung besonderer Gebläse im Betrieb gehalten werden, sofern nur Anschluß an einen genügend hohen Schornstein möglich ist.

Einen solchen Schachtofen zeigt Abb. 34. Er ist aus feuerfesten Ziegeln aufgemauert; das Mauerwerk wird durch Anker und Schließen zusammengehalten, oder ein gebrauchtes Stück alten

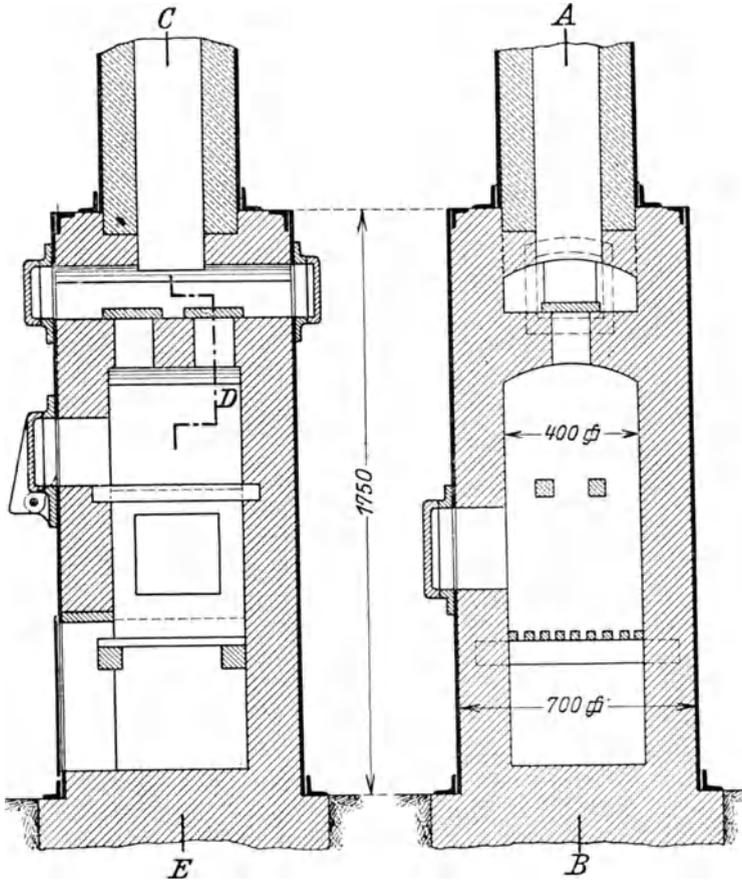


Abb. 34. Schachtofen aus einem gebrauchten alten Stück Flammrohr.

Flammrohres wird entsprechend hergerichtet. Der Essenkanal erhält zur Regulierung des Luftzuges eigene Essenschieber. Die Anheizdauer eines solchen Ofens beträgt 1—2 Stunden; zeigt das Ofeninnere Hellrotglut, so kann mit dem Einbringen der zu erhaltenden Werkzeuge begonnen werden.

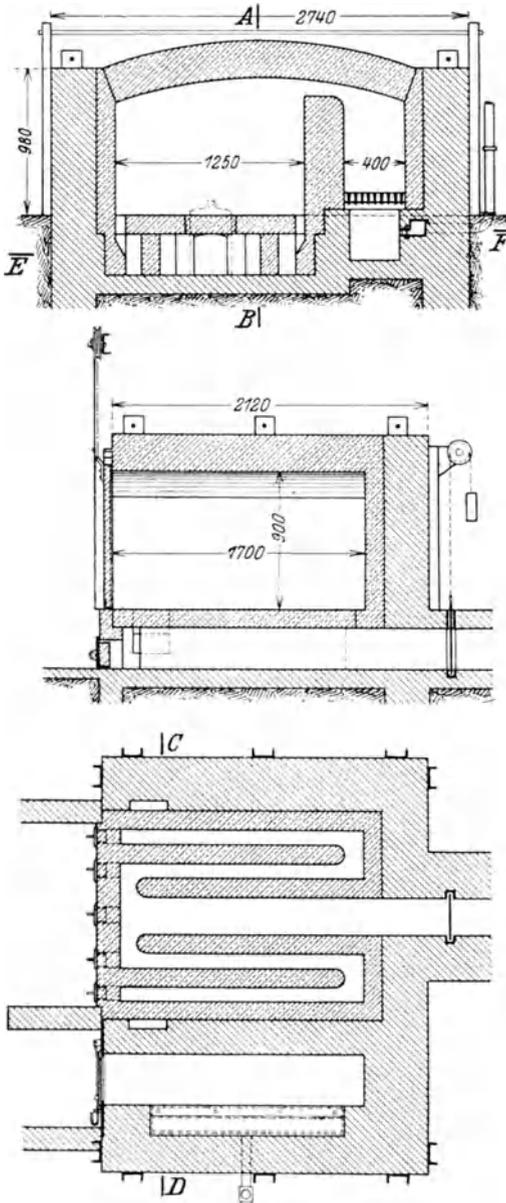


Abb. 35. Flammofen für Einsatzhärtung.

Sollen lange Gegenstände, wie Scherenmesser u. dgl. erhitzt werden, so erhält der Ofen eine den zu härtenden Gegenständen entsprechende größere Länge. Zur Bedienung des sich unter dem ganzen Herde hinziehenden Rostes sind die Heizöffnungen bei größeren Ofenlängen an der Längsseite angeordnet, wodurch überdies die Hantierungen im Arbeitsraum durch Bedienung des Rostes nicht gestört werden.

Zur Vermeidung ungleichmäßiger Temperaturen, wie sie bei Flammöfen vorkommen, hat man Sonderkonstruktionen angewendet, wie sie der in Abb. 35 dargestellte Härteflamofen, der besonders für Einsatzhärtung benutzt wird, zeigt. Die Werkzeuge werden in gußeiserne

Kästen, in Härtepulver eingepackt und mit gußeisernen Platten abgedeckt.

Die Heizgase streichen über den Herdraum und werden außerdem unter dem Herde in mehreren Kanälen zum Schorn-

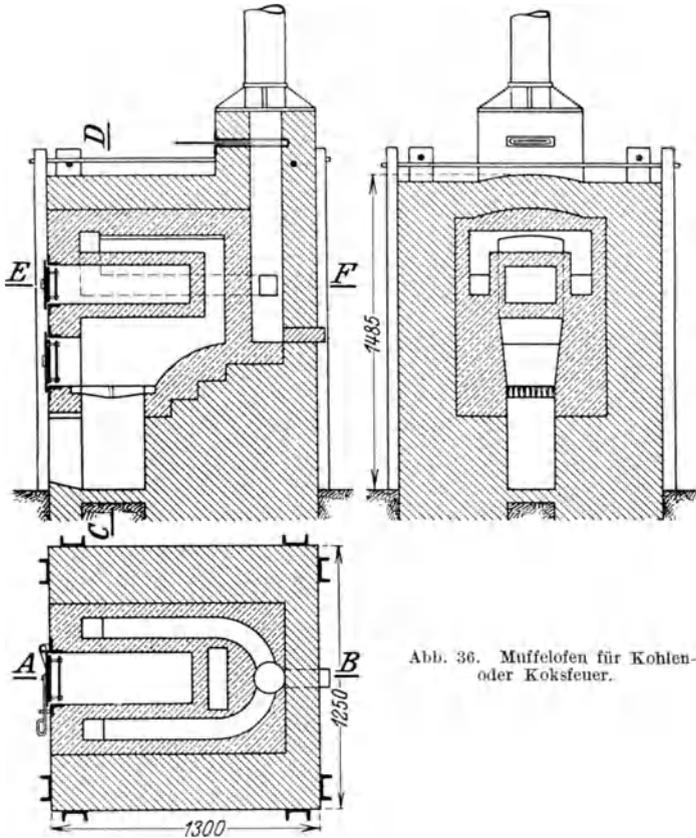


Abb. 36. Muffelofen für Kohlen- oder Koksfeuer.

stein geführt. Der Ofen besitzt Unterwindfeuerung; die Gebläseluft wird durch eine besondere Windleitung unter den Rost geführt, die Luftzufuhr ist durch einen Schieber zu regeln; ebenso ist im Essenkanal zur Regulierung ein Schieber eingebaut.

Durch den Einbau einer eisernen oder einer Tonmuffel in den Arbeitsraum erhält man einen Muffelofen. Die Abmes-

sungen der Muffel müssen natürlich entsprechend kleiner als der Arbeitsraum sein, damit sie von allen Seiten von den Heizgasen umspült wird. Die lichte Weite der Muffel wähle man zweckmäßig so groß, daß auch Glüh- oder Einsatzkästen zum

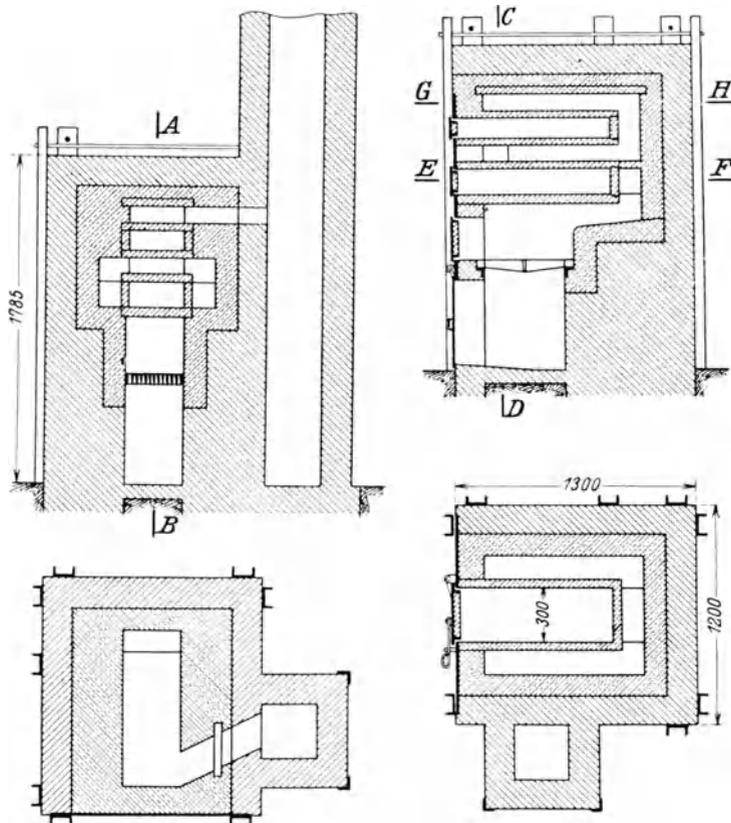


Abb. 37. Doppelmuffelofen für Kohlen- oder Koksfeuer.

Ausglühen oder im Einsatz zu härtender Gegenstände bequem eingebracht werden können (Abb. 36).

Sind eine große Zahl gleicher Stücke zu erhitzen, so ist in vielen Fällen die Benutzung eines Doppelmuffelofens empfehlenswert, wobei die obere Muffel zum Vorwärmen der Werkstücke benutzt wird (Abb. 37).

Der in Abb. 38 dargestellte Muffelofen mit gußeiserner Muffel dient zum Erhitzen größerer Gegenstände.

Die Muffeln aus feuerfestem Materiale, die verschiedenartige Ausführungsformen haben, werden von den heißen Abgasen

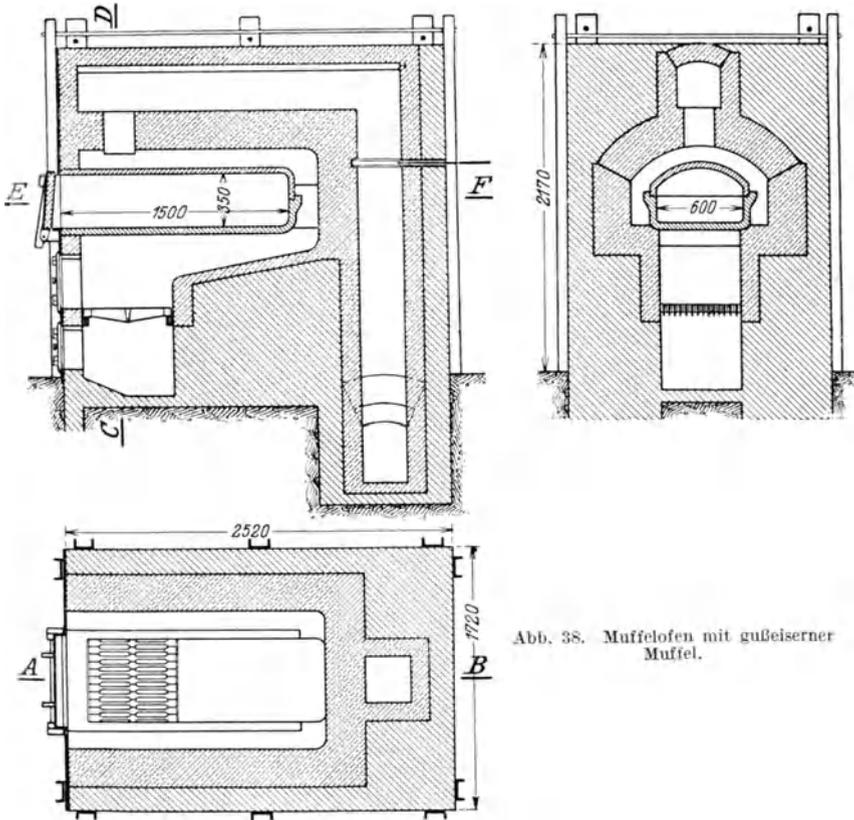


Abb. 38. Muffelofen mit gußeiserner Muffel.

umspült und dadurch erwärmt. Das Erhitzen des Stahles geschieht ausschließlich durch die von den Wandungen der Muffeln ausgestrahlte Wärme. Ein Überhitzen des Werkzeugstahles ist bei Unaufmerksamkeit auch hier möglich, besonders wenn er auf den Boden der Muffel gelegt wird. Deshalb ist es besser, das Werkzeug auf Unterlagen, z. B. Eisenstäbe, zweckmäßiger noch auf behauene Stücke feuerfester Steine, möglichst in die

Mitte der Muffel zu legen; wiederholtes Wenden des Stahles fördert dabei die gleichmäßige Erwärmung. Um den Luftzutritt in die Muffel zu verhindern, soll die Muffelöffnung durch eine Schiebetür aus Schamotte, die dichter als eine sich unter dem Einfluß der Hitze verziehende eiserne Tür schließt, geschlossen sein. Ein Schauloch, mit einem Glimmerblättchen verschlossen, gestattet die Beobachtung des Werkstückes.

Muffeln aus feuerfestem Materiale sollen vorsichtig und sehr langsam erwärmt werden, weil sie sonst leicht Sprünge erhalten. Entstehen solche dennoch, so verschmiert man sie mit einem Teig, angerührt aus 4 Teilen Graphit und 1 Teil Ton.

**Härte-Einsatzofen mit Generatorfeuerung System J. Zeugin, Pratteln (Schweiz).** (Abb. 39.) Im Generator werden die festen

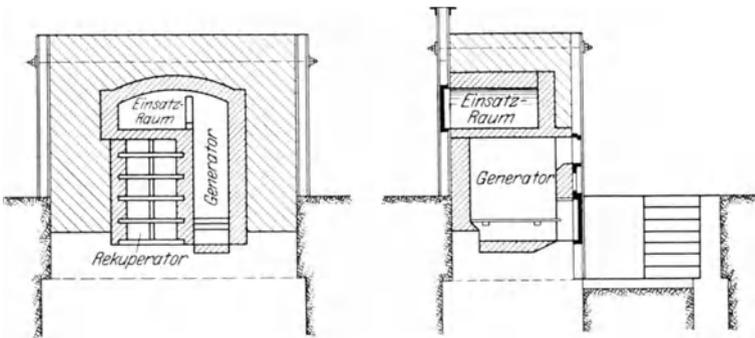


Abb. 39. Härte-Einsatzofen mit Generatorfeuerung System J. Zeugin.

Brennstoffe Kohle oder Koks vergast. Die Gase mischen sich mit vorgewärmter Luft, verbrennen mit heißer Flamme, die, den Einsatzraum bestreichend, den eingesetzten Werkstoff erhitzen. Die noch heißen Abgase geben ihre Hitze an einen Rekuperator zum Vorwärmen der Verbrennungsluft ab. Das Einsatzmaterial kommt infolge der Eigenart der Ofenkonstruktion weder mit dem Feuerungsmaterial noch mit der Flamme in direkte Berührung. Die Flammenbildung erfolgt vielmehr im oberen Teil des mit Generator bezeichneten Raumes. Die Erwärmung erfolgt nur durch die strahlende Wärme des hochehitzen Mauerwerks.

Sollen die Öfen auf Öl- oder Teerfeuerung umgestellt werden, so läßt sich dies ohne große Unkosten bewerkstelligen.

## 2. Glüh- und Härteöfen mit Gasfeuerung.

Der Gashärteofen, mit oder ohne eingebauter Muffel, ist wegen der Sauberkeit und Leichtigkeit seiner Bedienung gerade in den letzten Jahren immer mehr in Aufnahme gekommen, und eine moderne Härtereianlage ist ohne ihn kaum noch denkbar.

Der Hauptvorteil der mit Gas oder Öl geheizten Öfen besteht darin, die Temperatur während jeder gewünschten Zeitdauer gleichmäßig auf derselben Höhe zu erhalten; der Ofen kann, konstante Gaszufuhr vorausgesetzt, bis zu der geeigneten Temperatur erhitzt werden und die Werkzeuge können so lange darin bleiben, bis sie jene Temperatur erreicht haben. Dies erleichtert die Überwachung und macht ein Überhitzen fast unmöglich. Der Preis des Gases spielt damit gegenüber den mancherlei Vorteilen im Vergleiche zu anderen Brennstoffen keine ausschlaggebende Rolle mehr.

Das Inbetriebsetzen dieser Öfen geschieht wie folgt: Man öffnet das Luftventil, bringt brennendes Papier in das Innere des Heizraumes, und öffnet dann erst langsam den Gashahn. Die Brenner sollen im Betrieb mit einer stetigen blauen Flamme brennen.

Im nachfolgenden sollen zur Orientierung des Lesers die Ausführungsformen einiger Ofensysteme verschiedener Bauart und Hersteller kurz beschrieben werden. Ausdrücklich sei erwähnt, daß diese Auswahl keinen Anspruch auf Vollständigkeit macht, wie auch jede Kritik hier wegfällt.

**Glüh-, Härte- und Einsatzöfen Bauart Schuchardt & Schütte,** Berlin. (Abb. 40 bis 42.) Diese Öfen können mit Gas und Öl betrieben werden. Das Gemisch von Gas und Luft, bzw. Öl und Luft wird durch einen Brenner in einem Kanal unter der Herdplatte *d* verbrannt. Seitlich neben der Herdplatte sind Schamotte-Lamellen *c* eingebaut, durch welche die Heizgase in den Glühraum strömen. Alle nicht ausgenutzten Rückstände werden in den glühenden Lamellen durch Strahlungshitze aufgezehrt. Zugleich wirken sie als Wärmeausgleicher, so daß größere Temperaturschwankungen beim Einbringen neuen Glühgutes sich nicht so stark bemerkbar machen.

Durch die zylindrische Form des Ofens wird die Wärme besser zusammengehalten. Der Glühraum ist durch eine kräftige Tür, die durch ein Gegengewicht entlastet ist, verschließbar. Ein Teil

der den abziehenden Verbrennungsgasen innewohnenden Wärme wird durch Vorwärmen der Verbrennungsluft ausgenutzt.

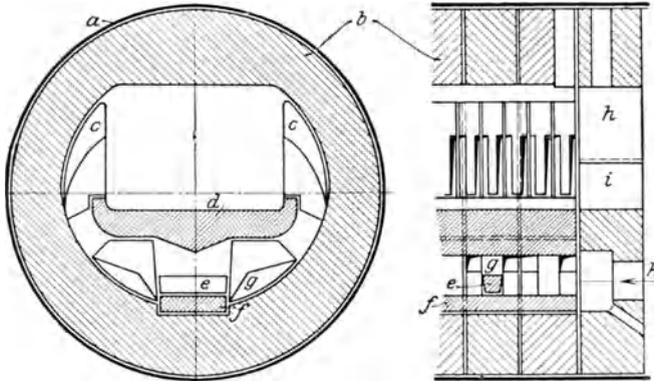


Abb. 40. Schnitt durch den Ofenkörper eines Glüh- und Härteofens.

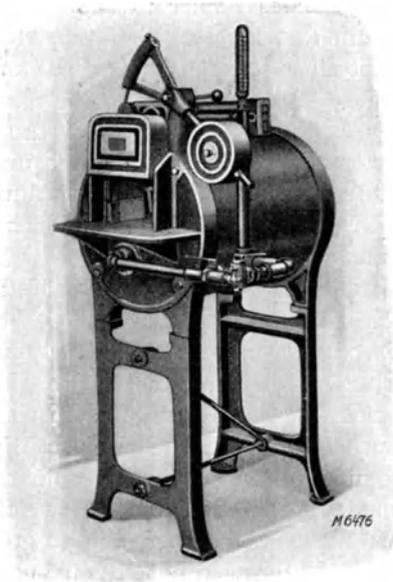


Abb. 41. Glüh-, Härte- und Einsatzofen mit Gasfeuerung von Schuchardt & Schütte.

Die Öfen können auch mit einem Kaltwindschleier versehen werden, wodurch einmal der Arbeiter bei geöffneter Ofentür vor der strahlenden Hitze des Ofens geschützt und dann lange Werkstücke auch außerhalb des eigentlichen Ofenraumes nicht zu stark erwärmt werden. Ist der Ofen in Betrieb, so wird durch eine Vorrichtung ein kalter Luftstrom vor der Türöffnung senkrecht in die Höhe geblasen.

Die Öfen können auch als Doppelkammer-Glüh- und Härteöfen gebaut werden. Im unteren Glühraum kann eine Temperatur bis etwa  $1300^{\circ}\text{C}$  erzielt werden,

in der oberen, durch die Abgase beheizten Kammer beträgt sie etwa  $900\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ .

**Transportabler Glüh- und Einsatz-Härteofen von Gebr. Pierburg, Berlin-Tempelhof.** Der Ofen kann mit Öl oder Gas geheizt werden. Die Abgase, die mit ziemlich hoher Temperatur den Ofen verlassen, dienen zum Vorwärmen der dem Brenner zuzuführenden Luft. Hierdurch wird eine heißere Flamme, und damit geringerer Brennstoffverbrauch und Abkürzung der Anheizdauer erreicht.

Zum Betriebe dieses Ofens ist Druckluft mit einer Pressung von 400 mm WS bei Niederdruck, oder 1500 mm WS bei Hochdruck erforderlich (Abb. 43).

**Weltofen für Gas- oder Ölfeuerung von Brüder Boye, Berlin.** Die Öfen werden mit Gas oder Öl beheizt. Die Gebläseluft muß eine Spannung von 1500 mm WS besitzen, die durch ein Hochdruckgebläse erzeugt wird.

Infolge seiner eigenartigen Konstruktion dient er sowohl zum Erhitzen von Schnellstahl, wie auch von Kohlenstoffstahl und kann nicht nur als Salz- und Bleibadofen, sondern auch als Anlaßofen verwendet werden (Abb. 44).

Eine besondere Ausführungsform der Gasöfen zum Glühen und Vergüten bilden die in neuester Zeit in Aufnahme gekommenen zylindrischen Vertikalöfen mit Gasfeuerung (Abb. 45),

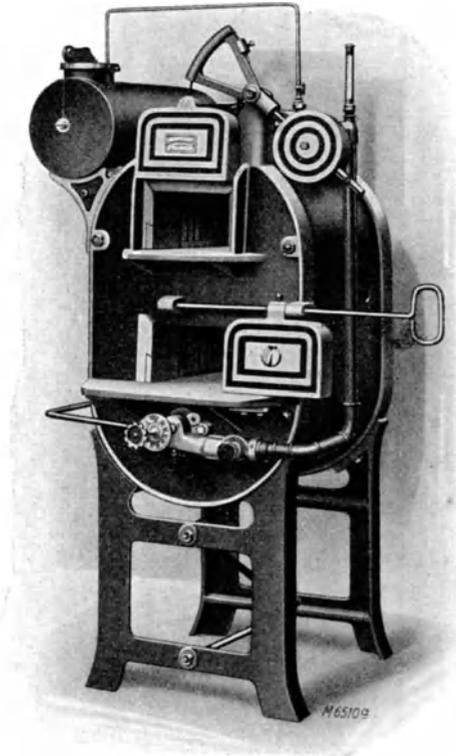


Abb. 42. Doppelkammer-Glüh- und Härteofen für Ölfeuerung.

in denen alle solche Stahlteile vergütet, gehärtet oder geglüht werden sollen, die infolge ihrer langen Form bei der Erwärmung Neigung zum Verziehen oder sonstigen Formveränderungen zeigen, also Rohre (Torpedokessel, Geschützrohre,

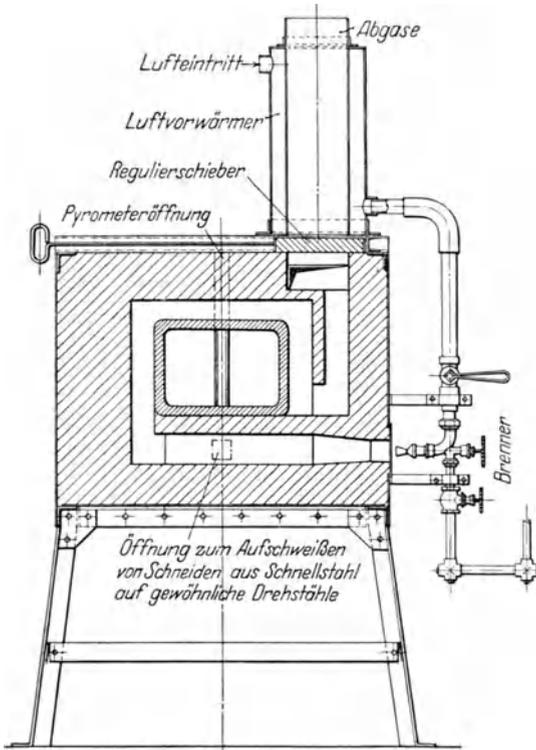


Abb. 43a. Ofen von Gebrüder Pierburg.

Schrumpfrohre, Hohlachsen usw.), Wellen (Kurbelwellen für Flugzeuge, Automobile u. ä., Achsen, Pleuelstangen usw.), Hohlkörper aller Art, lange Scherenmesser. Die kleinste Ausführungsform der Vertikalöfen ist noch geeignet für Werkzeuge (Stehbolzengewindebohrer, Ziehborner, Spiralbohrer, lange Messer u. dgl. m.) aus Kohlenstoffstahl oder Schnellstahl (Abb. 46).

Der Vertikalofen selbst muß so beschaffen sein, daß man in der Lage ist, die in Betracht kommenden Gegen-

stände ihrer Form, ihrem Materiale und der späteren Beanspruchung entsprechend zu behandeln. Dazu ist in erster Linie eine durchaus gleichmäßige Erwärmung des ganzen Heizraumes erforderlich mit möglichst geringen Temperaturunterschieden, nicht größer als  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Ebenso wichtig ist es, die durch die Haltepunkte bestimmten Temperaturen nicht nur genau einzustellen, sondern auch während der ganzen Dauer des Glühprozesses auf gleicher Höhe zu halten. Hieraus ergibt sich die wei-

tere Forderung, daß die Temperatur im Heizraum jederzeit zuverlässig festgestellt werden kann; die Prüfung durch das Auge des Härters ist als unzuverlässig zu verwerfen. Damit kommt hier nur die Temperaturmessung durch das Pyrometer möglichst mit aufschreibenden Temperaturanzeigern in Frage; sie gestatten auch nachträglich die Glühperiode nachzuprüfen und dadurch vielleicht entstandene Fehlerquellen zu entdecken und zu beseitigen.

Für die Beheizung der Vertikalöfen muß bei Fortfall der teuren und einem großen Verschleiß unterworfenen Muffeln ein Brennstoff gewählt werden, der das Material des Glühgutes weder durch Stichflammenbildung, noch durch Abgase mit schädlichen Beimengungen ungünstig beeinflusst.

Abb. 45 zeigt einen zylindrischen Vertikalofen mit Beheizung durch Leuchtgas oder Wassergas. Der Ofen

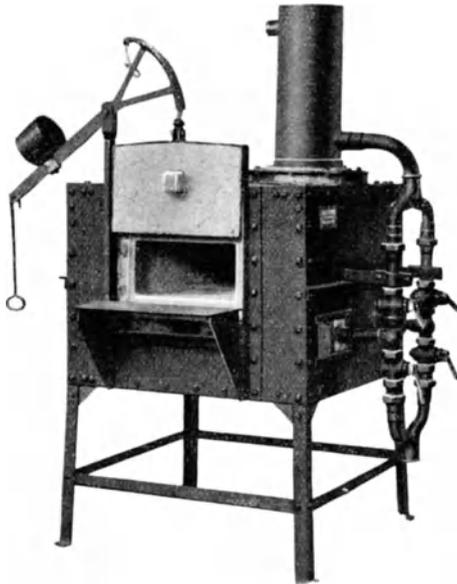


Abb. 43 b. Ofen von Gebrüder Pierburg.

besteht aus starken, je 1 m hohen Blechzylindern, die im Innern durch feuerfeste Formsteine ausgemauert sind. In diese Zylinder sind die Brenner mit tangential eintretenden Düsen eingebaut. Je nach dem verlangten Durchmesser des Heizraumes ist auf den Umfang eine entsprechende Anzahl derartiger Brenner — meistens sechs Stück — verteilt. Die Höhe der Öfen wird durch die Länge der zu behandelnden Arbeitsstücke bestimmt; es können beliebig viele solcher Zylinder — Schüsse — übereinander angeordnet werden. Die Brenner eines jeden dieser Schüsse sind durch gemeinsame Gas- und Windverteilungsringe miteinander verbunden. Bei jedem Brenner kann die Gas- und Windzuführung

durch Ventile und Hähne eingestellt und geregelt werden. Die Gas- und Windverteilungsringe der einzelnen Schüsse sind dann an senkrecht angeordnete Zuführungsrohre für Gas und Wind angeschlossen.

In jedem Schuß sind zwei verschließbare Anzündöffnungen angebracht, von denen je eine gleichzeitig als Einführungsöffnung



Abb. 44. Welt-Ofen für Gas- oder Ölfeuerung  
von Brüder Boye.

für die Pyrometer vorgesehen ist. Der unterste Schuß ist durch einen starken, ebenfalls mit feuerfesten Steinen ausgekleideten Boden abgeschlossen. Der oberste Schuß erhält die Einführungsöffnungen sowie einen Deckel mit einer Aussparung, um die Aufhängestange durchzulassen. Der Einbau des Ofens erfolgt so, daß er in einer Grube versenkt steht und die Eingangsöffnung nur wenig über Hüttenflur hinausragt. Eine bequeme Bedienung und Beobachtung der einzelnen Zonen wird durch eine in die Grube eingebaute Ar-

beitsbühne mit verschiedenen Plattformen je nach der Länge des Ofens ermöglicht.

Das zur Beheizung des Ofens verwandte Leuchtgas, Koks- ofengas oder Wassergas wird mit einem Leitungsdruck von 20 bis 60 mm WS oder auch höher den Brennern zugeführt und dort mit einem gleichmäßigen Windstrom von 800—1000 mm WS gemischt. Durch Einstellen der Gasventile und Windhähne kann eine reduzierende oder vollständig verbrennende Flamme jeder

wünschten Stärke eingestellt werden. Die Einrichtung der Brennerdüsen bedingt jedoch eine gewisse Begrenzung der Temperatur, so daß man unterscheidet: Glühöfen mit einer Heizgrenze von 400 bis 700° C und Härteöfen mit einer Heizgrenze von 700—1000° C oder höher.

Die zu erwärmenden Gegenstände werden mit dem Kran in den Heizraum eingefahren und in passende Lagerböcke auf dem Ofen abgehängt. Die tangential eintretenden kleinen Stichflammen

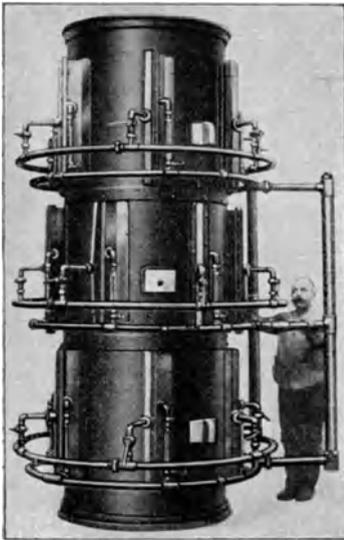


Abb. 45. Zylindrischer Vertikalofen mit Beheizung durch Leuchtgas oder Wassergas.

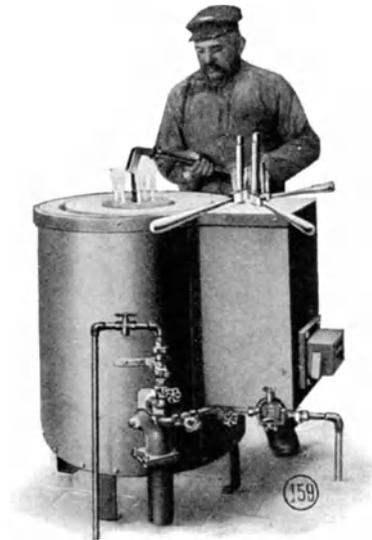


Abb. 46. Senkrechter Härteofen mit Vorwärmkammer für Gas- oder Ölheizung von Brüdern Boye.

streichen an der Schamottewandung vorbei und erzeugen einen lebhaften Hitzewirbel um das Arbeitsstück. Nach erfolgter Durchwärmung des Heizraumes sind diese Stichflammen vollständig verschwunden, so daß das Arbeitsstück in der reinen, klaren Hitze von großer Gleichmäßigkeit hängt. Infolge des hohen Winddruckes von 800—1000 mm WS ist der Hitzewirbel sehr stark und es erübrigt sich daher ein Drehen der Arbeitsstücke, wie es bei den früheren Muffelöfen erforderlich war. Infolge der guten

Ausnutzung der Heizgase ist eine Absaugevorrichtung oder Anschluß an den Schornstein nicht erforderlich.

Leuchtgas zur Beheizung von Vertikalöfen kommt da in Frage, wo der Preis so bemessen ist, daß sich die Beheizungskosten nicht zu hoch gestalten, und zwar kann man hierbei eine obere Preisgrenze von etwa 8—9 Pfennig für 1 m<sup>3</sup> annehmen. Wird diese Grenze überschritten, oder ist Leuchtgas nicht vorhanden, ist Wassergas zu wählen, dessen Gestehungskosten 2,0—3,5 Pfennig für 1 m<sup>3</sup> bei 2500 WE/m<sup>3</sup> betragen.

### 3. Glüh- und Härteöfen mit Ölfeuerung.

Wie schon unter b) bei den Öfen mit Gasfeuerung gesagt worden ist, besteht der wesentliche Vorzug der mit Öl geheizten Öfen darin, daß auch bei diesen die Temperatur während jeder beliebigen Zeitdauer auf derselben Höhe, d. h. also konstant gehalten werden kann; ein weiterer, der sie für die Sonderzwecke der Härtereier geeignet erscheinen läßt, ist ihre Verwendbarkeit überall da, wo kein Gas zur Verfügung steht.

Die verwendeten Öle sind unter der Bezeichnung: Teeröl, Massuth, Rohöl, Blauöl usw. in den Handel kommenden Heizöle, die in 1 kg etwa 9500 Wärmeeinheiten (abgekürzt WE) enthalten, während Leuchtgas in 1 m<sup>3</sup> etwa 4800 WE besitzt.

1. Teeröl: Es ist von grünbraun bis dunkelbrauner Farbe, hat kräftigen Teergeruch, ein spezifisches Gewicht von im Mittel 1,04—1,06, Flammpunkt nicht unter 65° C und ist bei gewöhnlicher Temperatur dünnflüssig<sup>1)</sup>.

Das Steinkohlenteeröl ist ein Destillationserzeugnis des Steinkohlenteers, der sich bei der Verkokung der Kohle in Koksöfen oder in Retorten abscheidet.

Infolge des sauren Charakters der Teeröle dürfen bei ihrer Verwendung gewisse Vorsichtsmaßnahmen nicht außer acht gelassen werden:

Maschinen- oder Brennerteile, wie Ventile, Pumpen und Düsen, bei denen auch eine geringe Abnutzung des Materiales nachteilig ist, dürfen nicht aus Kupfer, Zink oder deren Legierungen hergestellt werden, sondern zweckmäßig aus Nickel oder Nickelstahl mit 25 vH Nickel. (Für Dieselmotore genügt dichter

<sup>1)</sup> Vgl. auch Dr. L. Schmitz: Die flüssigen Brennstoffe. Berlin: Julius Springer.

Grauguß.) Rohrleitungen und Vorratsbehälter können aus den üblichen Materialien bestehen; das Dichtungsmaterial für Flansche u. ä. ist vorsichtig auszuwählen. Denn Teeröl zersetzt die meisten Stoffe vegetabilischer, d. h. pflanzlicher Herkunft und Zusammensetzung, sie werden nach einiger Zeit zerstört, die Dichtungsstellen undicht.

So empfiehlt es sich, wenn irgend angängig, metallische Dichtungsmittel zu benutzen. Bei Verwendung von Metallschläuchen haben sich nur die ganz aus Metall ohne Gummi- oder ähnlicher Zwischenlage hergestellten bewährt. Die Verkaufsvereinigung für Teererzeugnisse empfiehlt als Dichtungsmaterial für Ölleitungen Pappdeckel oder Asbest in Leim getränkt.

Ferner ist der Naphthalingehalt des Teeröles zu beachten. Bei starken Temperaturschwankungen, plötzlich eintretender Winterkälte, treten Ausscheidungen von Naphthalin im Öle auf, die irrtümlich als Schmutz angesehen werden. Dieses wertvolle Heizmaterial kann durch Erwärmen auf etwa 60° C und kräftiges Umrühren wieder in Lösung gebracht werden. Sollte der größte Teil des überstehenden Öles bereits verbraucht sein, so bewahrt man solche Naphthalinausscheidungen auf und setzt sie frischem Teeröl nach und nach zu.

Der Verkauf des größten Teiles der deutschen Teerölproduktion liegt in den Händen der Verkaufsvereinigung für Teererzeugnisse, Essen-Ruhr. Die Erzeugung betrug im Jahre 1904 150000 t, im Jahre 1912 schätzungsweise 500000 t.

Der Transport des Teeröles erfolgt in Kesselwagen und Eisen- oder Holzfässern. Der Bezug in Kesselwagen stellt sich wesentlich billiger als der in Fässern.

Zur Erzielung einer vollkommenen Verbrennung sind etwa 10 m<sup>3</sup> Luft für 1 kg notwendig.

2. Masut: Hierunter versteht man die nach Abtreiben des Gasöles aus dem Erdöl verbleibenden Rückstände, weil es vielfach unlohnend ist, aus diesen Schmieröl, Paraffin u. dgl. herauszuarbeiten.

Für Deutschland haben diese Brennstoffe kein Interesse, da bisher ein sehr hoher Einfuhrzoll darauf ruhte.

Der Heizwert beträgt 10500 WE.

Rohöl: Als Erdöl, Rohöl, Rohpetroleum oder Naphtha bezeichnet man allgemein ein Gemisch von Kohlenwasserstoffen,

flüssig in der Erde vorkommender brennbarer Produkte. Als Beimengungen kommen Schlamm, Sand und Wasser vor, die abzuscheiden sind; auch der Schwefelgehalt ist zu beachten.

Gefunden wird Erdöl in fast allen Ländern. Die Gewinnung geschieht durch Bohren von Brunnen, aus denen es entweder selbst nach Art artesischer Brunnen ausströmt oder durch Pumpen oder durch Schöpfen gefördert wird.

Das spezifische Gewicht soll bei  $15^{\circ}\text{C}$  zwischen 0,85 und 0,96, der Flammpunkt nicht unter  $60^{\circ}\text{C}$  liegen; der Heizwert darf nicht unter 10000 WE für 1 kg betragen, die theoretische Luftmenge für 1 kg Öl ist  $10,5\text{ m}^3$ .

Blauöl: Gasöl, Blauöl, Mittelöl oder Grünöl ist ein Destillationsprodukt des Erdöls. Der Heizwert beträgt etwa 9800 bis 10000 WE, der Luftbedarf etwa  $11\text{ m}^3$  für 1 kg.

Teer, Masut und Rohnaphthalin müssen vorgewärmt werden, weil ihre Verwendung in Glühöfen nur dann möglich ist, wenn sie in fein zerstäubtem Zustande eingeblasen werden.

Alle flüssigen Brennstoffe sind zu zerstäuben und zu vergasen. Ersteres erfolgt durch gepreßte Luft, die, durch eine regulierbare

Düse strömend, gleichzeitig eine vollkommen rauch- und rußfreie Verbrennung herbeiführt. Entsprechendes Einstellen der Regelvorrichtung gestattet Erzielung verschieden hoher Wärmegrade. Das Öl muß dem Brenner zufließen. Der Ölbehälter ist daher hochzustellen, eine kleine Flügelpumpe mit Saugschlauch und Saugsieb ermöglicht bequemes Füllen aus den Ölfässern. Ein Ölstand zeigt den Verbrauch des Öles aus dem Ölbehälter an, so daß für rechtzeitiges Nachfüllen Sorge getragen werden kann (Abb. 47).

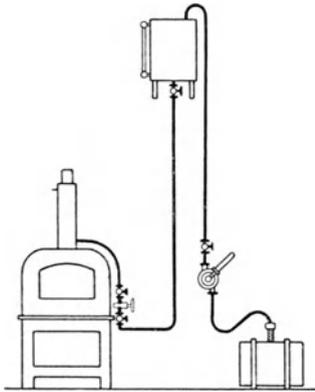


Abb. 47. Schematische Darstellung eines Ofens mit Ölfeuerung.

**Ölbrenner „System Harter“ von Hahn & Kolb.** Das Heizöl fließt mit natürlichem Gefälle vom Ölbehälter zur Öldüse des Brenners. Es wird vom Zerstäubungswind zu einem fein verteilten Ölnebel zerstäubt. Die Zuführung der zur Verbren-

nung des Ölnebels nötigen Verbrennungsluft erfolgt durch einen ringförmigen Schlitz. Der Winddruck darf nicht unter 350 mm WS sinken. Die Regulierung der Luft erfolgt durch ein Handrad, die des Heizöles durch ein fein verstellbares Nadelventil.

Das Inbetriebsetzen des Ölbrenners geschieht wie folgt: Aufdrehen des großen Handrades, wodurch dem Brenner die nötige Zerstäubungs- und Verbrennungsluft zugeführt wird. Einführen eines brennenden Gegenstandes in den Heizraum. Öffnen des Nadelventiles durch ein kleines Handrad, worauf sofort die Zündung erfolgt. Einregulieren der Flamme auf die gewünschte Stärke.

Beim Abstellen schließt man zuerst das Ölventil und darnach die Luftzufuhr, Abb. 48.

**Hochleistungs-Niederdruckluft-Ölbrenner Bauart „Dr. Schmitz & Co.“.** Auch diesem Brenner fließt das Öl zu. Bei seinem Austritt wird es von einem wirbelnden Luftstrom erfaßt und restlos zerstäubt, so daß das aus der Düse austretende Öl- und Luftgemisch rauch- und rußfrei verbrennt. Der Winddruck beträgt 350 bis 400 mm WS. Die Regelung des Ölverbrauches ist durch ein Regulierventil möglich, Abb. 49.

**Salzbad- oder Bleibadhärteofen von Dr. Schmitz & Co.,** mit Vorwärmer und Ölfeuerung. Das feuerfeste Mauerwerk ist unter Belassung einer Isolierschicht mit einer Blechverkleidung umhüllt. Die Beheizung des Ofens erfolgt durch einen Niederdruckluft-Ölbrenner. Die Anordnung ist so getroffen, daß die Heizgase den Tiegel tangential umkreisen, wodurch das Bad erhitzt wird, Abb. 50.

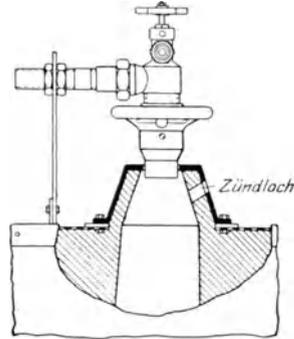


Abb. 48. Ölbrenner „System Harter“.

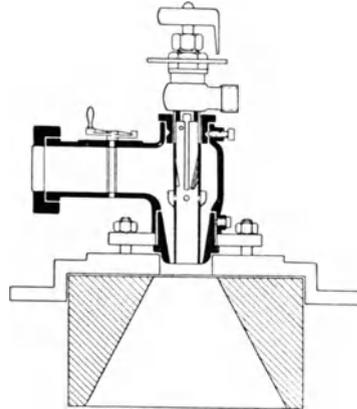


Abb. 49. Ölbrenner nach Dr. Schmitz & Co.

**Automatischer Härteofen von Dr. Schmitz & Co. für Mähmaschinen-Messerklingen.** Auf ein endloses Transportband aus feuerbeständigem Guß werden die Messer aufgesteckt. Das Band ist so durchkonstruiert, daß die Messer nur an den Schneiden warm werden. An der einen Kopfseite des Ofens tritt das Band mit den Messern unterhalb des Brenners in diesen ein, wandert langsam durch den Ofen hindurch, wobei sie sich erhitzen,

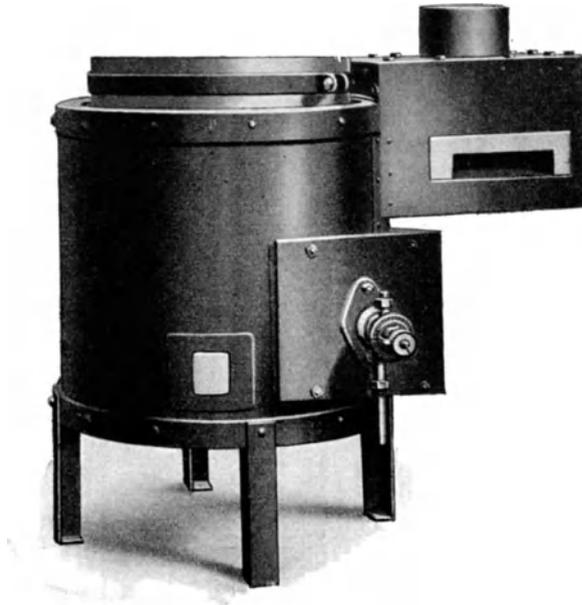


Abb. 50. Salzbad- oder Bleibad-Härteofen mit Vorwärmer für Ölfeuerung.

und läßt sie beim Austritt am anderen Ofenende in ein Öl- oder Wasserbad fallen. Bei einem Ölverbrauch von etwa 7 kg pro Stunde beträgt die Ofenleistung stündlich  $\sim$  2000 Stück, Abb. 51.

#### 4. Blei- und Salzbad-Härteöfen.

Auch im Muffelofen ist der Zutritt der Luft zum Werkstück nicht ganz zu vermeiden; durch die direkte Berührung des Werkzeuges mit der Muffelwandung und ungleichmäßiger Erwärmung

derselben kann es auch in der Muffel ungleichmäßig erhitzt werden, namentlich dann, wenn der Muffelraum verhältnismäßig klein ist.

Zum Härten unter absolutem Luftabschluß erwärmt man die Werkzeuge entweder

- a) in einem Bade geschmolzener Metalle oder
- b) in einem Bade geschmolzener Salze von bestimmter Schmelztemperatur.

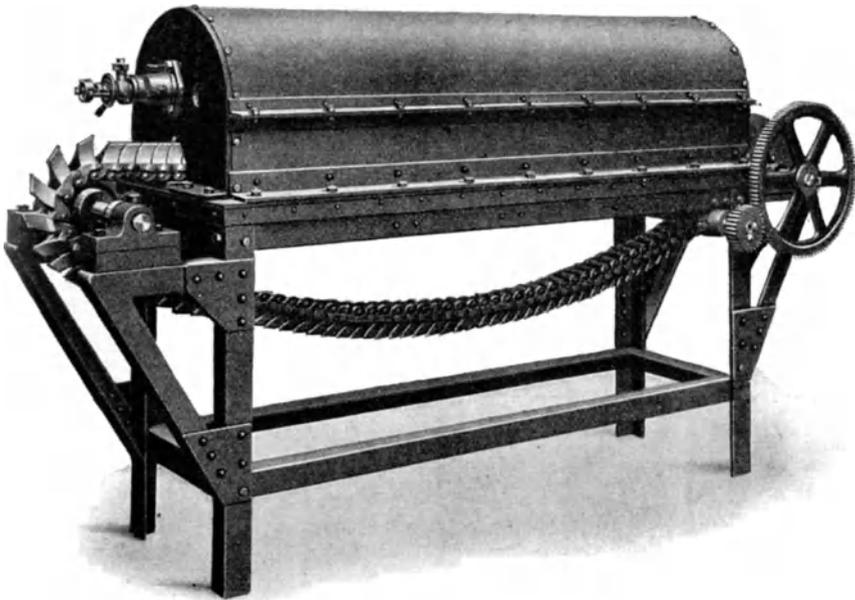


Abb. 51. Automatischer Härteofen für Mähmaschinen-Messerklingen mit Ölfeuerung.

Da ferner eine große Zahl von Werkzeugen beim Härten nur teilweise zu erwärmen sind, wie beispielsweise Spiralbohrer, Reibahlen, Gewindebohrer, Scheren, Stechbeitel u. a. m., so läßt sich dies durch mehr oder weniger tiefes Eintauchen begrenzen.

**Schmelzkessel:** Sie bestehen aus bestem feuerbeständigem Stahlguß oder Graphit, letzterer für Bäder zum Härten von Schnellstahl, weil Stahlguß bei den erforderlichen höheren Temperaturen hier nicht standhält.

Die Erwärmung der Schmelzkessel geschieht durch einen

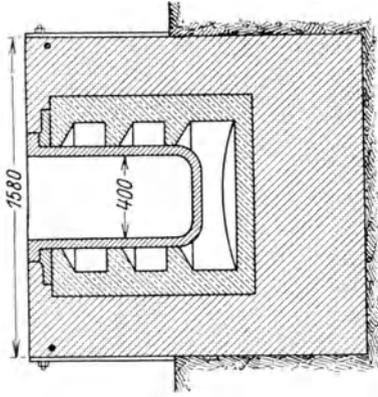
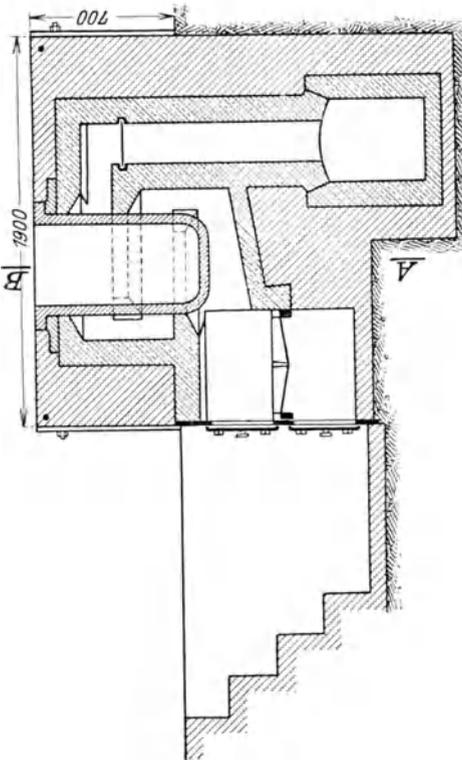


Abb. 52. Bleibad-Härteofen mit Koksfeuerung.



milde Hitze gebenden Koks oder mittels Holzkohle; die Heizgase führt man zweckmäßig spiralförmig um den Tiegel herum und läßt sie oben abziehen (Abb. 52).

Bequemer und sauberer sind jedoch die mit Gas geheizten Bleibad-Härteöfen. Der Gaseintritt erfolgt auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten des Ofens, die Brenner sind senkrecht angeordnet, so daß eine gleichmäßige Erwärmung des gußeisernen Tiegels erzielt wird. Bemerkenswert ist, daß die Öfen sowohl mit als auch ohne Windvorwärmung gebaut werden (Abb. 53). Die Temperaturkontrolle hat durch Pyrometer zu erfolgen.

**Das Bleibad.** Verwendet wird reines Weichblei ohne alle Zusätze, dessen Schmelzpunkt bei etwa  $336^{\circ}\text{C}$  liegt. Da es bis ungefähr  $750^{\circ}\text{C}$  überhitzt werden muß, um die nötige Härtetemperatur zu erzielen, so ist geschmolzenes Blei an der Oberfläche starker Oxydation ausgesetzt, die Verluste durch Verdampfen sind

groß. Um diese und damit die Oxydation des Bleibades tunlichst zu vermeiden, streut man auf seine Oberfläche eine etwa 2 cm dicke Schicht fein gepulverter Holzkohle. Der gesundheitsschädliche Bleidampf ist durch ein Abzugsrohr ins Freie zu führen.

**Nachteile des Bleibades.** Bei Verwendung unreinen, schwefelhaltigen Bleies gibt dieses einen Teil des Schwefels an den Stahl

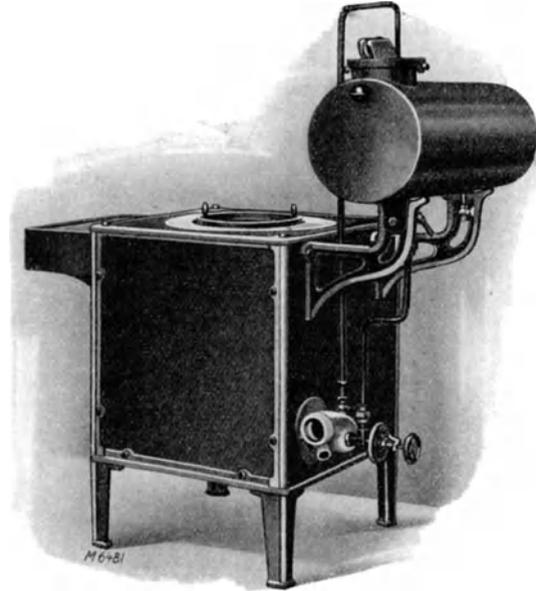


Abb. 53. Bleibad-Härteofen für Ölfeuerung mit Vorwärmplatte von Schuchardt & Schütte.

ab, es entstehen die bekannten Weichflecken. Man kocht deshalb frisches geschmolzenes Blei vor dem Gebrauche einige Stunden aus.

Vor dem Eintauchen sind die zu härtenden Werkzeuge von jeglicher Feuchtigkeit zu befreien, Öl und Fett müssen abgebrannt oder mit Benzin oder Alkohol abgewaschen werden. Geschieht dies nicht, so wird durch die entstehenden Dämpfe das flüssige Blei explosionsartig emporgeworfen, verspritzt und die Arbeiter verletzt.

Blei bleibt in den Vertiefungen der Werkzeuge, in Ecken, an Zähnen, z. B. bei Schneidbohrern u. ä., leicht haften, ver-

hindert an diesen Stellen beim Ablöschen die Härtung, das Werkzeug bleibt also stellenweise weich. Um dies zu vermeiden, bestreicht man die von Öl und Fett sorgfältig gereinigten Werkzeuge mit einer Mehlpappe oder einem Brei, bestehend aus

- 1 Teil fein gepulverter Holzkohle, Lederkohle, Klauenmehl,
- 1 Teil Roggonmehl,
- 1 Teil Kochsalz,

angerührt mit einer gesättigten Lösung von Kochsalz in Wasser. Die mit diesen Mischungen bestrichenen Werkzeuge trocknet man sorgfältig und langsam, ehe man sie in das geschmolzene Blei eintaucht.

Ein anderes Mittel ist folgendes: Man bestreicht die Werkstücke mit Leinöl, bestreut sie dann mit Kienruß und trocknet sie.

Die zu härtenden Stücke sollen vor dem Eintauchen in das flüssige Blei vorgewärmt werden.

Die Zusätze üben eine zementierende Wirkung auf die Oberfläche des Stahles aus. Vor dem Eintauchen in die Härteflüssigkeit ist der Überzug durch leichtes Beklopfen zu entfernen.

Wird die Temperatur des Metallbades möglichst genau auf gleicher Höhe wie die Härtungstemperatur gehalten, was durch ein Pyrometer ständig zu kontrollieren ist, so laufen, auch bei längerem Eintauchen des zu erheizenden Werkzeuges, einzelne dünnere Teile desselben keine Gefahr, überhitzt zu werden; es findet also eine gleichmäßige Erwärmung ohne Glüspanbildung statt.

Zur Erwärmung von Schnellstahl ist das Bleibad nicht geeignet, weil bei der hier notwendigen höheren Härtetemperatur das Blei verdampft.

Die zu härtenden Werkzeuge werden einzeln oder gruppenweise eingetaucht. Da nun Blei schwerer ist wie Stahl, so haben die Werkstücke das Bestreben, zu schwimmen; der Auftrieb wird durch schwere Zangen oder sonstwie ausgeglichen.

**Das Salzbad.** Für das Härten und Anlassen sind in neuester Zeit Salzäder immer mehr in Aufnahme gekommen. Die Mischung der einzuschmelzenden Salze ist keine bestimmte, sie hängt in der Hauptsache vom Verwendungszwecke ab. Leicht schmelzbare Salze, die rasch verflüchtigen, und solche, die infolge ihrer chemischen Zusammensetzung schädliche Einflüsse ausüben, sind ungeeignet. Kochsalz bildet den Hauptbestandteil der Mischung, da es billig ist und sich vorzüglich eignet; Zusatz von Soda führt

rasches Schmelzen herbei, Zusatz von Kalisalpeter erhöht die Leichtflüssigkeit der geschmolzenen Masse, Zusatz von chromsaurem Kali oder Borax verbessert die Eigenschaften des Schmelzbades, Zusatz von gelbem Blutlaugensalz (Ferrozyankalium) verhindert die schädliche Einwirkung des Salpeters durch Entkohlung des Stahles. Für hohe Temperaturen eignet sich Chlorbarium. Gelbes Blutlaugensalz übt eine stark zementierende Wirkung aus, es wird beim Härten von Werkzeugen aus gewöhnlichem Werkzeugstahl mit Vorteil verwendet, bei Schnellstahl ist es überflüssig.

Die Erwärmung ist dem zu härtenden Stahle anzupassen; bei gewöhnlichem

Werkzeugstahle beträgt die Temperatur  $750^{\circ}$  bis  $850^{\circ}$  C, bei Schnellstahl  $1000^{\circ}$  bis  $1200^{\circ}$  C; in letzterem Falle werden schwerflüssigere Salze genommen. Die

Temperaturmessung hat durch Pyrometer zu geschehen. Das durch Verdampfung abnehmende Bad ist von Zeit zu Zeit frisch aufzufüllen; Aufstreuen von gepulverter Holzkohle mindert die Verdampfung.

Wie bereits beim Bleibade vorgeschrieben, sind alle zu härtenden Gegenstände vor dem Eintauchen in das Salzbad von Feuchtigkeit, Öl und Fett sorgfältig zu befreien; sehr kalte Gegenstände wärmt man vor dem Eintauchen an.

Bleibt an den glühenden aus dem Salzbad gehobenen Werkstücken Salz haften, so wird es beim Eintauchen in Wasser sofort abspringen.

Im geschmolzenen Salze erwärmte Werkzeuge behalten ihre

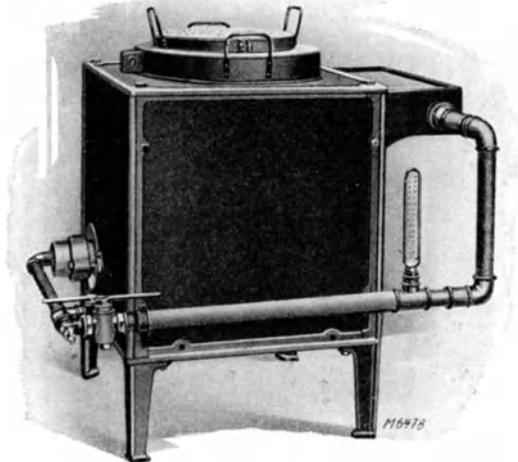


Abb. 54. Salzbad-Härteofen für Gasfeuerung mit Vorwärmplatte und Luftvorwärmung von Schuchardt & Schütte.

metallisch reine Oberfläche nach dem Härten bei, sie bleiben blank. Waren sie vor dem Härten mit einer Oxydschicht bedeckt bzw. rostig, so zeigen sie nach dem Härten metallisch reine Flächen.

Die zu härtenden Werkstücke werden in Drahtschlingen hängend oder auf Sieben liegend eingetaucht. Soll nur eine

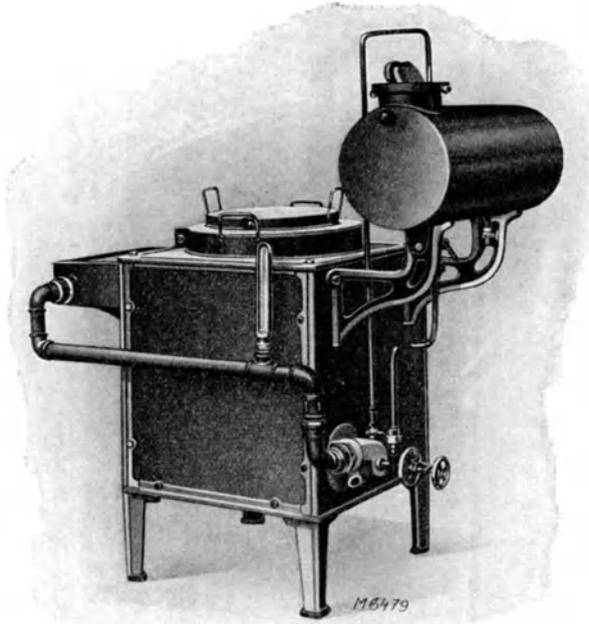


Abb. 55. Salzbad-Härteofen für Ölfuerung mit Vorwärmplatte und Luftvorwärmung. teilweise Härtung stattfinden, so werden sie mit einer gut trockenen Zange eingehalten.

Der Schmelzkessel besteht aus feuerbeständigem S.-M.-Stahlguß oder aus Graphit. Die Beheizung kann durch Öl erfolgen oder mit Gas (Abb. 54 und 55). In neuester Zeit haben elektrisch geheizte Salzbad-Härteöfen sich infolge ihrer großen Vorzüge rasch Eingang verschafft.

**Verbund-Salzbad-Ofen von Brüder Boye.** Der Verbund-Salzbad-Ofen mit Doppelkammer-Vorwärmofen für Gas- oder Ölheizung von Brüder Boye, Berlin, wird durch die Abhitze des Salzbadofens geheizt. Ersterer dient als Vorwärmeofen, während das Werkstück die eigentliche Härtehitze im Salzbadofen er-

hält. Giftige Dämpfe, die aus dem Bade bei Zusatz von Kalisalpeter und Zyankali aufsteigen, müssen abgeführt werden,

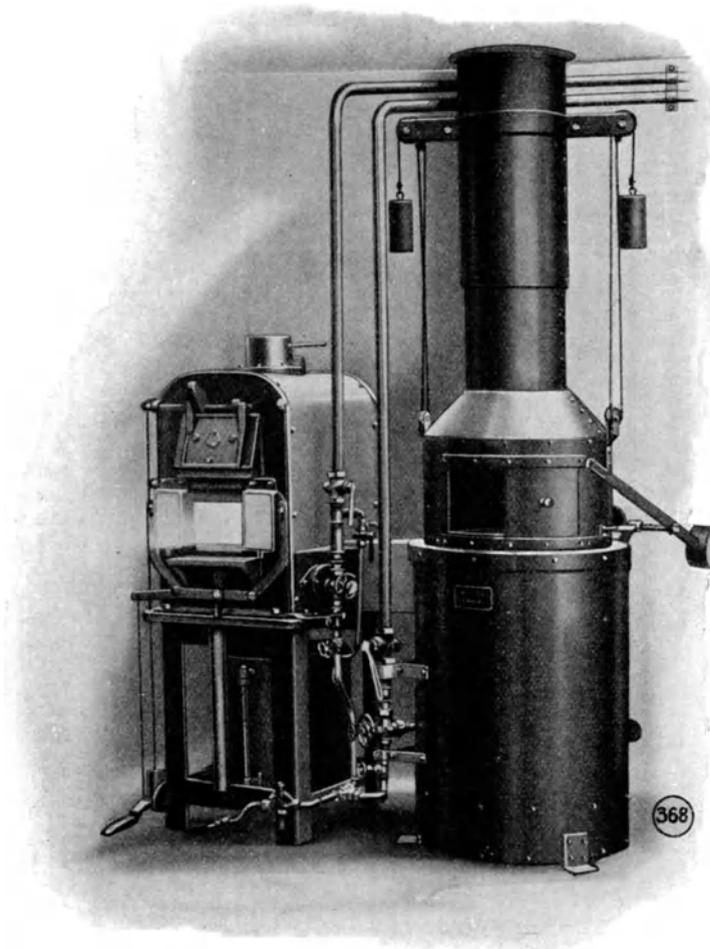


Abb. 56. Verbund-Salzbad-Ofen mit Gas- oder Ölheizung.

weshalb eine Schutzhaube mit Abzugrichtung zum Schornstein auf das Salzbad gesetzt wird (Abb. 56).

**Elektrisch geheizter Salzbad-Härteofen der AEG<sup>1)</sup>.** Die Anwendung des elektrischen Stromes zum Erwärmen des Salzbadetes gestattet schnelles Erreichen sowie genaues Einstellen und Konstanthalten einer bestimmten Temperatur bis  $1350^{\circ}\text{C}$  einwandfrei.

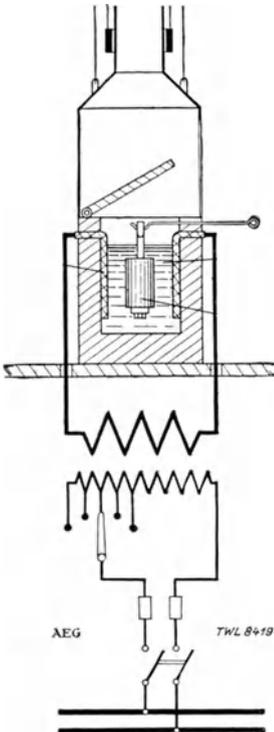


Abb. 57. Erwärmungsgrundsatz des elektrischen Salzbadofens.

Fließt durch einen dünnen Draht von irgendeiner Stromquelle aus — elektrische Batterie, Dynamomaschine — ein elektrischer Strom, so wird der Draht beim Durchgang des Stromes erwärmt, und zwar wird die Erwärmung um so stärker sein, je länger der Stromdurchgang dauert. Die Wärmeentwicklung durch den elektrischen Strom ist abhängig von der Zeitdauer des Stromdurchganges, von der Größe des Widerstandes des erwähnten Drahtes (Leiters) und von der Stromstärke.

Die Erwärmung des Leiters wächst im einfachen Verhältnisse mit dem Widerstande des Leiters und im quadratischen mit der durch diesen fließenden Stromstärke.

Für jeden Leiter gibt es nun eine gewisse Stromstärke, bei deren Durchgang er so stark erwärmt wird, daß er zum Glühen kommt. Damit eine gewisse Stromstärke den Widerstand eines Leiters überwinden kann, muß

zwischen den Endpunkten des letzteren ein ganz bestimmter Spannungsunterschied herrschen.

Im elektrischen Salzbadofen dient der Heizwiderstand, in diesem Falle die Salzschnmelze, gleichzeitig als Wärmemittel, weil das Salzbad die in ihm durch den Stromdurchgang erzeugte Wärme unmittelbar auf das in ihm befindliche Glühgut, das von allen Seiten von dem geschmolzenen Salze umgeben ist, überträgt.

<sup>1)</sup> Vgl. AEG-Drucksachen.

Abb. 57 zeigt die grundsätzliche Wirkungsweise und Schaltung eines Salzbad-Härteofens. Man erkennt daraus, daß das Werkstück oder Glühgut von einem Teil des Stromes durchflossen wird, da es ja auch in dem sekundären Stromkreis liegt, wobei auch noch eine unmittelbare Widerstandserwärmung des Glühgutes stattfindet.

Der Badwiderstand ist gering, weshalb ein Strom von geringer Spannung während des Betriebes im Mittel etwa 15 V, jedoch von verhältnismäßig großer Stromstärke verwendet wird.

Der Ofen selbst besteht nach Abb. 58 aus einem mit verschiedenen wärmeisolierenden Schichten aus Schamottesteinen und Asbest ausgekleideten eisernen Kasten, in dem durch die feuerbeständigen Steine ein kastenförmiger Behälter zur Aufnahme des Salz-

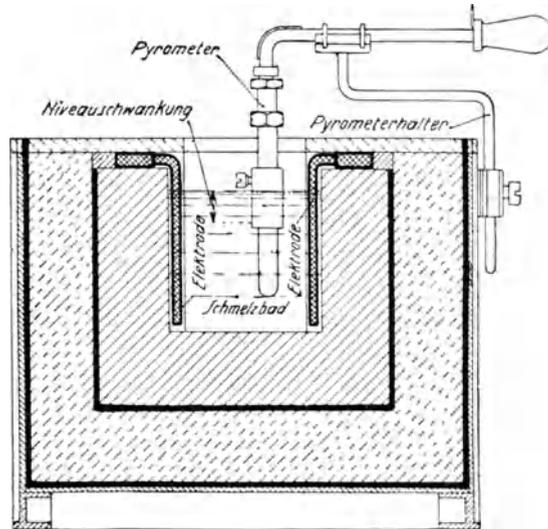


Abb. 58. Längsschnitt des elektrischen Salzbadofens.

bades gebildet wird. An je zwei einander gegenüberliegenden Innenwänden dieses Behälters sind ein oder mehrere Elektrodenpaare angeordnet, die den elektrischen Strom in das Salzbad leiten. Diese aus dicken Eisenblechen bestehenden Elektroden sind durch starke Kupferschienen mit der Sekundärwicklung des Reguliertransformators verbunden.

Durch eine Abzughaube wird der sich beim Verdampfen von Salz bildende Dunst abgeleitet. Außerdem dient diese Haube dazu, die von der Oberfläche des Bades ausgehende Wärmestrahlung wieder auf dieses zurückzuwerfen und so einer unzulässigen Abkühlung des Bades und einer Belästigung des Bedienungsmannes vorzubeugen, Abb. 59.

Der Betrieb des Ofens erfolgt durch Wechselstrom, meist in Form von Drehstrom.

Zum Betriebe der Öfen werden je nach ihrem besonderen Verwendungszwecke verschiedene Salze benutzt, deren Art und Mischungsverhältnis so zu wählen ist, daß sich bei der gebräuchlichsten Temperatur des betreffenden Ofens eine gut flüssige Schmelze ergibt, ohne daß hierbei eine nennenswerte Verdamp-

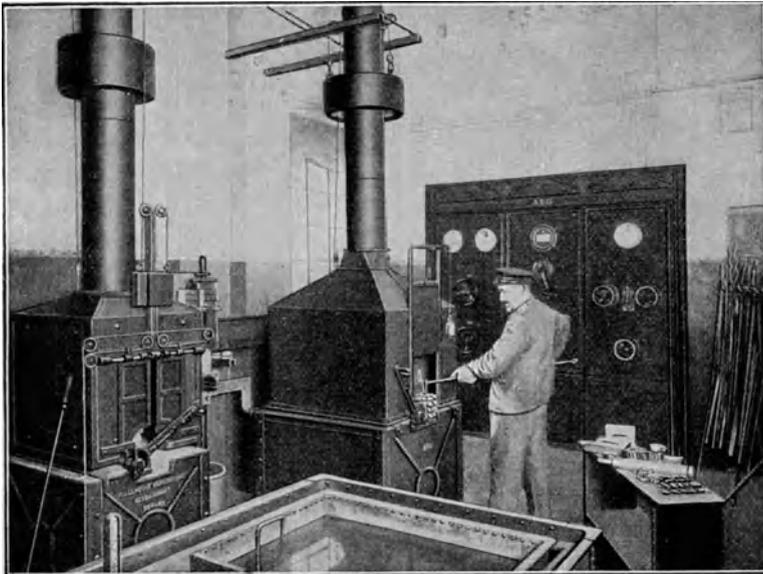


Abb. 59. Härteanlage mit zwei Salzbad-Härteöfen.

fung des betreffenden Salzes eintritt, d. h. der Schmelzpunkt des betreffenden Salzes oder Salzgemisches muß etwas unter, sein Verdampfungspunkt etwas über der üblichen Gebrauchstemperatur des betreffenden Ofens liegen. Beim Härten von Schnellstahl wird vorzugsweise Chlorbarium verwendet, für das Härten von Kohlenstoffstahl eignet sich ein Gemisch von Chlorbarium und Chlorkalium. Für das Anlassen von Werkzeugen und Maschinenteilen, sowie zum Glühen verschiedener Metalle zwecks Vergütung kommen dagegen Sondermischungen von Salzen in Betracht.

In neuerer Zeit kann der Salzbadofen auch zur Oberflächenhärtung verwendet werden. Auf das Werkstück wird an den zu härtenden Stellen des Kohlungsmittel in Form einer teigigen Paste aufgebracht. Dann wird es mit einer Lehm-packung umhüllt und, wenn diese getrocknet, mit Wasserglas bestrichen. So vorbereitet werden die Einsatzstücke unmittelbar in das Salzbad eingebracht<sup>1)</sup>. Bei Verwendung einer Paste können die zu zementierenden Stellen schärfer abgegrenzt werden. Das Verfahren wird also dort anzuwenden sein, wo das Werkstück nur an ganz bestimmten Stellen gehärtet werden soll. Soll das Einsatzgut auf der ganzen Oberfläche zementiert bzw. gehärtet werden und sollen größere Mengen kleinerer Einzelteile gleichzeitig eingesetzt werden, so wird ein unmittelbar kohlendendes Salzbad benutzt. Es wird also ein kohlenstoffhaltiges Salz zusammen mit anderen Salzen gemischt verwendet, das bei einer bestimmten Temperatur, etwa 800° C, seinen Kohlenstoff an das Werkstück abgibt. Die geringe Einsatztiefe von  $\frac{1}{10}$  mm ist je nach dem vorliegenden Werkstoff in 6—10 Minuten erreicht. Der Hauptvorteil des neuen Einsatzverfahrens liegt darin, daß der Härter nach der Zeit arbeiten kann. Es ist also nur nötig, die jeweils gewünschte Tiefe der Einsatz- oder Kohlungsschicht durch Versuch an einem Probestab des vorliegenden Werkstoffes zu ermitteln, denn bei gleichem Material entspricht die Einsatztiefe genau der Einsatzzeit<sup>2)</sup>, Abb. 60.

Die Messung der Temperatur geschieht durch ein Pyrometer.

Die Badabmessungen und der Energieverbrauch der vier gangbarsten Öfen, die von der AEG als Normaltypen ausgeführt werden, sind aus folgender Zahlentafel ersichtlich:

Tabelle 9.

Ofen- größe	Badabmessungen mm			Ungefähre Energieauf- nahme in kW	
	Länge	Breite	Tiefe	bei 850° C	bei 1302° C
II	150	150	170	4,5	12
III	200	200	270	8,5	22
IV	300	300	370	20	48
V	400	400	500	34	75

<sup>1)</sup> Dieses Verfahren ist durch D. R. P. geschützt.

<sup>2)</sup> Angewandt bei der Firma C. P. Goerz, Friedenau.

In kaltem Zustande sind diese Metallsalze als „elektrische Leiter zweiter Klasse“ für den elektrischen Strom undurchlässig, während sie im feurigflüssigen Zustande vorzügliche Leiter werden. Die Einleitung der Schmelzung muß also mit einer Hilfselektrode und einem Stückchen Bogenlampenkohle erfolgen. Durch Zwischenschaltung zwischen eine Haupt- und Hilfselektrode wird,

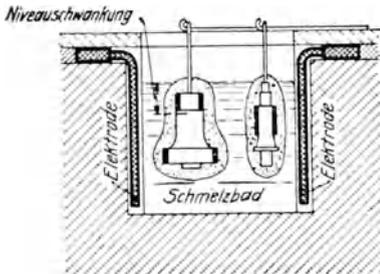


Abb. 60. Oberflächenhärtung im Salzbad.

die Kohle weißglühend, wodurch das unmittelbar darunter liegende Salz geschmolzen wird. Durch langsames Fortbewegen der Hilfselektrode zur zweiten Hauptelektrode wird ein flüssiger Streifen durch das Bad gezogen, der Stromkreis ist damit geschlossen, das übrige Salz kommt zum Schmelzen. In etwa  $\frac{3}{4}$  Stunden, je nach der Größe des Tiegels, ist der ganze Badinhalt geschmolzen.

**Elektro-Muffelofen der Siemens-Schuckertwerke.** Abb. 61. Das Gehäuse des Ofens besteht aus zusammengenieteten oder geschraubten Eisenplatten. An einer Schmalseite des Gehäuses ist die Beschicköffnung angeordnet, die durch eine nach oben aufklappbare Ofentür verschlossen wird. Die Tür ist durch einen Schamottestein gut isoliert, um zu verhindern, daß eine Belästigung durch Strahlungswärme bei der Bedienung eintritt und Wärmeverluste durch die Tür einzuschränken. Das Gewicht der Tür ist durch verstellbare Gegengewichte ausgeglichen, ein heftiges Zuschlagen ist durch vorgesehene Luftpuffer ausgeschlossen. Vor der Tür ist eine entsprechend große Abstellplatte angebracht. Unter dieser befindet sich die Schaltereinrichtung. Der Heizraum des Ofens, die Muffel, besteht aus bester hoch feuerfester Schamotte. Um ein Reißen der Muffel infolge Wärmeausdehnung zu verhüten, ist sie aus mehreren Teilen zusammengesetzt. Um eine Wärmeübertragung auf das Blechgehäuse tunlichst zu vermindern, ist eine starke Isolation aus besten Isolationsstoffen eingebaut.

Als Heizwiderstände dienen Silitstäbe, die senkrecht in tiefen Nuten angeordnet sind. Hierdurch werden in erster Linie

die Stäbe vor Beschädigungen bei Beschickung des Ofens geschützt. Das Auswechseln unbrauchbar gewordener Silitstäbe erfolgt in einfacher Weise in kurzer Zeit durch Lösen einiger Schrauben.

Die Temperaturregelung erfolgt in der Weise, daß mehr oder weniger Stäbe in verschiedenartiger Weise zueinander geschaltet werden, so daß eine mehrstufige, verlustlose Regelung erreicht wird. Die Zahl der Regulierstufen richtet sich nach der

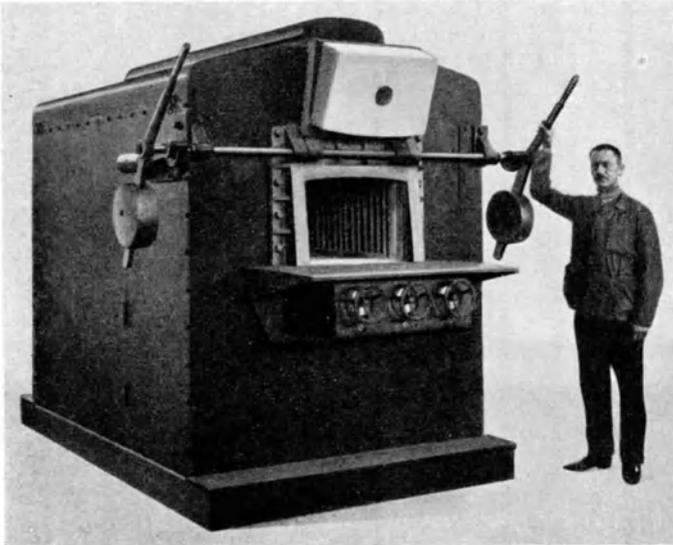


Abb. 61. Elektrisch geheizter Muffelofen der Siemens-Schuckertwerke.

Stromart und Spannung, an die der Ofen angeschlossen wird. Die Regelung erfolgt bei den größeren Öfen mittels Schaltwalzen, die am Ofen angebracht sind, bei den kleineren durch Zusammenarbeit von Schaltern.

Die Öfen können an Gleich-, Wechsel- oder Drehstrom bis 250 V gegen Erde unmittelbar angeschlossen werden.

Mit diesen Elektro-Muffelöfen lassen sich Temperaturen von 1300 °C sicher erreichen. Sie sind deshalb nicht nur zum Erhitzen von Kohlenstoff- und legierten Stählen, sondern besonders auch von Schnellstählen sehr geeignet.

Die Temperaturbestimmung des Werkstückes erfolgt durch Strahlungs-Pyrometer (Ardometer).

### C. Einrichtungen zur Erzeugung der erforderlichen Verbrennungsluft.

Beim gewöhnlichen Schmiedefeuer muß, damit die verwandten Brennstoffe möglichst ausgenutzt und die zum Erwärmen der Werkstücke erforderliche Wärme erzeugt werden kann, die nötige Verbrennungsluft durch einen Ventilator oder ein Rotationsgebläse zugeführt werden, da der gewöhnliche Schornsteinzug zur Unterhaltung einer lebhaften Verbrennung nicht ausreichend ist. Beim Schachthärteofen, Muffelofen und Doppelmuffelofen, sowie bei den mit festen Brennstoffen geheizten Blei- oder Salzbad-Härteöfen genügt der Anschluß an einen Schornstein.

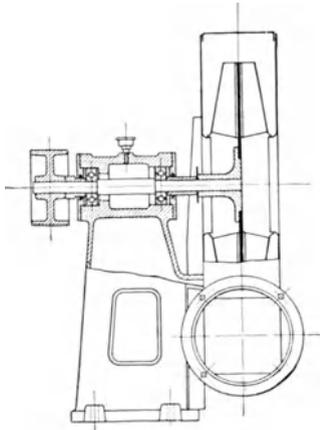


Abb. 62. Ventilation zur Druckluft-  
erzeugung in Härtereien. Windpressung  
bis 300 mm WS.

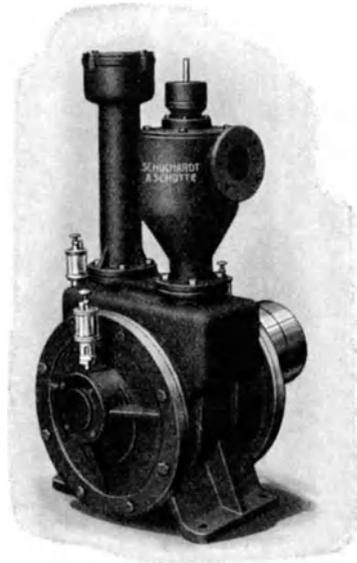


Abb. 63. Kapselgebläse zur Druckluft-  
erzeugung in Härtereien. Pressung  
500—1400 mm WS.

Alle mit Gas- oder Ölfeuerung betriebenen Härteöfen müssen Luft von einer bestimmten Pressung zugeführt erhalten, damit in möglichst kurzer Zeit der Ofen angeheizt werden kann und das Gas dauernd die erforderlichen Hitzegrade erzeugt bei möglichst geringem Gasverbrauch.

Zur Erzeugung der erforderlichen Preßluft dienen entweder Kapselgebläse, Ventilatoren oder Rotationsgebläse. Gemeinsam bei beiden Arten ist die Erzeugung eines gleichmäßigen Luft-

stromes. Der Antrieb erfolgt in der Regel von einem Vorgelege aus mittels Riemen. Der Ventilator wird vielfach beim Schmiedefeuer angewendet, während zur Erzeugung höherer Pressungen das Kapselgebläse weitgehende Aufnahme gefunden hat. Der Windkessel ist entweder am Gebläse oder, wie wohl meist der Fall, an jedem Gasofen einer, zur Erzeugung eines möglichst konstanten Luftstromes angeordnet (Abb. 62 bis 63).

**Windleitungen.** Vom Gebläse wird die Preßluft durch eine besondere Leitung den Öfen zugeführt. Früher hat man die Windleitungen in verzinktem Eisenblech, mit in Mennige getränkter Leinwandzwischenlage genietet, ausgeführt. Aus Ersparnisgründen stellt man sie jetzt in Schwarzblech von etwa 1 mm Stärke her. Zum Schutz gegen Rosten streicht man sie innen und außen mit Teer- oder Asphaltlack. Scharfe Krümmungen sind zweckmäßigerweise zu vermeiden. Die Regulierung geschieht durch einen am Ofen in die Leitung eingebauten Hahn.

In neuerer Zeit werden auch Turboventilatoren verwendet, bei denen zur Erzielung des nötigen Druckes in der Leitung eine entsprechende Anzahl Druckstufen, meist zwei, angeordnet sind.

#### D. Einrichtungen zur Temperaturmessung.

Wie am Anfange dieses Kapitels bereits erwähnt, ist es völlig verfehlt, bei dem heute allgemein angewendeten wertvollen Stahlmateriale die Temperatur des erhitzten Stahles lediglich durch bloße Schätzung mit dem Auge zu bestimmen, denn auch das geübte Auge täuscht sich, weil äußere Einflüsse, wie Beleuchtung, Witterung usw. mitbestimmend einwirken und Temperaturüberschreitungen von 30<sup>0</sup> bis 50<sup>0</sup> C schon Schaden bringen können.

##### Elektrische Temperaturmesser und Temperaturfernschreiber.

Hier haben die auf elektrischen Messungen beruhenden Methoden der Temperaturbestimmung Anwendung gefunden. Denn der Meßbereich der Flüssigkeitsthermometer ist nach oben sehr beschränkt, etwa 750<sup>0</sup> C bei Verwendung gasgefüllter Quecksilberthermometer in Quarzglas, auch sind die elektrischen Methoden im allgemeinen genauer und ermöglichen eine Fern-

anzeige. Es ist hierbei gleichgültig, ob die Meßstelle zugänglich ist oder nicht, jedenfalls kann man die Temperatur in beliebiger Entfernung von dieser ablesen und aufzeichnen.

Für Temperaturen bis ungefähr  $600^{\circ}\text{C}$  wird das elektrische Widerstandsthermometer benutzt, während für Temperaturen über  $600^{\circ}$  bis etwa  $1600^{\circ}\text{C}$  das thermoelektrische Pyrometer in Frage kommt. Für die Messungen von Temperaturen, die für den Härter von Wichtigkeit sind, kommen fast ausschließlich die letzteren zur Anwendung, weshalb sie ausführlicher behandelt werden sollen. In neuester Zeit werden auch die optischen und die Strahlungs-pyrometer wegen ihrer Einfachheit und Handlichkeit vielfach verwendet, sie werden daher am Schlusse dieses Abschnittes ebenfalls besprochen.

**Die thermoelektrischen Pyrometer.** Ihre Wirkungsweise beruht auf folgendem Prinzip:

Lötet man zwei Drähte aus verschiedenen Metallen an einem Ende zusammen

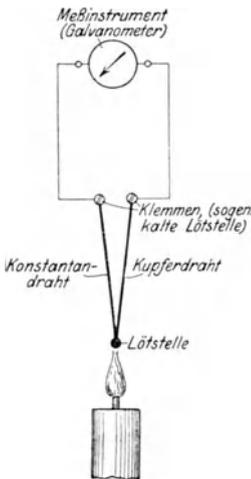


Abb. 64. Darstellung des Prinzips eines Thermo-elementes.

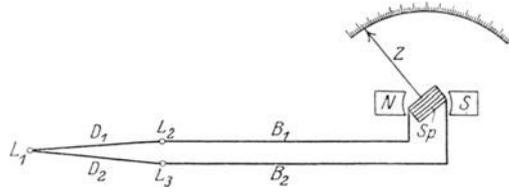


Abb. 65. Schema des thermoelektrischen Pyrometers.

und erhitzt die Lötstelle, so entsteht ein elektrischer Strom, elektromotorische Kraft genannt, abgekürzte Schreibweise EMK, dessen Stärke für die beiden gegebenen Metalle von dem Temperaturunterschiede der Lötstelle und den beiden freien Drahtenden, der sogenannten kalten Lötstelle, abhängig ist. Man nennt diese Vorrichtung ein Thermoelement und die Art der Elektrizität ihrem Ursprunge gemäß, Thermo-Elektrizität. Je stärker man die Lötstelle erhitzt, um so stärker wird auch der elektrische Strom. Werden die beiden freien Drahtenden mit den Klemmen eines Meßinstrumentes, eines Galvanometers,

verbunden, so wird der Zeiger desselben einen Ausschlag anzeigen, der um so größer sein wird, je stärker die Lötstelle erhitzt wird, je größer also der Temperaturunterschied zwischen der „heißen“ Lötstelle und den beiden an die Klemmen angeschlossenen Drahtenden, der „kalten“ Lötstelle, ist.

Die Größe des Galvanometerauschlages, d. h. also die Stärke der thermo-elektrischen Spannung, kann auf einer angebrachten Skala abgelesen werden, und wenn diese unmittelbar in Temperaturgrade eingeteilt — geeicht — ist, ohne weiteres das Ablesen der an der heißen Lötstelle vorhandenen Temperatur ermöglichen (Abb. 64 und 65).

Die zur Verwendung bei den Thermoelementen kommenden Drähte müssen aus möglichst reinen Metallen hergestellt sein, da sonst die Konstanz der Thermokraft beeinflusst wird.

Für Arbeiten, bei denen die Temperatur nicht über  $600^{\circ}\text{C}$  steigt, kann ein Thermoelement benutzt werden, von dem der eine Draht aus Silber oder Kupfer, der andere aus Konstantan besteht; ein solches Element ist billig und leicht ersetzbar. Es findet Anwendung bei Anlaßbädern, Anlaßöfen. Für Temperaturen bis etwa  $900^{\circ}\text{C}$  finden Thermoelemente Verwendung, die aus schwerer schmelzbaren, nicht edlen Metallen bestehen, z. B. Eisen- und Konstantandraht von etwa 3 mm Durchmesser. Sie werden angewendet in Glühöfen, Blei- und Chlorkalium-Härtebädern. Zur Bestimmung höherer Temperaturen von etwa  $1000^{\circ}$  bis  $1600^{\circ}\text{C}$  kommen Thermoelemente aus Platin- und Platinrhodiumdraht nach Le Chatelier in Frage. Der Drahtdurchmesser beträgt im allgemeinen 0,4 bis 0,6 mm; dickere Drähte sind mechanisch widerstandsfähiger und ergeben wegen ihres geringeren Ohmschen Widerstandes eine größere Meßgenauigkeit. Sie sind geeignet für Härtebäder, z. B. Chlorbarium.

Die freien Enden der Drähte der Thermoelemente, die kalten Lötstellen, müssen auf gleicher, möglichst niedriger und unveränderlicher Temperatur gehalten werden, also nicht zu sehr von der normalen Raumtemperatur abweichen. Man kann diese Bedingungen ohne Schwierigkeit erfüllen, indem man die Elementdrähte so weit verlängert, daß sie dem Bereiche der Strahlung und der warmen Umgebung des Ofens entzogen sind. Das ist bei Thermoelementen aus unedlen Metallen leicht ausführbar,

und bei ihnen ist deshalb die bisher angewandte künstliche Kühlung des Anschlußkopfes nicht mehr notwendig, so daß die Pyrometeranlage sich wesentlich vereinfacht (Abb. 66 bis 69).

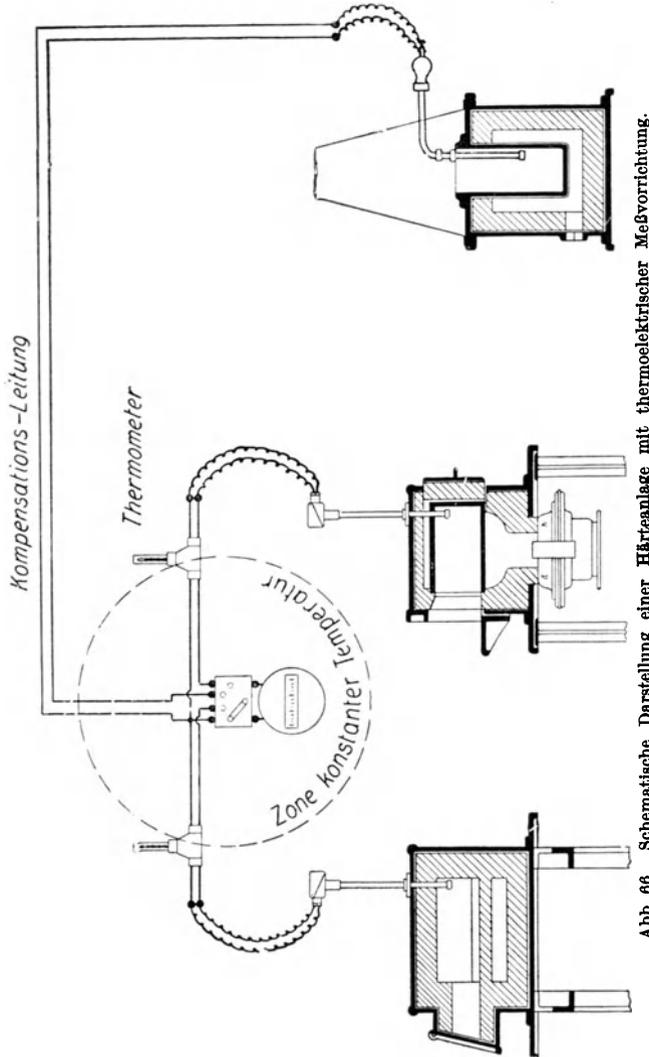


Abb. 66. Schematische Darstellung einer Härteanlage mit thermoelektrischer Meßvorrichtung.

Bei Edelmetall-Elementen, für genaue Messungen und wenn nur kurze Thermoelemente benutzt werden, sind die Element-

köpfe vor Erwärmung zu schützen; es geschieht durch Wasserkühlung, indem am oberen Ende des Schutzrohres in unmittelbarer Nähe der Verbindungsstelle der beiden Drahtenden — kalte Lötstelle — mit der zum Galvanometer führenden Kupferdrahtleitung ein Kühlgefäß angeordnet wird, das in direkter Verbindung mit der Wasserleitung steht (Abb. 70).

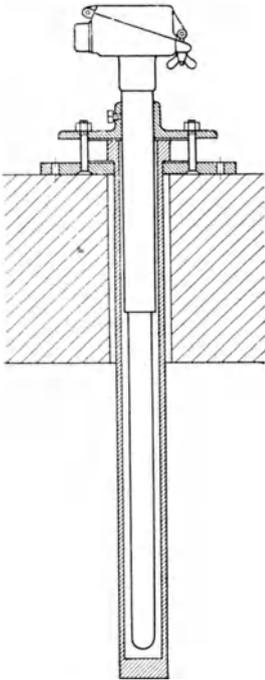


Abb. 67. Einbau des Thermo-  
elementes. Schamotteschutzrohr.

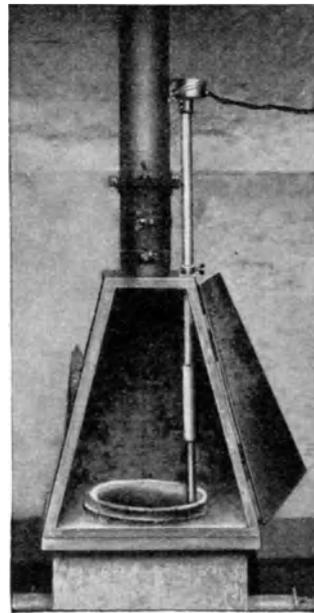


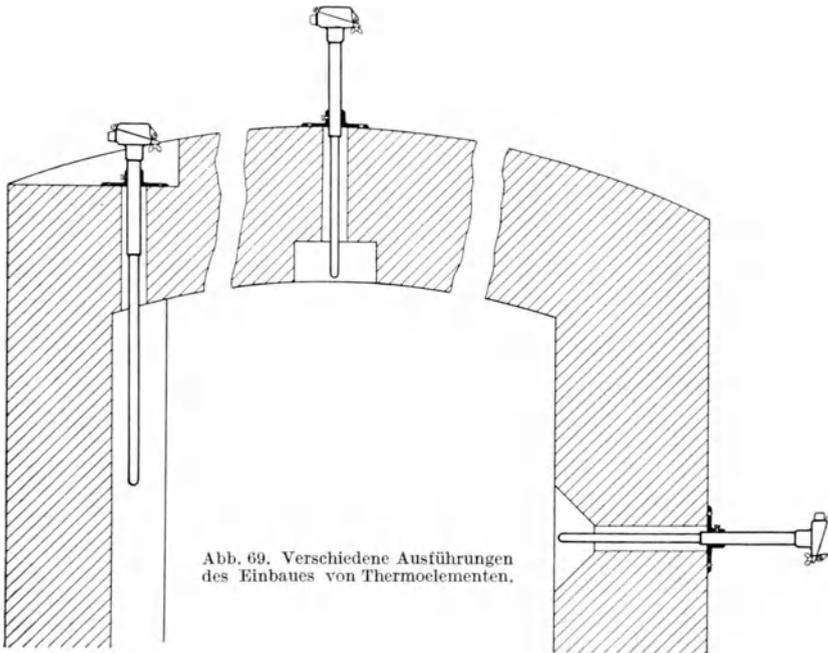
Abb. 68. Bleibad-Härteofen mit eingebautem Thermo-  
element.

Ein solcher Kühlkopf ist immerhin unbequem; einen Ersatz hat man für die Fernleitung in den Elementdrähten thermo-elektrisch gleichwertigem Materiale, der sogenannten Ausgleichsleitung oder Kompensationsleitung, gefunden, die aus zwei Drähten, welche innerhalb gewisser Temperaturgrenzen gegeneinander dieselbe thermoelektrische Kraft haben, wie beispielsweise Platin gegen Platinrhodium, besteht.

Der Anschlußkopf für die Elementdrähte ist aus Hartporzellan

oder aus Metall durchgebildet, der wasser- und staubdicht geschlossen ist, wodurch die Anschlußklemmen vollständig geschützt sind. Ein solcher Anschlußkopf ermöglicht auch eine zweckmäßige Ausgestaltung der Leitungsverlegung in einem geschlossenen Rohrsystem. Abb. 71a, b und c.

Gerissene Thermoelementdrähte können im Notfalle durch sorgfältiges Ineinanderdrehen der Enden repariert werden; zu-



verlässiger ist es, die Bruchstelle in einer kleinen Sauerstoffflamme zu verschmelzen. Durch langsames Einführen der stumpf aufeinanderstoßenden Drahtenden in die Flamme bis zum beginnenden Schmelzen und darauffolgendes ruhiges Herausnehmen gelingt dies unschwer.

Durch unsachgemäße Handhabung können die Thermoelemente leicht beschädigt werden; mit reduzierenden Gasen darf der ungeschützte Draht nicht in Berührung kommen, denn ein Strom von unverbranntem Leuchtgas, der auf die ungeschütz-

ten Drähte trifft, macht sie in wenigen Stunden außerordentlich brüchig, auch die Berührung mit Eisenoxyden und einigen Silikaten ist sehr schädlich. Wie alle Platingegenstände müssen die Thermolemente vor Berührung mit Metallen oder metallischen Dämpfen, mit denen sie sich leicht legieren, streng geschützt werden.

Die Isolierung der Drähte gegeneinander geschieht dadurch, daß man sie durch kurze, doppelt durchbohrte

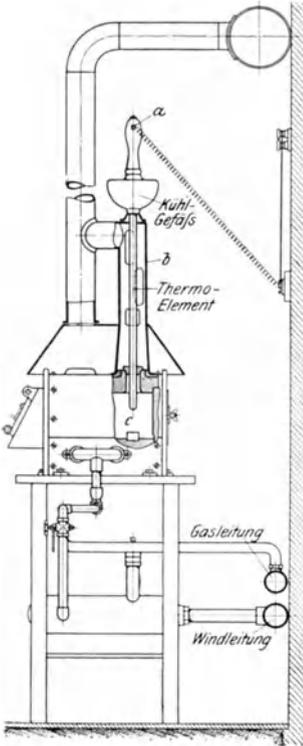


Abb. 70. Einbau des Thermolements in einen Gasmuffelofen.



Abb. 71 a und b. Anschlußköpfe.

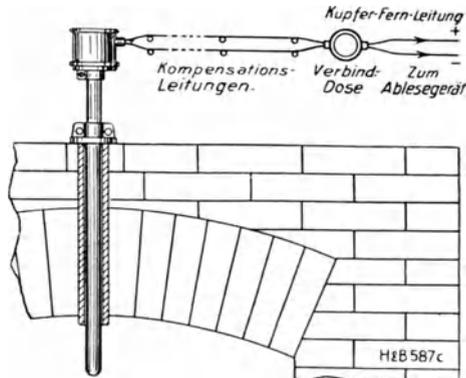


Abb. 71 c. Eingebautes Thermolement mit Verbindungs-Dose und Kupfer-Fernleitung.

Schamotte- oder Porzellanröhrchen führt, der Schutz gegen chemische Einflüsse wird durch eine Schutzverkleidung, die dem speziellen Verwendungszwecke anzupassen ist, gesichert (Abb. 72). Als Materialien für die Schutzrohre kommen in Frage:

**Metallrohre:** aus Stahl für Temperaturen bis etwa  $1000^{\circ}\text{C}$ , aus Nickel für Temperaturen bis  $1100^{\circ}\text{C}$ . Das Thermolement-

schutzrohr besteht aus Marquardscher Masse, welche sehr feuerbeständig, aber gegen rasche Temperaturwechsel sehr empfindlich ist. Direktes Einführen der Montierung in einen sehr heißen

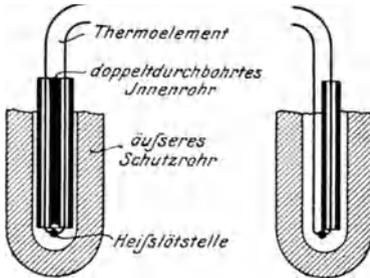


Abb. 72. Geschütztes Thermolement.

Raum ist deshalb zu vermeiden, sie muß immer erst genügend vorgewärmt sein (Abb. 73 und 74).

**Porzellanrohre:** wenn dauernd hohe Temperaturen zu messen sind.

**Schamotterohre:** bei plötzlichem Temperaturwechsel und wenn Stichflammen auftreten (Abb. 75).

**Quarzglas:** widerstandsfähig bei schroffstem Temperaturwechsel bis auf etwa  $1400^{\circ}\text{C}$ ; geeignet für vorübergehende rasche Messungen (Abb. 76).

**Graphit:** zur Messung der Temperatur geschmolzener Metalle.

Die Länge des Pyrometers ist so zu wählen, daß die Verbindungsklemmen nicht warm werden; der Kopf der Montierung soll mindestens 30 cm vom Mauerwerk entfernt sein.

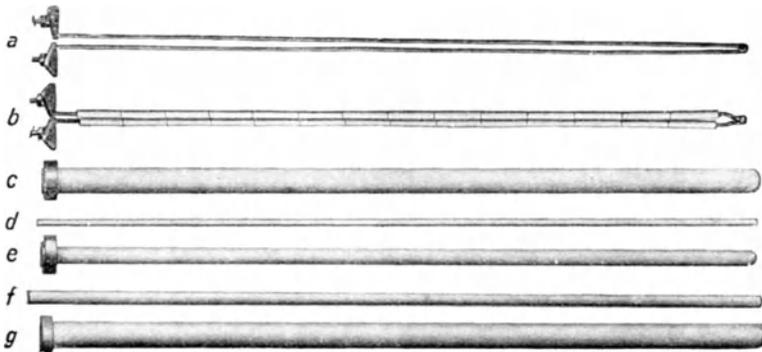


Abb. 73. Verschiedene Schutzrohre.

Die Thermolemente sollen, auch wenn sie mit Schutzverkleidungen umgeben sind, nicht der unmittelbaren Einwirkung von Stichflammen ausgesetzt werden. Sie sind möglichst senkrecht in den Ofen oder den zu messenden Raum einzuführen,

oder bei anderer Lage entsprechend zu stützen (Abb. 77). Wird das Pyrometer in Räume eingeführt, in den es selbst oder seine Schutzverkleidung von den vorhandenen Stoffen oder Gasen angegriffen wird, so ist es zur längeren Haltbarkeit nach jeder Messung herauszunehmen; dies ist besonders bei Verwendung in flüssigen Härtesalzen, Chlorbarium, oder in hochoverhitzten Metallschmelzen zu beachten, weil sonst starker Verschleiß

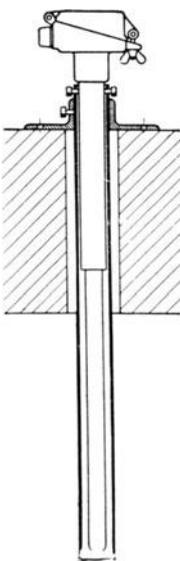


Abb. 74. Schutz eines Thermoelements durch offenes Gasrohr.

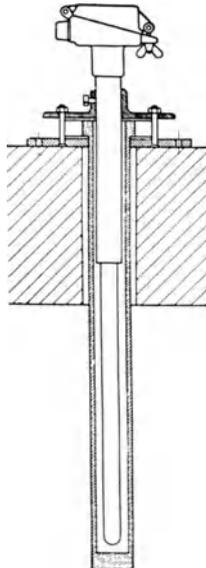


Abb. 75. Schamotteschutzrohr.

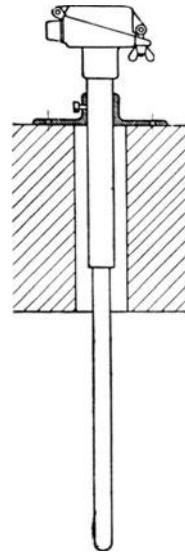


Abb. 76. Quarz- oder Marquardtenschutzrohr.

eintritt. Das Thermoelement ist im Ofen so anzubringen, daß es die Temperatur an der Stelle des Ofens mißt, an welcher die zu erhitzenden Gegenstände liegen; die Öffnung, durch die es in den Ofen hineinragt, ist gut zu verschließen, um die Erwärmung der außerhalb des Ofens liegenden Enden des Thermoelements durch die strahlende Hitze zu vermeiden, da man sonst fehlerhafte Meßergebnisse erhält. Der Verschluß ist so anzuordnen, daß er der Längenausdehnung infolge der Erwärmung folgen kann. Einige praktische Einbauten von Thermoelementen zeigen die Abb. 69, 74 bis 76.

Für Salzbad-Härteöfen sowie für Bleibäder eignet sich am besten das Handpyrometer von Siemens & Halske (Abb. 78).

Zum Ablesen der Temperaturen werden die bekannten Drehspul-Meßgeräte verwendet, bei denen sich eine vom thermoelektrischen Strom durchflossene Spule in dem ringförmigen Feld eines kräftigen Stahlmagneten dreht. Die Ableseapparate werden mit senkrechter oder wagrechter Drehachse ausgeführt, je nach den Thermoelementen, mit denen sie zu verwenden sind.

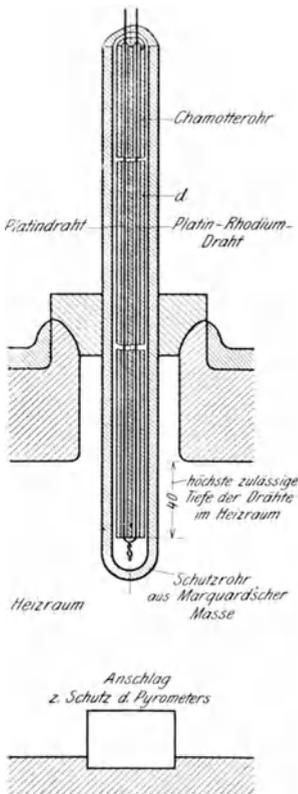


Abb. 77. Lagerung der Verbindungsstelle des Thermoelements im Schutzrohr.

Zur dauernden Aufzeichnung von Wärmevorgängen aller Art werden die Ableseapparate gleichzeitig als Schreibapparate, sogenannte selbstschreibende oder registrierende Pyrometer ausgebildet. Das Aufzeichnen geschieht in der Weise, daß ein durch ein Uhrwerk betätigter Fallbügel von Zeit zu Zeit den Zeiger auf das unter ihm langsam fortbewegte Papier drückt, wodurch auf diesem deutlich sichtbare Punkte markiert werden. Der Registriermechanismus beeinträchtigt also die freie Einstellung des Meßsystems nicht, und da die meisten Temperaturänderungen im Verhältnis zur Registriergeschwindigkeit langsam verlaufen, reihen sich die Punkte zu einer zusammenhängenden Kurve aneinander. Die Aufstellung kann in beliebiger Entfernung von der Meßstelle erfolgen, auch können sie zum gleichzeitigen Aufzeichnen der Tem-

peraturen verschiedener Öfen mit Hilfe eines selbsttätigen Umschalters benutzt werden, der die Enden jedes Elementes abwechselnd mit dem Schreibapparat verbindet. Abb. 79 und 80 zeigen eine zuverlässige Ausführung des Apparates. Sie finden im Härtereibetriebe bei solchen Öfen Anwendung, wo es auf

eine stets gleichbleibende Temperatur ankommt, z. B. Salzbad-öfen, Einsetzhärteöfen u. a. m.

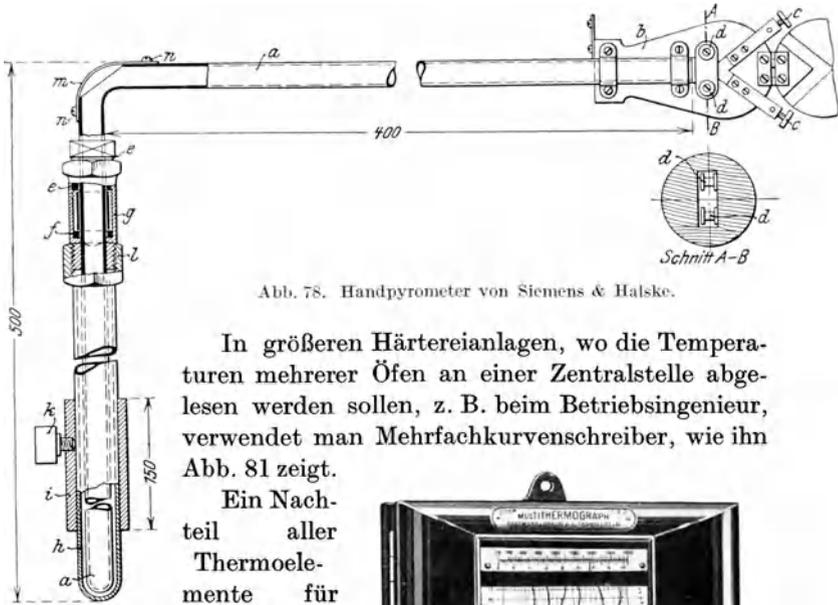


Abb. 78. Handpyrometer von Siemens & Halske.

In größeren Härtereianlagen, wo die Temperaturen mehrerer Öfen an einer Zentralstelle abgelesen werden sollen, z. B. beim Betriebsingenieur, verwendet man Mehrfachkurvenschreiber, wie ihn Abb. 81 zeigt.

Ein Nachteil aller Thermoelemente für hohe Tem-

peraturen ist der rasche Verschleiß und die Empfindlichkeit der Armatur und des eigentlichen Thermoelementes.

**Optische und Strahlungs-**  
**pyrometer.** Sie zeigen den Nachteil der vorgenannten Instrumente nicht, denn sie kommen mit dem heißen Körper nicht direkt in Berührung. Ihre Haltbarkeit ist deshalb fast unbegrenzt. Nach den ihnen zugrunde

liegenden Strahlungsgesetzen von Stefan-Boltzmann ist die gesamte Energiestrahlung eines absolut schwarzen Körpers proportio-

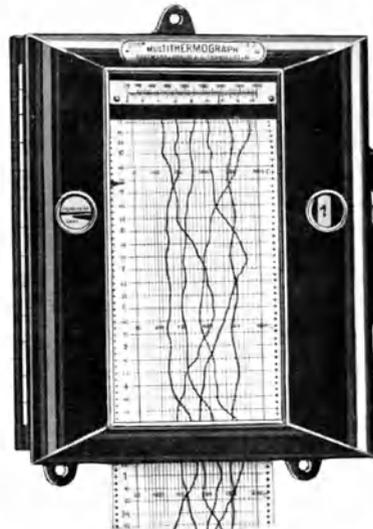


Abb. 79. Mehrfachkurvenschreiber von Hartmann & Braun.



Abb. 80. Kurvenschreiber von Siemens &amp; Halske.

nal der vierten Potenz der absoluten Temperatur. Das Gesetz gilt nur für den vollkommen schwarzen Körper, der alles Licht, was auf ihn fällt, absorbiert und deshalb auch Licht aller Wellenlängen ausstrahlt. Am meisten nahekommen dem schwar-

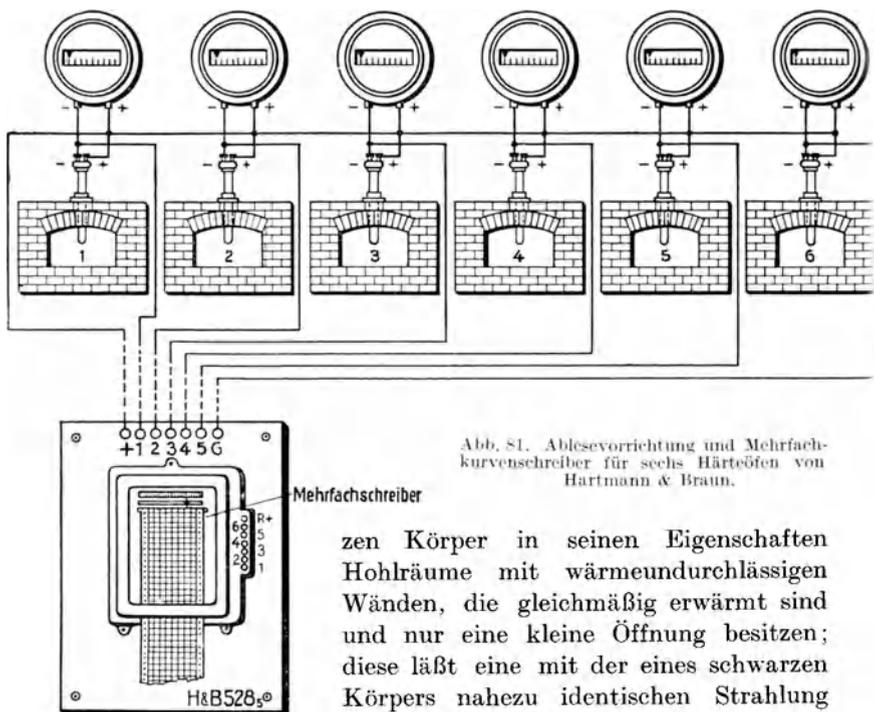


Abb. 81. Ablesevorrichtung und Mehrfachkurvenschreiber für sechs Härteöfen von Hartmann &amp; Braun.

zen Körper in seinen Eigenschaften Hohlräume mit wärmeundurchlässigen Wänden, die gleichmäßig erwärmt sind und nur eine kleine Öffnung besitzen; diese läßt eine mit der eines schwarzen Körpers nahezu identischen Strahlung austreten.

Sie werden vor allem da verwendet, wo die thermoelektrische Temperaturmessung versagt, weil

1. die zu messende Temperatur zu hoch ist (über etwa 1500 bis 1600° C),
2. bewegte Massen oder chemische Einwirkungen das Thermo-  
element und seine Armatur schnell zerstören,
3. durch die große Anzahl der Meßstellen die Anschaffungs-  
und Unterhaltungskosten für Thermoelemente zu hoch sind,
4. die Meßstelle mit einem Thermo-  
element nicht zu erreichen ist.

Sie sind für Härte- und Glühöfen sehr geeignet, außerdem empfiehlt sich ihre Anschaffung schon deswegen, weil keine Edelmetalle oder Metallegierungen, wie z. B. bei den thermoelektrischen Pyrometern, zur Anwendung kommen.

**Strahlungs-pyrometer.** Die Gesamtstrahlung sammelt man durch einen Hohlspiegel oder durch eine Linse und läßt sie auf ein geschwärztes Thermo-  
element auffallen. Hier setzt sie sich in Wärme um und erzeugt eine Thermokraft, die der Übertemperatur annähernd proportional ist. Diese ist proportional der auffallenden Energie, demnach proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur  $T_0$ . Bei linearer Zunahme der EMK mit der Übertemperatur ist auch die erzeugte Thermokraft proportional  $T_0^4$ .

Alle in den Betrieben angewendeten Strahlungs-pyrometer beruhen auf diesen Grundgedanken. Bemerkenswert sind folgende Apparate:

1. Strahlungs-pyrometer von Féry.
2. Ardometer von Siemens & Halske.
3. Strahlungs-pyrometer von P. Braun & Co.

Im nachfolgenden sei nur das Ardometer von Siemens & Halske näher beschrieben. Abb. 82 zeigt den Apparat im Schnitt, Abb. 83 im Lichtbild.

Die von dem glühenden Körper ausgehenden Strahlen werden von einer Bikonvexlinse gesammelt und auf ein geschwärztes Platinblättchen geworfen, an dem zwei Paar sehr dünner Thermo-  
drähte hart angelötet sind. Die Enden führt man zu einem Galvanometer, von dem man die erzeugte Thermospannung oder die Temperatur der Fläche abliest. Zur Erhöhung der elektrischen Empfindlichkeit liegt bei Ardometern für Temperaturen bis

1200° C das ganze Thermoelement in einem bei hoher Temperatur luftleer gepumpten Glasgefäß. Zum schnelleren Ausgleich der Temperatur ist die Glocke mit einem Metallmantel umgeben,

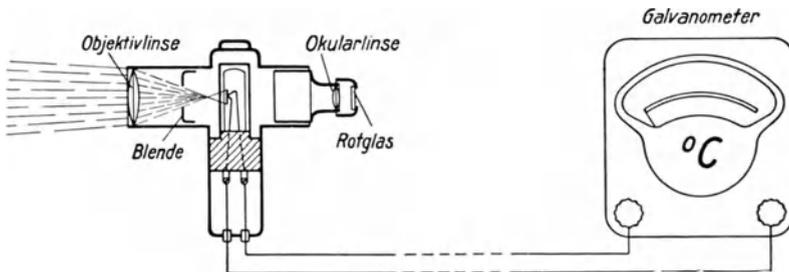


Abb. 82. Ardometer von Siemens & Halske im Schnitt.

der nur in der Gegend des Aufnahmeblättchens zwei Löcher zum Durchtritt der Strahlen hat. Bei Ardometern für höhere Tem-

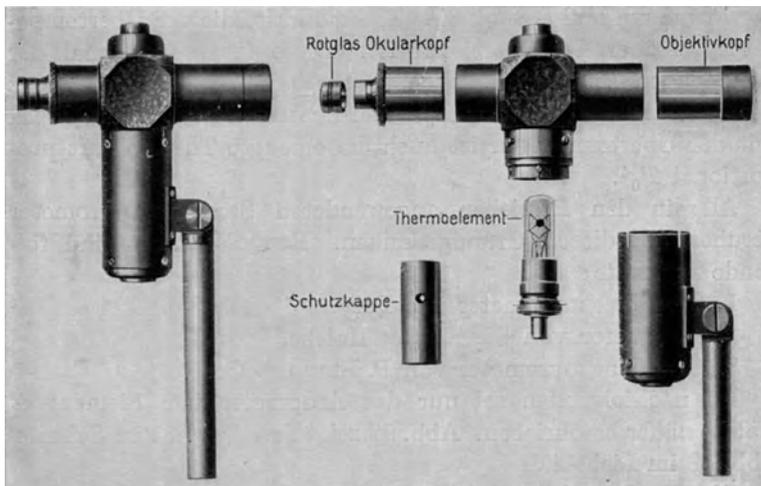


Abb. 83. Ardometer von Siemens & Halske im Lichtbild.

peraturen verwendet man Thermoelemente mit Argonfüllung, die bei hoher Erwärmung des gesamten Ardometers durch die Strahlung der Ofenwandungen weniger leicht Schaden leiden und insofern genauere Messungen gewährleisten, als die Thermo-

kraft von der Umgebungstemperatur weniger abhängig ist als bei luftleeren Thermoelementen. Abb. 84.

Vor der Messung ist die Objektivlinse genau auf die glühende Fläche einzustellen, man beobachtet durch die kleine Okularlinse, indem man den zu messenden Gegenstand scharf anvisiert, wobei dieser gerade von dem Blättchen verdeckt wird. Um zu geringe Temperaturanzeigen zu vermeiden, soll der glühende Körper — kurz Strahler genannt — eine gewisse Mindestgröße besitzen. Bei richtiger Einstellung soll um den ganzen Umfang des Blättchens herum eine gleichmäßig helle Zone sichtbar sein. Abb. 85 zeigt richtige und falsche Einstellung des Bildfeldes.



Abb. 84. Temperaturmessung mit dem Ardometer an einem Glüh- und Härteofen von Siemens & Halske.



Falsche Einstellung.

Richtige Einstellung.

Strahlungsfläche zu klein.

Abb. 85. Verschiedene am Ardometer aufgenommene Beobachtungsfelder.

Strahlen von dem zu messenden Gegenstand ungehindert auf das Blättchen fallen. Das Ardometer muß also senkrecht vor der Öffnung in der Ofenwand oder vor dem Glühröhr eingebaut

werden, weil bei schrägem Einbau die Strahlen abgeblendet werden können (Abb. 86 und 87).

Zum Schutz des Auges gegen Blendung bei höheren Temperaturen kann man vor das Okular ein Glasfilter setzen, das bei

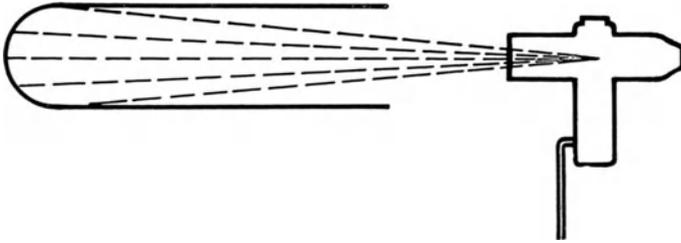


Abb. 86. Richtiger Einbau des Ardometers.

Nichtgebrauch auf einem kleinen Ansatz am Fernrohr aufbewahrt wird.

**Optische Pyrometer.** Bei den optischen Pyrometern wird nicht die gesamte Strahlung, sondern nur die einer bestimmten Wellenlänge, z. B. in Rot, gemessen.

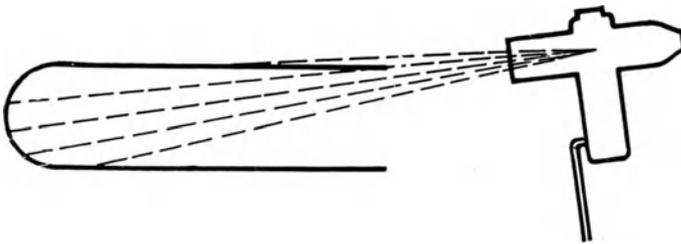


Abb. 87. Falscher Einbau des Ardometers.

In den Betrieben werden nachstehend genannte Apparate benutzt:

1. Das Wanner-Pyrometer.
2. Das Pyrometer Holborn-Kurlbaum, Bauart Siemens & Halske.
3. Optisches Pyrometer „Pyropto“ von Hartmann & Braun.
4. Filardometer von Janke & Kunkel.
5. Wedge-Pyrometer.

**Das Wanner-Pyrometer.** Hier brennt eine Vergleichslampe dauernd mit der höchsten zulässigen Temperatur. Bei der Messung wird polarisiertes Licht verwendet und das Licht des zu messenden Körpers und der Vergleichslampe mittels Polarisators und Analysators auf gleiche Helligkeit gebracht.

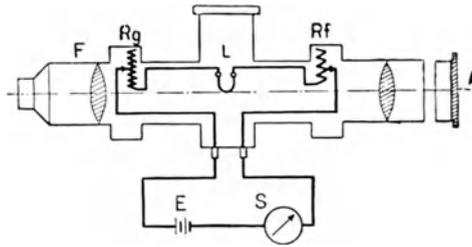


Abb. 88a. Schematische Skizze des optischen Pyrometers nach Holborn und Kurlbaum.

**Optisches Pyrometer**

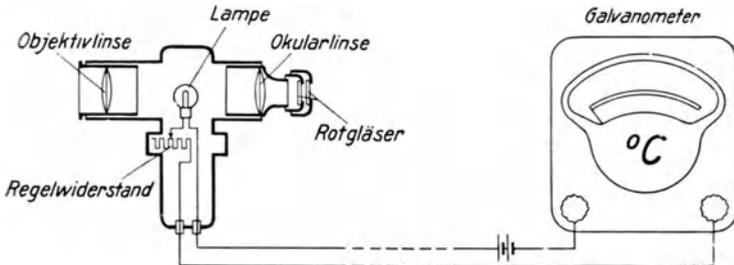


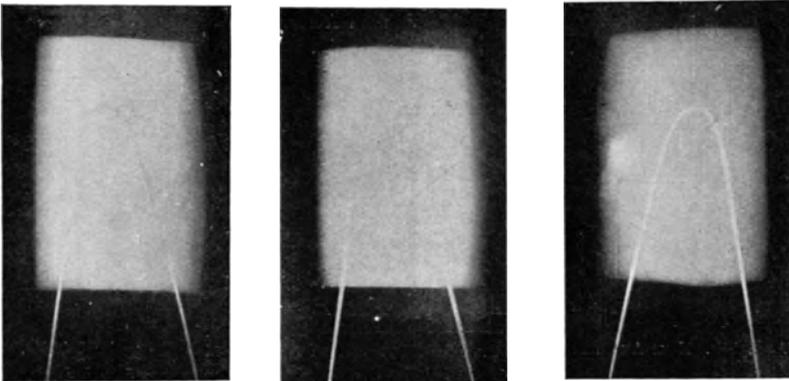
Abb. 88b. Neue Ausführung des Glühfaden-Pyrometers von Siemens & Halske im Schnitt.

**nach Holborn-Kurlbaum, Bauart Siemens & Halske.** Das optische Pyrometer nach Holborn und Kurlbaum beruht auf dem Wien-Planckschen Gesetz, nach welchem die Lichtstrahlung eines schwarzen Körpers, und als solcher ist praktisch z. B. jeder fast vollkommen geschlossene Hohlraum anzusehen, nur von der Temperatur abhängig ist. In der Achse des Fernrohres *F* (Abb. 88) befindet sich der Faden einer Glühlampe *L*. Wird das Fernrohr auf einen Körper höherer Temperatur gerichtet, so hebt sich der Faden der Glühlampe *L* im strom-



Abb. 88c. Lichtbild der neuen Ausführung des Glühfaden-Pyrometers von Siemens & Halske.

losen Zustände als schwarzer Strich vom hellen Gesichtsfelde scharf ab. Bringt man ihn durch einen Strom aus einem Akkumulator  $E$  zum Glühen und reguliert die Stromstärke mit Hilfe des am Fernrohr angebrachten Regulierwiderstandes mit Grob- und Feineinstellung  $R_g$  und  $R_f$  so, daß der Faden im Bilde des glühenden Körpers verschwindet, dann haben beide die gleiche „schwarze Temperatur“ (Abb. 89). Man mißt den Strom in der Glühlampe mit dem Strommesser  $S$ . Sofern der Strommesser, wie es meistens der Fall ist, eine nach Temperaturgraden geteilte Skala besitzt, kann die gesuchte Temperatur an ihr unmittelbar abgelesen



Fadentemperatur  
10° C zu tief.

Fadentemperatur richtig.

Fadentemperatur  
10° C zu hoch.

Abb. 89. Einstellbilder des Holborn-Kurlbaum-Pyrometers.

werden. Andernfalls nimmt man einen Ablesestreifen zu Hilfe. Die Abhängigkeit der Glühfadentemperatur vom Strom ist durch Eichung im Laboratorium ermittelt; sie wird auf Wunsch von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt beglaubigt. (Abb. 90.)

**Optisches Pyrometer „Pyropto“ von Hartmann & Braun.** Auch hier wird von dem im Muffelofen liegenden Werkstück durch eine Linse  $L_1$  ein Bild an der Stelle des Fadens einer geeichten Vergleichs-Glühlampe  $P$  entworfen. Der Glühfaden und das Bild des Gegenstandes werden durch eine Okularlinse  $L_2$  betrachtet. Durch entsprechendes Einstellen des Regulierwiderstandes  $W$  wird die Helligkeit der vom Akkumulator  $S$  gespeisten Glühlampe  $P$  so geregelt, daß der Glühfaden auf der

glühenden Bildfläche verschwindet. Die Spannung an der geeichten Lampe ist dann ein Maß für die Temperatur des glühenden Fadens. Die beiden Skalen des Meßgerätes sind in Grad Celsius geeicht. Die obere Temperaturskala reicht von  $700-1500^{\circ}\text{C}$ , die untere für Beobachtungen mit Rauchglas *Ra* von  $1400$  bis  $3500^{\circ}\text{C}$ . Abb. 90 u. 91.

**Filardometer von Janke & Kunkel.**  
Es arbeitet nach



Abb. 90. Ausführungsform des Optischen Pyrometers „Pyropto“ von Hartmann & Braun.

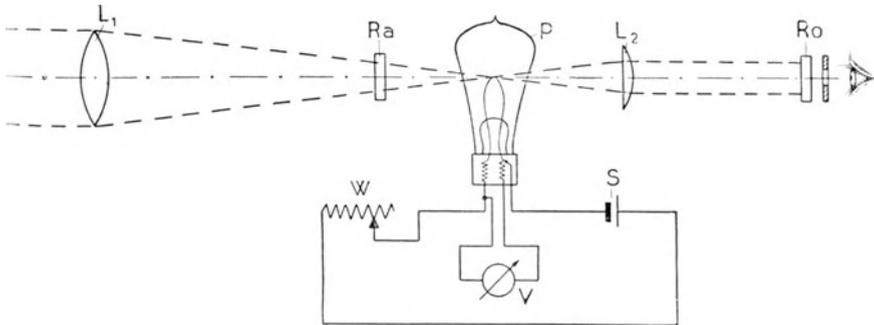


Abb. 91. Strahlengang im Optischen Pyrometer „Pyropto“ von Hartmann & Braun.

dem Prinzip von Holborn-Kurlbaum. Abb. 92 u. 93.

**Wedge-Pyrometer.** Es enthält keine Vergleichslampe, sondern ein Keil aus rot gefärbtem Glas wird so verstellt, daß er

gerade alles Licht absorbiert. Jeder Keilstellung entspricht eine bestimmte Temperatur, die direkt abgelesen werden kann. Der Genauigkeitsgrad dürfte wohl gering sein.

Ein besonderer Vorzug der optischen Pyrometer nach Holborn-Kurlbaum gegenüber den Strahlungs-pyrometern liegt darin,

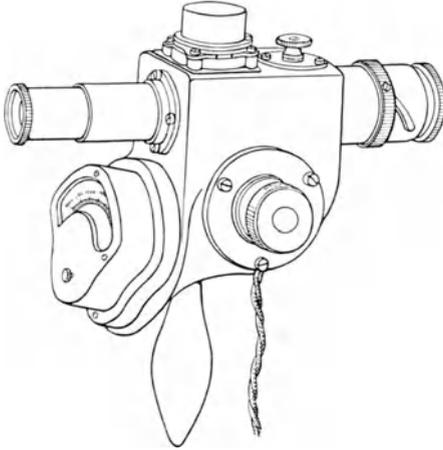


Abb. 92. Filardometer von Janke & Kunkel.

daß sie auch zur Temperaturbestimmung an sehr kleinen, sogar punktförmigen Objekten brauchbar sind, während die

Strahlungs-pyrometer immer das Vorhandensein einer glühenden Fläche von wenigstens einigen Quadratzentimetern Fläche voraussetzen. Der Nachteil der optischen Pyrometer gegen die Strahlungs-pyrometer besteht im wesentlichen in der Notwendigkeit einer Stromquelle und in

der subjektiven Einstellung, sowie in der Unmöglichkeit selbsttätiger Aufzeichnung der Temperatur.

## E. Abschreck-Bäder für die Werkstücke beim Härten.

Das Abschrecken der Werkstücke hat den Zweck, ihnen die Hitze je nach Art und Baustoff derselben rasch oder langsam zu entziehen. Danach richten sich auch die hierfür benutzten Stoffe. Man schreckt ab in Wasser, Öl, flüssigen Metallen, Luft oder an festen Körpern.

### 1. Flüssigkeitsbäder.

Benutzt werden Behälter der verschiedensten Art und Größe. Letztere richtet sich nach der Anzahl der gleichzeitig abzukühlenden Gegenstände und nach deren Umfang. Denn zur Erzielung gleichmäßiger Härte darf auch die Temperatur der Härteflüssigkeit während des Härtens sich nicht wesentlich ändern; der Behälter mit der Härteflüssigkeit ist also möglichst

groß zu nehmen und immer genügend gefüllt zu halten. Es empfiehlt sich auch, die Kühlflüssigkeit dauernd in Bewegung zu

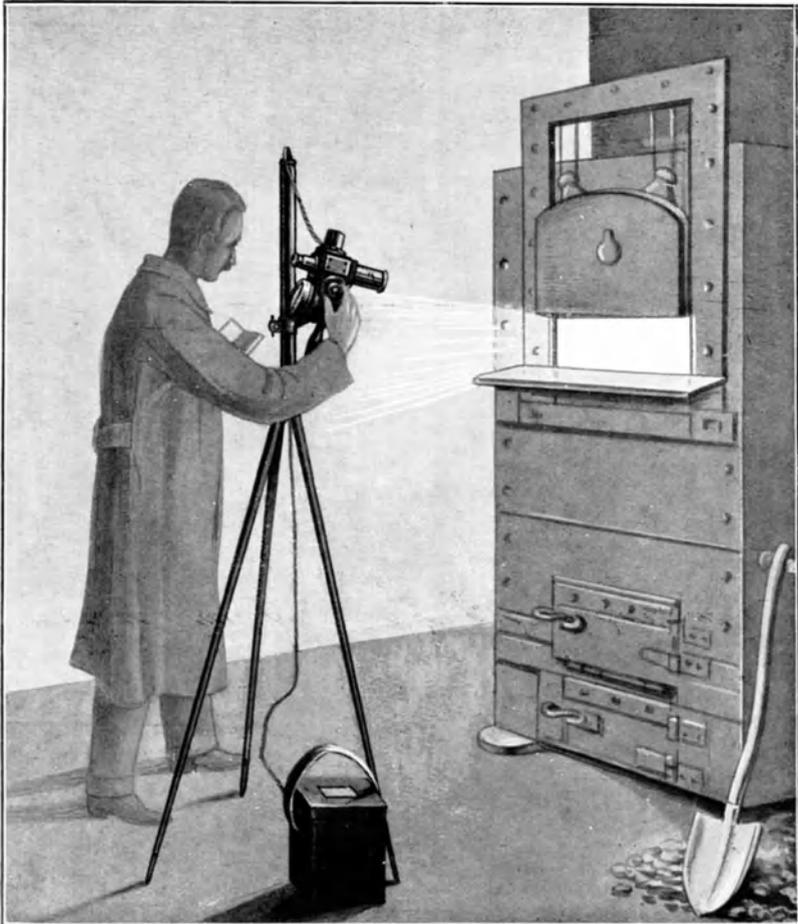


Abb. 93. Anwendung des Filardometers mit Stativ im Betrieb.

halten, indem ein oder mehrere Wasserzuleitungsrohre bis fast auf den Boden des Kühlgefäßes geführt werden, neue Wassermassen zuführen, während ein entsprechend weiter Überlauf den Wasserüberschuß selbsttätig fortführt; hierdurch wird auch

verhindert, daß die sich bildenden Dampfblasen das Werkstück mit einer isolierenden Dampfschicht umgeben, wodurch die rasche Abkühlung behindert wird.

Maßgebend für die Abschreckwirkung der Flüssigkeiten sind deren physikalische Eigenschaften. Sie wirken um so energischer, je größer ihre Wärmeleitfähigkeit ist, d. h. je rascher die Flüssigkeit die Wärme weiter leitet, je größer ihre spezifische Wärme ist, d. h. je mehr Wärme sie bei einer Temperaturerhöhung um  $1^{\circ}\text{C}$  aufnehmen kann, je größer ihre Verdampfungswärme, d. h. je mehr Wärme zum Verdampfen der Flüssigkeit gebraucht wird, und je dünnflüssiger sie ist, d. h. je geringer ihre Zähigkeit oder Viskosität.

Das Abkühlen des erhitzten Werkstückes hat so gleichmäßig und, wenn es sich um die Erzielung der größtmöglichen Härte handelt, so rasch als möglich zu geschehen, daß die Wärme dem zu härtenden Teile gleichmäßig entzogen wird. Die Gleichmäßigkeit der Abkühlung ist unbedingt nötig, weil das durch die Erwärmung ausgedehnte Stahlstück sich durch das plötzliche Ablöschen etwas zusammenzieht; es verzieht sich nicht, wenn das Abkühlen und damit das Zusammenziehen gleichmäßig erfolgt.

Hiernach gruppieren sich die Abschreckflüssigkeiten wie folgt:

**Wasser.** Gewöhnliches Leitungswasser enthält gelöste Salze, in der Regel Kalzium- oder Magnesiumsalze. Man sagt, das Wasser ist „hart“. „Hartes“ Wasser härtet nicht so energisch wie „weiches“ Wasser, wie Regen-, Quell-, Kondenswasser und altes gebrauchtes Wasser.

Setzt man dem Wasser Salze oder Säuren zu, so wird die Wärmeleitfähigkeit erhöht, es härtet also schärfer; kalkhaltiges Wasser bewirkt das Gegenteil. Zu scharf härtendes Brunnen- oder Quellwasser mildert man dadurch, daß man etwas Soda oder Pottasche darin auflöst; ungenügend härtendes Flußwasser erhält eine bessere Härtefähigkeit durch Mischen mit geringen Mengen Säuren, z. B. Salzsäure, Schwefelsäure, Essig u. dgl. m. bis zu 2 vH. Dabei sind Essigsäure oder Zitronensäure von milderer Wirkung als Salzsäure, Salpeter- oder Schwefelsäure. Längere Zeit gebrauchtes Härtewasser hat die schädlichen Beimengungen ausgeschieden, härtet also stets sehr gleichmäßig. Kühlt man die Werkstücke in stark angesäuertem Wasser ab,

so rosten sie, falls sie nicht hinterher in heißem Sodawasser nachgespült werden. Schreckt man sie in einer starken Kochsalzlösung mit Zusatz von Schwefelsäure ab, so erhalten die Teile eine silbergraue Oberfläche.

**Zusätze zum Härtewasser: Kochsalz.** Es wird meist eine gesättigte Kochsalzlösung verwendet, und zwar dann, wenn eine größere Anzahl Werkzeuge von komplizierter Form eine hohe Härte besitzen sollen.

**Soda und Salmiak.** Sehr geeignet für komplizierte Werkzeuge, bei denen eine Abtrennung einzelner Teile zu befürchten ist, z. B. bei komplizierten Fräsern.

**Säuren.** Angewendet, wenn die Werkzeuge die höchste erzielbare Härte besitzen sollen, oder wenn man wenig härtbarem Stahl eine genügend harte Oberfläche geben will.

**Alkohol.** Die Härtung wird stark verzögert, weil der Siedepunkt des Wassers erniedrigt wird, dieses also leichter verdampft.

**Seife.** Seifenwasser härtet gar nicht. Sollen an gehärteten Werkzeugen, wie Angeln an Feilen, Messern, Säbeln, Sägen u. a. m. weich gemacht werden, so erwärmt man diese Teile bis zur Rotglut und kühlt im Seifenwasser ab.

**Mit Öl und Fett vermengtes Wasser.** Auf die Wasseroberfläche gibt man eine Öl- oder Fettschicht; das abzukühlende Werkzeug wird durch diese hindurchgeführt, überzieht sich dabei mit einer durch die Hitze zäh gewordenen Fettschicht, die verzögernd auf die weitere Abkühlung im Wasser wirkt.

Gegenstände, die in angesäuertem Wasser gehärtet wurden, müssen darnach mit reinem Wasser oder mit Kalkwasser abgespült werden, um die Nachwirkungen der Säure zu neutralisieren und eine Oxydation zu verhüten.

**Öl.** Öle und Fette in flüssigem Zustande härten weniger scharf als Wasser; die Härtefähigkeit ist abhängig von der Konsistenz des betreffenden Mittels, die Härte milde bei großer Zähigkeit des Werkstückes. Es ist unbedingt erforderlich, daß hinreichend große Behälter mit reichlichen Öl- oder Fettmengen zur Verfügung stehen, einmal, um den zu härtenden Gegenstand darin bewegen zu können, und dann, um keine wesentliche Temperaturerhöhung der Kühlflüssigkeit zu erhalten. Hin und wieder ist das Öl zu erneuern, weil es verdampft und verkohlt. Bei Verwendung von Ölgemischen ist es zweckmäßig, öfters

etwas Mineralöl zuzugießen, weil es rascher als fettes Öl verbraucht wird.

Je dünnflüssiger das Öl ist, d. h. je geringer seine Zähigkeit oder Viskosität, um so schärfer härtet es. Von den Ölen härtet Petroleum am schärfsten, Rüböl am gleichmäßigsten, dann Glycerin, hierauf leichtflüssige Mineralöle, endlich dickflüssige Pflanzenöle, z. B. Leinöl. Man kann auch eine Mischung von Öl und Unschlitt anwenden, die halbflüssig bleibt. Häufig verwendet man an Stelle dieser beiden Härteflüssigkeiten Fischtran, der zwar billiger ist, jedoch leichter verdampft und brennt, außerdem wegen seines üblen Geruches lästig wird.

**Fette.** Am häufigsten wird geschmolzener Talg verwendet; man erreicht eine etwas größere Härte hierbei als in Ölen.

### 2. Abkühlen in Metallen.

Zinn, Zink, Blei und deren Legierungen. Infolge des hohen Schmelzpunktes dieser Metalle: Zinn  $230^{\circ}\text{C}$ , Blei  $330^{\circ}\text{C}$  und Zink  $400^{\circ}\text{C}$  findet keine Härtung wie in den vorerwähnten Abkühlmitteln statt. Die Härte des Stahles wird größer, wenn man die Werkzeuge nach kurzem Eintauchen in geschmolzenes Metall — etwa  $\frac{1}{4}$  bis 2 Minuten, je nach dem Querschnitte — in Wasser sehr rasch abkühlt. Es eignet sich zum Härten von Federn und Werkzeugen, die zur Bearbeitung weicher Materialien dienen, welche die erforderliche zähe Härte und Schneidkraft erhalten sollen; ferner bei Maschinenteilen, die auf große Festigkeit und Abnutzung beansprucht werden. Quecksilber wird seines hohen Preises wegen kaum angewendet.

### 3. Abkühlen in Luft.

Es wird in der Weise ausgeführt, daß sie in einem starken Strome über den zu härtenden Gegenstand geblasen oder dieser in der Luft rasch bewegt wird; der Luftstrom eines Ventilators oder eines Gebläses wird hierzu benutzt, doch muß die Preßluft trocken sein, damit die Werkstücke nicht reißen. Bei hinreichend großer Luftmenge genügt ein Überdruck von 1 at. Durch Einführung des Schnellstahles wurde die Lufthärtung allgemein eingeführt.

### 4. Abkühlen durch feste Körper.

Es geschieht in der Regel in der Weise, daß das Werkzeug zwischen wassergekühlte Eisenplatten gelegt wird und dabei

gleichzeitig eine Pressung erfährt; man nennt es auch Preßhärtung.

Angewendet wird die Preßhärtung bei sehr dünnen Werkzeugen, wie Sägeblättern, Klingen und Bändern bei Massenerstellung, bei denen ein Verziehen vermieden werden muß.

Den Behälter mit der Kühlflüssigkeit stelle man möglichst nahe an den Ofen oder das Feuer heran, damit man mit dem glühenden Gegenstande nicht erst einen längeren Weg durch die Luft zurückzulegen hat.

Man vermeide auch eine ungleichmäßige Abkühlung des Werkstückes unmittelbar vor dem Härten, schon scharfer Luftzug kann schaden. Desgleichen lege man es vor dem Härten, wenn es aus dem Ofen gebracht wird, nicht auf kalte Eisenplatten oder gar feuchte Unterlagen, um es mit der Zange besser zu erfassen; die hierdurch herbeigeführte einseitige bzw. ungleichmäßige Abkühlung ist häufig die Entstehungsursache von Härterissen. Ebenso schädlich ist die Wirkung kalter oder nasser Zangen, namentlich bei Gegenständen mit schwachem Querschnitte.

Die zweckmäßigste Temperatur des Härtewassers ist 15 bis 22° C, kälteres Wasser kühlt zu schroff, ohne eine größere Härte herbeizuführen, vermindert dagegen die Zähigkeit und der Stahl wird spröde.

Taucht man das zu härtende glühende Werkstück ins Härtebad, so verdunstet die Härteflüssigkeit überall da, wo sie den glühenden Stahl berührt, hüllt also das Werkstück in eine Dampfschicht ein, die die Abkühlung und damit die Annahme gleichmäßiger Härte hindert. Der zu härtende Gegenstand muß daher im Härtebade fortwährend bewegt werden, damit die sich bildende Dampfschicht leichter entweichen kann; auch darf er nicht nahe der Wandung, sondern muß in der Mitte des Bades eingetaucht werden.

Es ist unbedingt zu vermeiden, ein Stück einfach in die Härteflüssigkeit zu werfen, mit Ausnahme ganz kleiner Gegenstände, die gleichzeitig in größerer Anzahl gehärtet werden, wie Nadeln u. ä.; denn der Gegenstand muß je nach seiner Form in einer bestimmten Lage in die Flüssigkeit eingeführt werden, die auf dem Boden des Gefäßes aufliegende Fläche würde auch mit der Härteflüssigkeit nicht in Berührung kommen.

Wird ein Stahlstab so in die Abkühlflüssigkeit getaucht, daß

seine Längsachse parallel zur Fläche derselben liegt, so verzieht er sich (Abb. 94). Solche Gegenstände müssen daher senkrecht und nicht zu rasch in die Härteflüssigkeit getaucht werden (Abb. 95); bisweilen führt man sie auch spiralförmig darin herum, um das Werkzeug stets mit frischer, noch nicht erwärmter Flüssigkeit in Berührung zu bringen; bei langen, dünnen und zum Verziehen geneigten Gegenständen darf man dies nicht tun. Das langsame Eintauchen bezweckt, das Abkühlen des Stahles in der Hauptsache an der Oberfläche der Härteflüssigkeit zu bewirken; damit die besonders bei größeren Gegenständen sich reichlich bildenden und die Härtung behindernden Dämpfe sofort entweichen können. Man kann

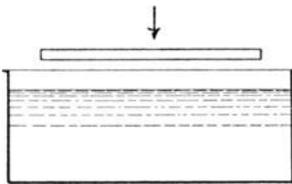


Abb. 94. Falsches Eintauchen des Werkstückes in die Abkühlflüssigkeit.

bei besonders großen und schweren Werkzeugen, oder solchen, die ihrer Form wegen leicht zum Verziehen neigen, auch so verfahren, daß man sie ruhig liegen läßt und mit der Härteflüssigkeit umspült.

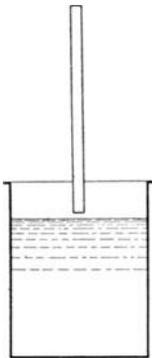


Abb. 95. Richtiges Eintauchen des Werkstückes in die Abkühlflüssigkeit.

Flache Gegenstände werden mit der schmalen Seite zuerst, teils senkrecht, teils wagrecht, ungleichmäßig dicke Werkstücke mit der dicken Seite zuerst in die Härteflüssigkeit gebracht, weil sonst beim Zusammenziehen des stärkeren Teiles der bereits abgekühlte dünnere Teil nicht nachgeben und so ein Reißen eintreten würde. Ist diese Art der Abkühlung nicht möglich, so sind schwächere Teile des Stückes mit einer dünnen Schicht Lehm zu umhüllen, wodurch sie vor zu rascher Abkühlung beim Eintauchen geschützt sind.

Werkzeuge mit Schneidzähnen am Umfange, z. B. Schaftfräser, Walzenfräser, Reibahlen, Spiralbohrer, Gewindebohrer, längere hinterdrehte Fräser u. dgl. m. werden in Richtung ihrer Längsachse in die Abkühlflüssigkeit gebracht; Kreissägen, Scheibenfräser, schmale hinterdrehte Fräser u. a. m. werden mit wagerechter Achse eingetaucht. Ist bei einem Werkstück die Bohrung zu härten, so muß das Wasser beim Eintauchen sofort in diese gelangen können, oder es wird mit durchfließendem



ungen sind zuerst mit dem vollen Boden nach unten oder der weitesten Öffnung nach oben einzutauchen.

Besitzt das Werkstück an beiden Seiten je tiefe Eindrehungen, so ist es zweckmäßig, diese durchzubohren.

### F. Vorrichtungen zum Abkühlen.

In erster Linie ist hier das Wasserbad zu nennen, das zweckmäßig mit einem Ölbad in einem gemeinsamen Behälter untergebracht ist, wie Abb. 96 a u. b in Längsschnitt, Querschnitt und Grundriß zeigt. Das eigentliche Härtegefäß *a* dieses Kühlwasser- und Ölbehälters ist durch eine Zwischenwand *c* in zwei Abtei-

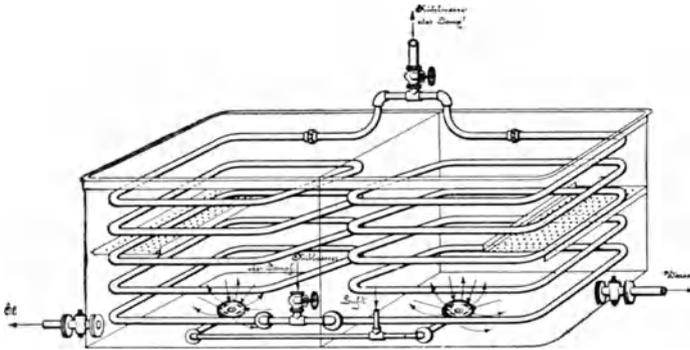


Abb. 96 b. Härtetrog für Wasser- und Ölkühlung. Ausf. n. Br. Boye.

lungen geteilt, von denen die eine als Wasser-, die andere als Ölgefäß dient. Das Gefäß *a* ist von dem Kühlwassergefäß *b* umgeben, in welchem mittels der Wasserzuflußleitung *d* und des Überlaufrohres *e* ein fortwährender Zu- und Abfluß von kaltem Wasser unterhalten werden kann. Hierdurch ist es durchaus möglich, bei sorgfältiger Regelung des Wasserzufflusses im Kühlwassergefäß selbst bei anhaltendem Härten eine stets gleichbleibende Temperatur des Härtewassers zu erzielen. Beim Härten schwerer Gegenstände, welche nur mangelhaft im Härtewasser bewegt werden können, kann dasselbe durch ein in das Wassergefäß hineingeleitetes Luftrohr mittels Druckluft in genügende Wallung versetzt werden. Da zur Abkühlung großer Gegenstände eine geringere, zur Abkühlung kleiner Gegenstände dagegen

eine höhere Temperatur des Härtewassers erforderlich ist, so ist das Wassergefäß mit einem Vorwärmer  $g$  versehen, welcher die Erwärmung des Härtewassers über die Zimmertemperatur hinaus ermöglicht. Dieser Vorwärmer besteht aus einer Kupferschlange, welche durch Rohrstützen mit dem Härtewassergefäß in Verbindung steht, sowie aus dem Mantel, der zum Umhüllen der Kupferschlange dient. Durch Erhitzen der Kupferschlange vermittels eines Bunsenbrenners wird eine verhältnismäßig schnelle Erhöhung der Temperatur des Härtewassers erzielt. Zur Kontrolle der

Härtewassertemperatur kann in dem Thermometerhalter  $k$  ein Thermometer eingesetzt werden. Zum Sammeln und leichten Herausnehmen der gehärteten Gegenstände aus dem Ölfäß ist in diesem ein herausziehbarer Drahtkorb angebracht.

Bei kleineren Werkzeugen aus Kohlenstoffstahl ist es angebracht, den Wasserbehälter möglichst nahe am Härteofen zu haben, so daß eine schädliche Abkühlung des Härtegutes zwischen dem Herausnehmen aus dem Ofen und dem Eintauchen in die Abkühlflüssigkeit vermieden wird. Abb. 97 zeigt einen für diesen Zweck ausgeführten Behälter mit einem herausnehmbaren Drahtkorb.

Zum Härten von kleineren Spiralbohrern findet man in Werkzeugfabriken häufig eine nach Abb. 98 ausgeführte Vorrichtung. Sie besteht aus einem schräg im Härtebottich angebrachten

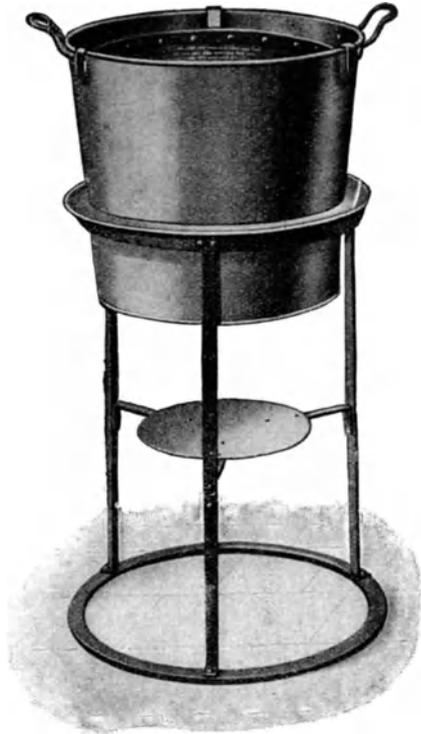


Abb. 97. Tragbarer Härtetrog.

Rost *a*, auf den die erhitzten Bohrer gelegt und mittels einer Holzplatte *b* schnell hin und her gerollt werden.

Zum Härten von Döppern und ähnlichen Werkzeugen, bei

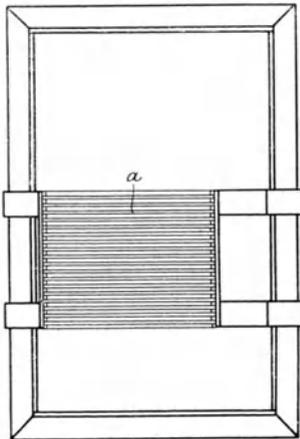
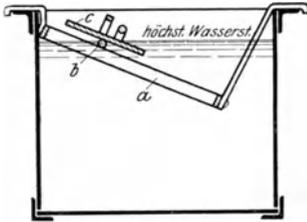


Abb. 98. Vorrichtung zum Härten kleiner Spiralbohrer. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstähle.)



Abb. 99. Wasserstrahlvorrichtung zum Härten von Döppern.

denen die Höhlung zu härten ist, findet eine Wasserstrahlvorrichtung nach Abb. 99 vorteilhafte Anwendung. In dem runden Blechbehälter ist eine Strahldüse zentral angeordnet. Eine in ihrer Höhenlage verstellbare Klemmvorrichtung faßt das Werkzeug. Das gebrauchte Kühlwasser läuft durch einen im Boden angebrachten Stutzen ab.

Eine Wasserstrahlvorrichtung zum Härten der Bohrungen von Matrizen, Zieheisen, Preßzylindern, welche die höchste Härte in der Lochwandung besitzen, während das dahinterliegende Material nur eine zähe Härte aufweist, ist in Abb. 100 dargestellt.

In dem Behälter aus Eisenblech ist ein Stahlrohr angeordnet, das durch eine Spiralfeder in seine Höchstlage gezogen wird

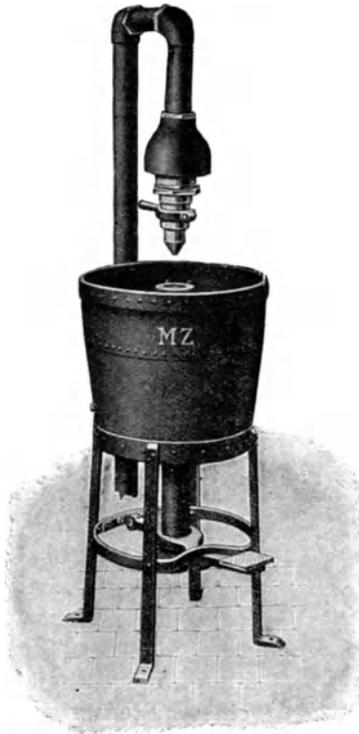


Abb. 100. Wasserstrahlvorrichtung zum Härten von Bohrungen.

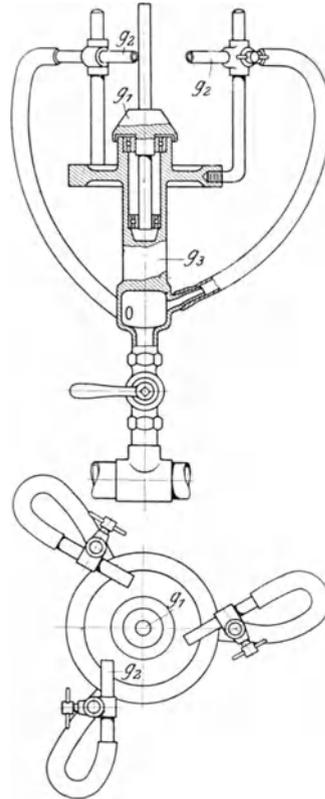


Abb. 101. Lufthärteapparat für Schnellstähle. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstähle.)

und am oberen Ende mit einem Kopf zur Aufnahme von Ringen versehen ist. Der Wasserzufluß geschieht von oben und wird durch den wagrecht drehbaren Hebel geregelt. Durch die besondere Form der Düse wird der Wasserstrahl in drehende Bewegung versetzt, das gebrauchte Wasser durch ein am Boden des Behälters angebrachtes Abflußrohr abgeleitet. Bei Schnellstählen, die in Luft zu härten sind, bedient man sich des in Abb. 101 abgebildeten Apparates. Der Lufthärteapparat (Abb. 101) besteht aus dem Ständer  $g_3$ , den Düsen  $g_2$  und der Spindel  $g_1$ .

Am unteren Ende des Ständers befindet sich ein Ventil, das mit der Luftleitung verbunden ist. Im oberen Teile des Ständers  $g_1$  ist die Spindel  $g_3$  mittels Kugellager gelagert, an der darunter



Abb. 102. Behälter zum Härten von Schnellstählen in heißem Talg.

befindlichen Scheibe sind die Düsenhalter befestigt, an denen die Düsen  $g_2$  durch Flügelschrauben festgeklemmt bzw. in die richtige Höhenlage eingestellt werden können. Beim Härten bzw. Abkühlen von Drehstählen und dergleichen durch Luft kann die Spindel  $g_1$  entfernt werden.

Zum Härten von Werkzeugen aus Schnellstahl in heißem Talg kann eine Vorrichtung nach Abb. 102 benutzt werden. Der Talgbehälter dient zum Anwärmen des Talges auf etwa  $60^{\circ}\text{C}$  mittels eines Sternbrenners. Zum Schutze gegen Wärmestrahlung ist

der Blechmantel mit Asbest ausgekleidet. In den verzinnnten Topf ist ein Drahtkorb zum leichteren Herausnehmen der Werkzeuge eingehängt.

Für Öl- und Petroleumbehälter sind Deckel bereitzuhalten, um in Brandfällen die Flammen ersticken zu können.

## VIII. Entlüftung des Härteraumes.

Die durch die verschiedenen Arbeiten in der Härterei sich entwickelnden Gase und Dämpfe müssen entfernt werden. Hoch-

gelegte beiderseitige Drehfenster und ein ausreichender Entlüfter als Dachreiter, nach der Leeseite, d. h. der dem Winde abgewendeten Seite geöffnet, auf der Luvseite, der dem Winde zugewendeten Seite geschlossen, wirken im allgemeinen besser als das künstliche Absaugen mittels Ventilators.

Blei-, Öl- und Zyankalibäder sind durch besondere Hauben abzuschließen. Die hier sich entwickelnden Dämpfe sind zum Teil äußerst giftig und würden die Gesundheit aller in demselben Raum Beschäftigten auf das schwerste schädigen.

Bei einer Neuanlage der Härtestube wird die Beachtung aller dieser Gesichtspunkte sich ohne Schwierigkeiten vollziehen. Bei Um- und Ausbauten vorhandener Räumlichkeiten werden Schwierigkeiten zu überwinden sein, die nicht immer einfach sind.

## IX. Wärmewirtschaft im Härtereibetriebe<sup>1)</sup>.

Das Streben nach äußerster Ausnutzung aller Betriebsmittel und Betriebsstoffe, wie es die allgemeine wirtschaftliche Lage bedingt, läßt sich sinngemäß auch auf den Wirtschaftsbetrieb der Härtereie anwenden. Die Ausbeute der Abgase der Glüh- und Härteöfen — Wärmewirtschaft im Härtereibetrieb — ist zurzeit so ziemlich Neuland, in der Natur der Sache selbst begründet. Wenn auch Ansätze zur Ausnutzung der Abhitze vorliegen, so ist zweifellos noch manches zu tun.

Die Verbrennungsgase der Glüh- und Härteöfen verlassen diese mit sehr hoher Temperatur, deren Ausnutzung sehr weit getrieben werden kann, weil die Verbrennungsluft i. d. R. durch irgendein Gebläse unter Druck zugeführt wird, die Abhängigkeit vom natürlichen Schornsteinzug also entfällt.

Die bisher gebräuchliche Verwertung der Abwärme findet in den Öfen selbst statt:

- a) zur unmittelbaren Vorwärmung des Glühgutes;
- b) zur Vorwärmung der Verbrennungsluft;
- c) zum Vorwärmen des Glühgutes und darnach zum Vorwärmen der Verbrennungsluft.

a) Bei der Vorwärmung des Glühgutes sind besondere Vorwärmekammern nötig. Man bezeichnet diese Öfen als Doppel-

<sup>1)</sup> Vgl. Carl Boye: Über die Ausbeute der Abgase bei Glüh- und Härteöfen, aus „Der Betrieb“, 2. Jahrg., Juni 1920, H. 12.

kammer-Glüh- und Härteöfen. Die Abgase werden aus der unteren Kammer in die obere Kammer geleitet. Das Glühgut wird nachdem es in der oberen Kammer vorgewärmt in den eigentlichen Erhitzungsraum, die untere Kammer gebracht. Diese erforderliche Umlagerung beschränkt die Ausnutzung der Abgase insofern, als sie hauptsächlich für Härteöfen Anwendung findet. In härtereitechnischer Hinsicht hat sie den großen Vorzug allmählichen Anwärmens des Härtegutes und darnach raschen Erhitzens auf die Härtetemperatur, wie es die Wärmebehandlung beim Härten des Schnellstahles verlangt.

In ähnlicher Weise erfolgt die Verwendung der Abhitze bei den Salzbad-Härteöfen. Öfen dieser Art liefern die Firmen:

Brüder Boye, Ofenbau-A.-G., Berlin N. 54.

Schuchard & Schütte, A.-G., Berlin.

Gebrüder Pierburg, A.-G., Berlin-Tempelhof u. a.

Die Ausnutzung der Abgase zum Vorwärmen der Verbrennungsluft wird im wesentlichen bei größeren Ofenbauarten, wie Einsatzöfen u. dgl. m., angewendet. Hier wird der Brennstoff schwelend auf dem Rost verbrannt. Die zur Unterhaltung des Verbrennungsvorganges erforderliche Luft wird unter den Rost geführt, während die vorgewärmte Verbrennungsluft den Brennstoffgasen beigemischt wird, so daß sie erst beim Eintritt in den Einsatzraum vollkommen verbrennen. Die abziehenden Heizgase dienen dazu, die zugeführte Verbrauchsluft nach dem Gegenstromprinzip vorzuwärmen. Dieses Vorwärmen der sogenannten sekundären Verbrennungsluft erfolgt in den Rekuperatoren.

c) Die gemischte Verwertung der Abhitze ist wie die Ausnutzung unter a) nur bei den kleineren Ofenbauarten möglich.

## X. Das Härten<sup>1)</sup>.

In dem Abschnitt Materialienlehre wurde näher ausgeführt, daß die Eigenschaft des Eisens durch den Kohlenstoffgehalt ganz wesentliche Veränderungen erfahren können. Festigkeit und Härte steigen fast proportional mit diesem, am stärksten wird jedenfalls die Härbarkeit beeinflußt.

---

<sup>1)</sup> Siehe auch G. Mars: „Die Spezialstähle“. — P. Oberhoffer: „Das technische Eisen“. Berlin: Julius Springer 1925.

Um den Begriff der Härbarkeit bzw. Härte und damit des Härtevorganges festzulegen, ist es notwendig, einige neue Begriffe einzuführen und zu erklären. Denn hier haben erst die neueren und neuesten Forschungsergebnisse mit Hilfe des Mikroskopes über die Umwandlungen, die sich dabei im Innern der Legierung Eisen vollziehen, klärend gewirkt.

Führen wir einem Stück Eis, das eine Temperatur von  $-50^{\circ}\text{C}$  besitzen soll, langsam Wärme zu, so wird die Temperatur des Eisstückes allmählich steigen. Schreibt man sich in gewissen Zeitabschnitten, z. B. von je fünf zu fünf Minuten, die dabei mit einem Thermometer zu messende Temperatur auf und trägt am Schlusse die so erhaltenen Zahlen in der Weise in ein Liniensystem — Koordinatensystem — ein, daß in der Wagerechten — Horizontalen, Abszisse genannt — die Zeitabschnitte, in denen die Temperaturablesungen erfolgten — hier also die Minuten: fünf, zehn, fünfzehn — in den senkrechten Linien — Vertikalen, Ordinate genannt, — die dabei abgelesenen Temperaturen in irgend-einem beliebigen Maßstabe,

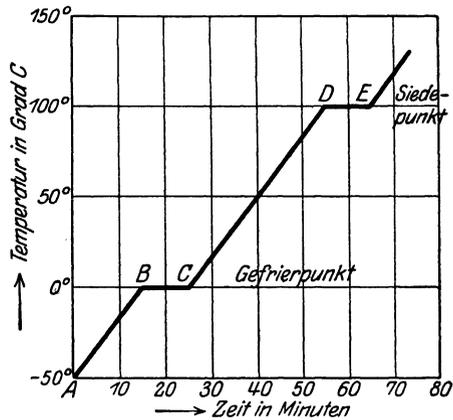


Abb. 103. Erhitzungskurve des Wassers.

beispielsweise  $1^{\circ}\text{C} = 1\text{ mm}$  oder ähnlich, sich befinden, so erhält man die Kurve  $AB$ , aus deren gleichmäßigem Verlaufe man ersieht, daß die gesamte zugeführte Wärme lediglich zur Temperaturerhöhung dient (Abb. 103). Bei Punkt  $B$  jedoch hört das Ansteigen der Temperatur auf. Trotz weiterer Wärmezufuhr bleibt die Temperatur 10 Minuten lang auf  $0^{\circ}\text{C}$  stehen. Sieht man genau zu, so beobachtet man, daß das Eis begonnen hat, zu schmelzen. Es ist also Wärme verbraucht worden zu einer Umlagerung der Wassermoleküle. Diese Wärme, die wir einem Körper zuführen, ohne eine Temperatursteigerung zu erzielen, nennen wir latente Wärme, im vorliegenden Falle Schmelzwärme. Erst wenn das letzte Stückchen Eis geschmolzen ist, beginnt bei weiterer Wärmezufuhr

die Temperatur des Wassers zu steigen und zwar wieder gleichmäßig, da alle Wärme nun zur Temperaturerhöhung verwandt wird. Ist nun von 25—55 Minuten, entsprechend der Kurve *CD*, die Temperatur auf 100°C gestiegen, so wiederholt sich der gleiche Vorgang wie bei *B*. Trotz weiterer Wärmezufuhr bleibt die Temperatur konstant auf 100°C. Wiederum wird also Wärme aufgenommen und zu einer molekularen Umwandlung gebraucht. Diesmal ist es die Verdampfungswärme, denn bei

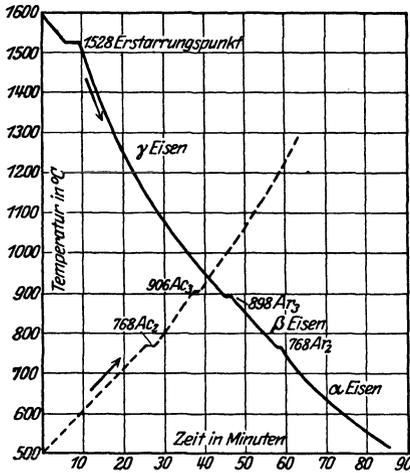


Abb. 104. Erhitzungs- und Abkühlungskurve des chemisch reinen Eisens.

100°C beginnt das Wasser zu sieden. Erst wenn alles Wasser in Dampf übergeführt ist, steigt bei weiterer Wärmezufuhr die Temperatur von *E* wieder an. Die gleichen Vorgänge, die sich beim Erwärmen abspielen, treten in umgekehrter Reihenfolge beim Abkühlen und Erstarren ein.

Es sei diesmal als Beispiel das chemisch reine Eisen gewählt (Abb. 104). In eine bis auf 1800°C erhitze Eisenschmelze taucht man ein Thermoelement, läßt die Schmelze langsam abkühlen

und trägt von Minute zu Minute die gefundene Temperatur in ein Koordinatensystem ein. In den ersten zwei Minuten sinkt die Temperatur ganz gleichmäßig, bis plötzlich bei 1528°C ein Stillstand in der Temperaturabnahme eintritt. Ähnlich dem oben angeführten Beispiele vermutet man auch hier eine molekulare Umwandlung. Berührt man die Schmelze mit einem Stäbchen, so erkennt man, daß sie begonnen hat, zu erstarren. Da nun, wie aus früherem ersichtlich, beim Schmelzen Wärme gebunden wird, so muß umgekehrt beim Erstarren diese Schmelzwärme wieder frei werden. Dies ist auch tatsächlich der Fall. Die freiwerdende Schmelzwärme hindert ein weiteres Fallen der Temperatur. Sie bleibt konstant, und erst wenn alles Eisen erstarrt ist, sinkt die Temperatur gleichmäßig weiter. Mit Hilfe

sehr feiner Meßinstrumente kann man dann beobachten, daß bei  $898^{\circ}\text{C}$  und  $768^{\circ}\text{C}$  die Temperatur nochmals kurze Zeit still steht. Nun ist das Eisen bereits bei  $1528^{\circ}\text{C}$  erstarrt, es wird also hier nur auf eine Umwandlung im festen Zustande zu schließen sein, auf einen Übergang in eine andere allotrope Modifikation.

„Allotrope Modifikationen“ oder „allotrope Zustände“ sind die Eigenschaften mancher Elemente, im festen Aggregatzustande in verschiedenen Formen existieren zu können; z. B. Kohlenstoff, der in drei allotropen Modifikationen vorkommt: als Diamant, als Graphit und amorph, d. h. gestalt- oder formlos.

Innerhalb des Temperaturbereiches von  $768^{\circ}\text{C}$  bis  $906^{\circ}\text{C}$  ist das Eisen unmagnetisch. Auf Grund der thermischen Analyse unterscheidet man vier Modifikationen des Eisens:

1. Das gewöhnliche magnetisierbare  $\alpha$ -Eisen — lies „Alpha-Eisen“.

2. Es geht bei  $769^{\circ}\text{C}$  in das unmagnetische  $\beta$ -Eisen — lies „Beta-Eisen“ — über.

3. Dieses geht bei  $906^{\circ}\text{C}$  in das magnetisierbare  $\gamma$ -Eisen — lies „Gama-Eisen“ — über.

4.  $1401^{\circ}\text{C}$  das  $\delta$ -Eisen — lies Delta-Eisen.

Die in Abb. 104 dargestellte Kurve nennt man Abkühlungskurve, die Punkte *A*, *B* und *C*, an denen die Temperaturerniedrigung „halt“ macht, heißen Haltepunkte.

Jede Richtungsänderung und jeder Haltepunkt einer Abkühlungskurve deutet auf eine Umwandlung im Gefüge eines Metalles oder einer Metallegierung hin. Diese Umwandlungen können sein: Schmelzen oder Erstarren, Übergang in eine andere allotrope Modifikation, Bildung oder Zerfall von Verbindungen oder Mischkristallen.

Die thermische — Wärme- — Analyse ist daher ein Studium der Haltepunkte.

Zur völligen Aufklärung eines Gefüges genügt die Untersuchung einer Legierung meist nicht; man muß daher systematisch eine Reihe von Legierungen mit steigendem Gehalte bis zu den beiden reinen Komponenten untersuchen. Als Komponenten bezeichnet man diejenigen Bestandteile eines Systems, d. h. der einer Untersuchung unterzogenen Stoffe, deren Mengenverhältnis beliebig gewählt bzw. verändert werden. Die Ergebnisse trägt man in ein Koordinatensystem ein. Die gemess-

senen Temperaturen werden auf beiden Senkrechten — Ordinaten —, auf der Wagrechten — Abszisse — die Prozentgehalte des einen von *A* nach *B* steigend, die des anderen Legierungsmetalle von *B* nach *A* steigend, aufgetragen. In Abb. 105 ist das Erstarrungsbild der Wismut-Antimonlegierungen dargestellt. Im Punkte *A* sind Null-Prozent, im Punkte *B* Hundert-Prozent Antimon, und umgekehrt im Punkte *B* Null-Prozent, im Punkte *A* Hundert-Prozent Wismut in der Lösung enthalten. Punkt *C* zeigt dann eine Legierung von 40 Prozent Antimon und 60 Prozent Wismut. Die Ergebnisse der thermischen Untersuchung, d. h. die aus einer

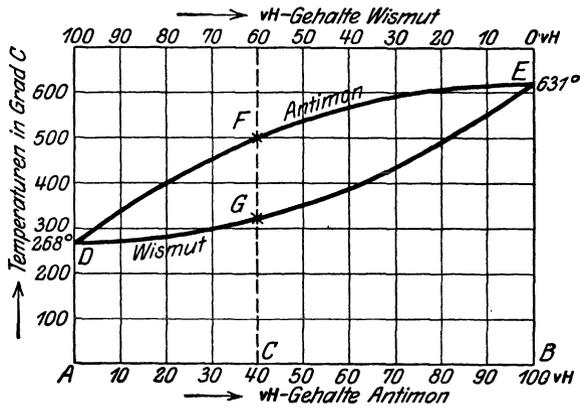


Abb. 105. Erstarrungsbild der Wismut-Antimonlegierungen.

Reihe von Abkühlungskurven verschiedener Legierungen gefundenen Haltepunkte trägt man auf und verbindet sie miteinander, wodurch man zwei Kurven erhält, die Beginn und Ende der Erstarrung aller Wismut-Antimonlegierungen zwischen Null und Hundert Prozent darstellen. Man nennt diese Übersicht der Erstarrungs- und Umwandlungsvorgänge einer Metalllegierung, die uns vor allen Dingen in Form eines Diagrammes Aufschluß über den Aufbau der Gefügebestandteile geben, sowie ob und in welchen Grenzen der betreffenden Metalle im festen und flüssigen Zustande mischbar sind, „Zustandsdiagramm“.

Um die Mischbarkeit von Metallen zu erklären, wurden vergleichsweise Flüssigkeiten gebraucht. Bei diesen letzteren lassen sich drei Fälle unterscheiden:

1. Zwei Flüssigkeiten sind in jedem Verhältnis mischbar. Die Mischung verhält sich wie ein einheitlicher Körper, der nicht ohne weiteres in seine beiden Bestandteile getrennt werden kann, also eine durch und durch homogene Mischung bildet.

2. Zwei Flüssigkeiten sind vollkommen unmischbar, sie trennen sich trotz besten mechanischen Durchrührens nach ihren spezifischen Gewichten in verschieden schwere Flüssigkeiten. Waren z. B. bei zwei verschiedenen Flüssigkeiten die spezifischen Gewichte annähernd die gleichen, so bildet sich eine Emulsion, d. h. ein milchähnliches Flüssigkeitsgemisch, bestehend aus mikroskopisch wahrnehmbaren Teilchen der einen Flüssigkeit neben solchen der anderen. Nach längerem Stehen tritt auch bei Emulsionen meist eine Scheidung in beide Flüssigkeitsschichten ein.

3. Zwei Flüssigkeiten sind begrenzt mischbar. Schüttelt man beide durcheinander und überläßt dieses Gemisch sich selbst, so sondern sich nach kurzer Zeit zwei Schichten ab, eine obere, die etwas von der unteren in sich gelöst enthält und eine untere, die Teilchen der oberen gelöst hat.

Alle diese drei soeben angeführten Möglichkeiten der Mischbarkeit kann man auch bei den Metallegierungen im flüssigen Zustande unterscheiden, von denen die meisten hier in jedem Verhältnis mischbar sind, das Gemisch ganz gleichmäßig zusammengesetzt und nicht in seine Bestandteile zerlegbar ist. Diese Gemische haben das meiste Interesse.

Nun unterscheidet sich bei chemisch nahe miteinander verwandten Metallen, z. B. Antimon-Wismut, die feste Phase in keiner Weise von der flüssigen. Als Phase bezeichnet man hierbei diejenigen physikalisch homogenen Teile eines Systems, die sich durch mechanische Hilfsmittel voneinander trennen lassen. Ein Gemisch von Eis und Wasser von Null Grad besteht nur aus einem Stoff, wird somit als Einstoffsystem bezeichnet; durch Filtrieren kann man das Eis vom Wasser trennen, beide Teile des Systems, Eis und Wasser, sind durch dieses mechanische Hilfsmittel trennbar, stellen also die Phasen dieses Einstoffsystems dar.

Die Schmelze — Antimon-Wismut — erstarrt zu einer vollkommen homogenen Masse, in welcher auch bei schärfster Vergrößerung nur das Gemisch, niemals aber Teilchen der Bestand-

teile — Komponenten — wahrnehmbar sind. Legierungen dieser Art, bei denen im flüssigen und festen Zustande die Komponenten völlig ineinander gelöst sind, etwa wie in einer Salzlösung Salz und Wasser, hat man „feste Lösungen“ oder, da sie, wie alle Metalle, bei der Erstarrung kristallisieren. „Mischkristalle“ genannt. Abb. 106 zeigt schematisch eine solche Legierung. *A* soll die flüssige Phase vorstellen; bei *B* beginnt die Erstarrung, aus der flüssigen Schmelze scheiden sich die Mischkristalle aus; bei *C* ist diese Schmelze zu dem vollkommen homogenen Mischkristall erstarrt. Man sagt nun:

Chemisch nahestehende Metalle sind im flüssigen und festen Zustande unbegrenzt mischbar, sie bilden Mischkristalle.

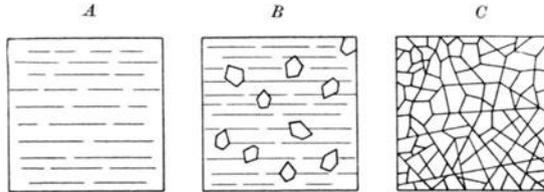


Abb. 106. Beispiel der Legierung einer festen Lösung.

In Abb. 105, dem Zustandsdiagramm der Bi-Sb-Legierungen, stellt die Linie *DFE* den Beginn der Erstarrung der Legierungen dar.

Oberhalb *DFE* ist die Schmelze flüssig, unterhalb *DFE* scheiden sich die Mischkristalle aus. Diese Auscheidung von Mischkristallen wird um so reichlicher, je näher man sich der Kurve *DGE* nähert, welche selbst den Verlauf des Endes der Erstarrung darstellt. Innerhalb *DGEFD* findet sich Schmelze und bereits ausgeschiedene Mischkristalle, unterhalb *DGE* ist die Schmelze völlig zum homogenen Mischkristall erstarrt. Abb. 107 zeigt das vorstehend geschilderte nochmals deutlich im Bilde.

Im Gegensatz zur vollkommenen Mischbarkeit im festen Zustande steht vollkommene Unmischbarkeit im festen Zustande, zu deren besserem Verständnis die bekannte Legierung von Blei und Zinn, das Lötzinn, näher untersucht werden soll, und zwar eine Legierung von 30 vH Zinn und 70 vH Blei. Nun sind Blei und Zinn in flüssigem Zustande vollkommen mischbar, Abb. 108, *A I*, beim Sinken der Temperatur scheiden sich aus der ho-

mogenen Schmelze *BI* bei etwa 260° C Bleikristalle aus die in dieser schwimmen. Sinkt die Temperatur noch tiefer, so

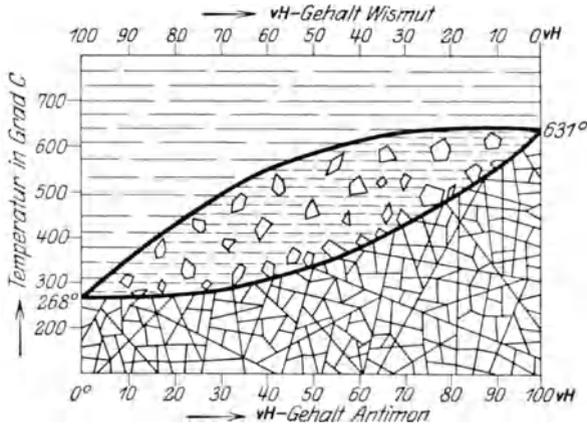


Abb. 107. Erstarrungsbild der Wismut-Antimonlegierungen.

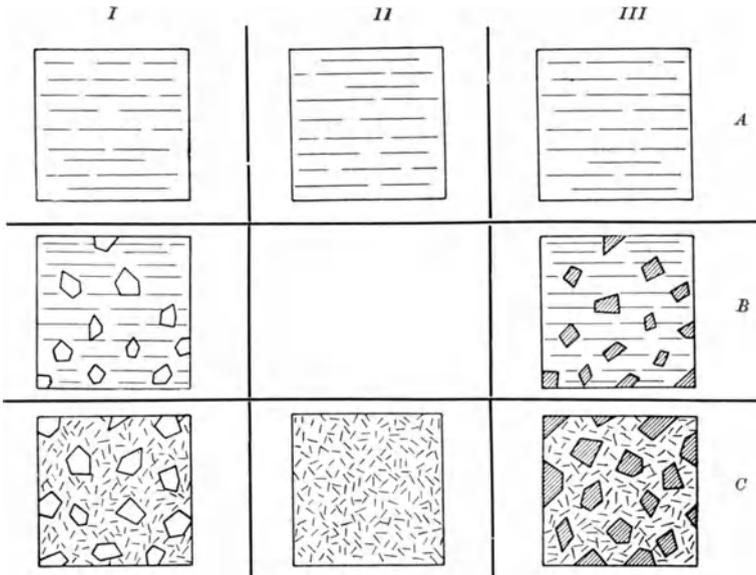


Abb. 108.

scheiden sich immer mehr Kristalle aus, bis bei einer Temperatur von 180° C die ganze flüssige Schmelze zu einer sehr feinen

Mischung von Blei und Zinn erstarrt. Unter dem Mikroskop erkennt man nun eine Nebeneinanderschichtung kleinster Zinn- und Bleiteilchen, einer Emulsion ähnlich, *CI*. Die Metallographie nennt eine solche „Metallemulsion“ = „Eutektikum“. Unter Eutektikum versteht man also stets ein mechanisches Gemenge von kleinsten Metallteilchen, die bei starker Vergrößerung unter dem Mikroskop noch gut wahrnehmbar sind. Das Eutektikum einer Legierung hat ziemlich gleiche Zusammensetzung und den tiefsten Schmelzpunkt.

Betrachten wir Fall *II*, eine Legierung von 70 vH Zinn und 30 vH Blei, so sieht man, daß beim Erstarren keine Kristallausscheidung erfolgt. Bei 180° C wird sie plötzlich fest und bei

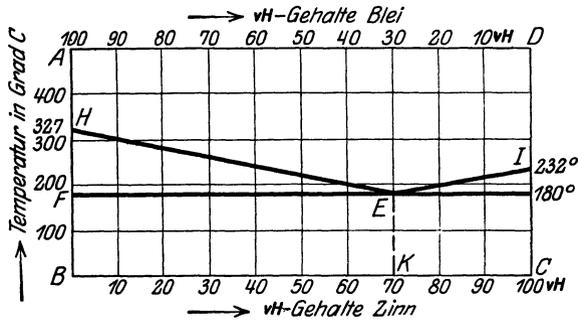


Abb. 109.

starker Vergrößerung erkennt man, daß sie nur aus Eutektikum besteht. Fall *III* zeigt eine Legierung von 90 vH Zinn und 10 vH Blei; sie scheidet beim Erstarren wie im Falle *I* Kristalle aus, die in der Schmelze schwimmen, doch sind es Zinnkristalle *III B*. Bei 180° C erstarrt auch hier die Schmelze plötzlich, und in *III C* sehen wir im Eutektikum eingebettete Zinnkristalle.

Vorstehende Darlegungen lassen sich nun metallographisch im Zustandsdiagramm des Systems Blei-Zinn, Abb. 109, vereinigen. *HE* bezeichnet den Beginn des Ausscheidens der Bleikristalle, Linie *EJ* den des Ausscheidens der Zinnkristalle, während *FG* der Erstarrungstemperatur des Eutektikums entspricht.

Zum besseren Verständnis des Zustandsdiagrammes Abb. 109 sind die Erstarrungsvorgänge in Abb. 110 derselben Legierung Blei-Zinn dargestellt. Vergleicht man beide Figuren mit-

einander, so ergibt sich folgendes Bild: Die Schmelze ist oberhalb  $HEJ$  vollkommen homogen flüssig; längs  $HE$  scheiden sich Bleikristalle und innerhalb  $HEF$  finden sich Bleikristalle neben homogener Schmelze; längs  $EJ$  scheiden sich Zinnkristalle aus und innerhalb  $EJG$  haben wir Zinnkristalle neben Schmelze. Längs der Graden  $FG$  erstarrt das Eutektikum, im Bereiche  $F B K E$  findet man in der erstarrten Legierung Bleikristalle eingebettet in Eutektikum, bei  $EK$  das Eutektikum selbst und im Gebiete  $E K C G$  Zinnkristalle im Eutektikum. Links vom Eutektikum sind also nur Bleikristalle, rechts vom Eutektikum nur Zinnkristalle daseinsfähig.

Die teilweise Mischbarkeit zweier Metalle im festen

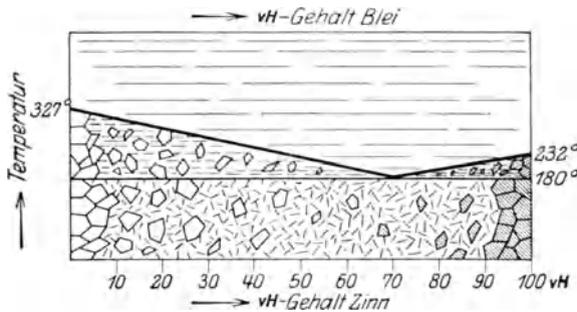


Abb. 110.

Zustände soll an einer Zink-Aluminiumlegierung, deren Zustandsdiagramm in Abb. 111 und deren Gefügebestandteile in Abb. 112 dargestellt sind, betrachtet werden. Aluminium kann im festen Zustande Zink vollständig lösen und Mischkristalle bilden, doch erreicht dieses Lösungsvermögen für Zink bei etwa 50 vH seine Grenze, Punkt  $B$ . Andererseits kann Zink etwa 5 vH Aluminium in fester Lösung aufnehmen, Punkt  $A$ . Zwischen 5 vH und 50 vH Aluminium sind beide Metalle im festen Zustande völlig unlöslich, nur haben wir hier nicht die reinen Metalle als unlösliche Bestandteile, sondern die beiden gesättigten Mischkristalle. Das Gefüge der erstarrten Legierungen ist also in Feld 1 und Feld 3 vollkommen homogen, und zwar zeigt das Mikroskop in 1 den zinkreichen, in 43 den aluminiumreichen Mischkristall. In  $E$  liegt der eutektische Punkt. Feld 2 zeigt links von  $E$  den Mischkristall 1, rechts von  $E$  den Mischkristall 3 in Eutektikum

eingebettet, während dieses selbst aus einer sehr feinen Nebeneinanderlagerung der beiden gesättigten Mischkristalle 1 und 3

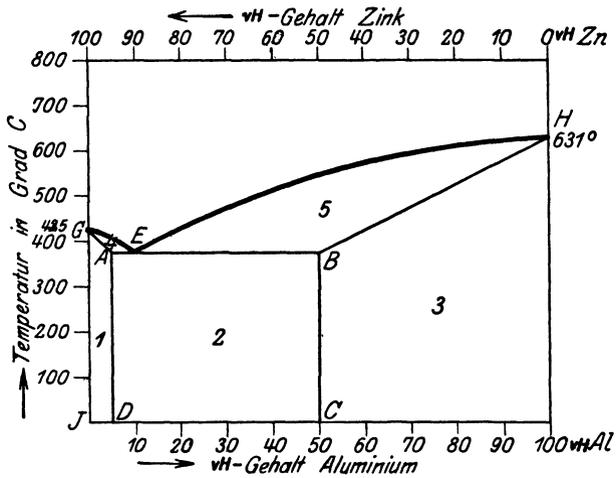


Abb. 111.

besteht. Oberhalb *GEH* ist homogene Schmelze. Im Felde 4 scheiden sich zinkreiche, in der Schmelze schwimmende, im Felde 5

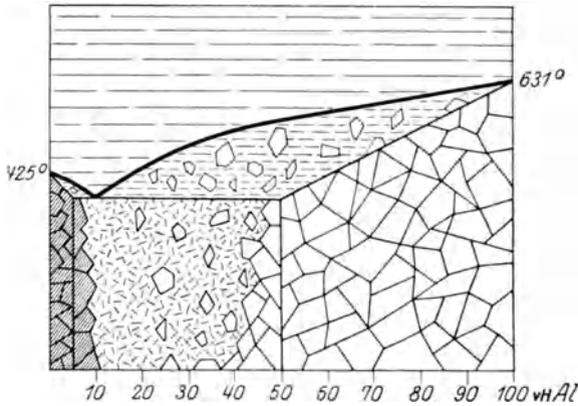


Abb. 112.

aluminiumreiche Mischkristalle aus. Die teilweise Mischbarkeit der beiden Metalle erkennt man daran, daß die eutektische Grade

bei  $A$  und  $B$  endigt, also nicht bis zu den reinen Komponenten durchgeführt ist.

Nach diesen einführenden und erklärenden Betrachtungen an einfachen Fällen sollen nun die Zustandsdiagramme des reinen Eisens und seiner technisch wichtigsten Legierungen behandelt werden.

Abb. 104 zeigt die Abkühlungs- und Erhitzungskurve des reinen Eisens<sup>1)</sup>. Eisen schmilzt und erstarrt bei  $1528^{\circ}$ . Beide Kurven zeigen hier den ersten Halte-, Umwandlungs- oder kritischen Punkt. Innerhalb des Existenzbereiches des festen Eisens erhält man auf der Abkühlungskurve bei  $1401^{\circ}$ ,  $898^{\circ}$  und  $768^{\circ}$  und auf der Erhitzungskurve bei  $768^{\circ}$ ,  $906^{\circ}$  und  $1401^{\circ}$  C je einen weiteren Umwandlungspunkt. Das erstarrte Eisen kommt also in vier Modifikationen, Zustandsformen oder Phasen vor, die mit  $\delta$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  und  $\alpha$  bezeichnet werden. Ihre Umwandlungen sind umkehrbar oder reversibel. Die Umwandlungspunkte selbst sind hierbei mit  $A$  bezeichnet, und waren die Haltepunkte bei der Erhitzung  $Ac$  die Haltepunkte bei der Abkühlung mit  $Ar$ . Hierin bedeuten:

$$\begin{aligned} \text{Arrêt} &= \text{Halten} &= A \\ \text{chauffage} &= \text{Erhitzung} &= c \\ \text{refroidissement} &= \text{Abkühlung} &= r \end{aligned}$$

In nachstehender Tabelle sind die Existenzbereiche der vier Modifikationen zusammengestellt:

Bei der Abkühlung:	Bei der Erhitzung:
$\delta$ Eisen $1528-1401^{\circ}$	$\alpha$ Eisen bis $768^{\circ}$
$\gamma$ Eisen $1401-898^{\circ}$	$\beta$ Eisen $768-906^{\circ}$
$\beta$ Eisen $898-768^{\circ}$	$\gamma$ Eisen $906-1401^{\circ}$
$\alpha$ Eisen unter $768^{\circ}$	$\delta$ Eisen $1401-1528^{\circ}$

Die Bezeichnungen für die Umwandlungen des Eisens sind:

Umwandlung bei der Abkühlung:	Umwandlung bei der Erhitzung:
$\delta \rightarrow \gamma \text{ } Ar_4$	$\gamma \rightarrow \delta \text{ } Ac_4$
$\gamma \rightarrow \beta \text{ } Ar_3$	$\beta \rightarrow \gamma \text{ } Ac_3$
$\beta \rightarrow \alpha \text{ } Ar_2$	$\alpha \rightarrow \beta \text{ } Ac_2$

Aus Abb. 104 ist ersichtlich, daß die Lage von  $Ar_3$  und  $Ac_3$  nicht übereinstimmt.  $Ac_3$  liegt  $8^{\circ}$  höher als  $Ar_3$ . Die Erscheinung, durch welche sich die Neigung des  $\gamma$ -Eisens seine Umwandlung

<sup>1)</sup> Zuerst aufgestellt und untersucht von dem französischen Forscher Osmond.

in  $\beta$ -Eisen zu verzögern, darstellt, nennt man Hysteresis. Sie ist von der Abkühlungsgeschwindigkeit stark abhängig.

Durch zahlreiche Untersuchungen ist nachgewiesen worden, daß in der Nähe des Haltepunktes  $A_2$  die Magnetisierbarkeit des Eisens aufhört, daß sie bei der Abkühlung wieder zurückkehrt.

### A. Das System Eisen-Kohlenstoff<sup>1)</sup>.

Viel wichtiger als das reine Eisen ist die Legierung Eisen, da sie allein technisch herstellbar ist. Ausschlaggebend ist hierbei, wie früher gesagt wurde, der Gehalt an Kohlenstoff, man nennt sie daher „Eisen-Kohlenstoff-Legierungen“; zu diesen gehören die Kohlenstoff-Stähle.

Das Zustandsdiagramm, d. h. Erstarrungsbild, der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen innerhalb des Kohlenstoffgehaltes, der den technisch wichtigen Legierungen entspricht, zeigt Abb. 113.

Viel wichtiger als das reine Eisen ist die Legierung Eisen, da sie allein technisch herstellbar ist. Alle Legierungen des Eisens mit einem Element nennt man ein binäres oder Zweistoffsystem oder ein System mit zwei Komponenten. Diesem folgt das der verwickelteren ternären oder aus drei Komponenten aufgebauten Systeme. Ausschlaggebend ist hierbei der Gehalt an Kohlenstoff, er bildet also einen der Grundbestandteile einer Reihe von zu untersuchenden ternären Systemen. Dann müßten die quaternären, endlich die Systeme höherer Ordnung untersucht werden.

Bei allen technischen Eisen- und Stahlsorten ist der Hauptbestandteil neben dem Eisen der Kohlenstoff. Er ist darin in Form einer Eisen-Kohlenstoff-Verbindung enthalten, bei der drei Eisenatome auf ein Kohlenstoffatom kommen. Ihre chemische Form ist  $Fe_3C$ ; sie heißt Eisenkarbid oder Zementit. Eisenkarbid ist im flüssigen Eisen in jedem Verhältnis möglich. Durch Zusatz von Salzen zum Wasser wird sein Gefrierpunkt erniedrigt. Das gelöste Eisenkarbid beeinflusst auch wesentlich

---

<sup>1)</sup> Vgl. P. Oberhoffer: „Das technische Eisen“. 2. Auflage. Berlin: Julius Springer 1925. — K. Daevs: „Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm und die wichtigsten Gefügebestandteile der Kohlenstoffstähle. Bericht Nr. 42 des Werkstoffausschusses des VDE.“



$\text{Fe}_3\text{C}$ . Auf dieser liegen die drei Haltepunkte des reinen Eisens und zwar der Schmelzpunkt  $A$  bei  $1528^\circ$ , die Haltepunkte  $G$  bei  $906^\circ = A_3$ , und  $M$  bei  $769^\circ = A_2$ . Der Linienzug  $AC$  gibt die Abnahme des Schmelzpunktes des reinen Eisens bei zunehmendem Gehalt an Eisenkarbid bis zu einer Temperatur von  $1145^\circ = C$  wieder. Umgekehrt wird bei wachsendem Eisengehalt der Schmelzpunkt des reinen Eisenkarbids entsprechend der Linie  $DC$  erniedrigt. Die Linie  $AECF$  bestimmt die untere Grenze des Erstarrungsintervalles. Die Linienzüge der beginnenden Erstarrung  $ACD$ , die sogenannten Liquiduslinien<sup>1)</sup>, stellen die untere Grenze für den flüssigen Zustand dar; d. h. unterhalb der durch diese Linien angezeigten Temperaturen können Legierungen der durch die zugehörigen Abszissen angezeigten Zusammensetzungen nicht im flüssigen Zustand bestehen. Der Linienzug  $ACF$ , sogenannte Soliduslinie<sup>2)</sup>, gibt die obere Grenze für den festen Zustand an, d. h. oberhalb der Liquiduslinie ist alles flüssig, unterhalb der Soliduslinie alles fest. Bei einer erstarrenden Legierung von 1 vH C ist bei  $1450^\circ$  die Liquiduslinie im Punkte  $a$  erreicht, d. h. bei weiterer Abkühlung wäre das Bestehen einer flüssigen Schmelze dieser Konzentration oder Dichte nicht möglich. Diese Legierung kann sich andererseits auch nicht in den festen Zustand umwandeln, da die Soliduslinie für diese Konzentration erst bei etwa  $1250^\circ$  liegt. Bei weiterer Abkühlung muß die Schmelze, da sie als solche im flüssigen Zustande nicht mehr bestehen kann, feste Kristalle abscheiden mit einem solchen Gehalt an  $\text{Fe}_3\text{C}$ , wie sie bei dieser Temperatur im festen Zustand gerade noch bestehen können, d. h. wie sie durch den Schnittpunkt der Temperatur von  $1450^\circ$  mit der Soliduslinie beim Punkt  $b$  mit etwa 0,3 vH C angegeben werden. Man bezeichnet solche Kristalle, die im festen Zustand einen anderen Bestandteil gelöst enthalten, als Mischkristalle. Durch die ausgeschiedenen, an Kohlenstoff ärmeren Mischkristalle nimmt die Konzentration des flüssig bleibenden Restes der Schmelze an Eisenkarbid zu. Der angereicherte Teil kann sich entsprechend der Liquiduslinie  $AC$  auch bei tieferen Temperaturen flüssig halten. Bei  $1400^\circ\text{C}$  wird ein Gemenge von festen Mischkristallen in dem Rest der flüssigen Schmelze, auch

---

1) Von liquidus = flüssig.

2) Von solidus = fest.

Mutterlauge genannt, vorhanden sein. Die festen Kristalle werden, entsprechend dem Schnittpunkt der Soliduslinie mit der  $1400^{\circ}$  Achse die Konzentration  $d =$  etwa 0,5 vH C und der Rest der Schmelze entsprechend dem Schnittpunkt der gleichen Temperaturachse mit der Liquiduslinie die Konzentration  $e =$  etwa 1,75 vH C haben.

Mit sinkender Temperatur wird sich der Gehalt der ausgeschiedenen Kristalle an Eisenkarbid auf der Soliduslinie  $AE$  in Richtung auf  $E$  zu verschieben. Gleichzeitig verschiebt sich die Konzentration der flüssigen Schmelze entlang der Liquiduslinie  $AC$  in Richtung auf  $C$ . Für eine Legierung mit 1 vH C ist die Soliduslinie in  $f$  bei einer Temperatur von etwa  $1245^{\circ}$  C erreicht, d. h. die ganze Schmelze, die sich bis  $g$  auf ungefähr 3,6 vH C angereichert hatte, kann erstarren. Für das Eisenkarbid besteht auch im festen Zustande die Möglichkeit der Wanderung oder Diffusion. Ein Ausgleich wird auch hier eintreten, daß bei genügend langsamer Abkühlung oder durch entsprechend langes Glühen die gesamte bei  $1245^{\circ}$  mit ihren letzten Resten erstarrte Schmelze in allen Teilen 1 vH C aufweist.

In der Praxis, besonders wenn außer Kohlenstoff noch andere Legierungselemente vorhanden sind, oder wenn die Abkühlung rasch erfolgte, verlaufen diese Wanderungs- oder Diffusionsvorgänge nicht immer so vollständig. Man kann oft Kristalle beobachten, die in ihrer Mitte sehr rein von Kohlenstoff und anderen Fremdkörpern sind, während der Rand stark an solchen angereichert ist. — Im Eisen-Zementit-Diagramm ist Punkt  $E$  mit 1,75 vH C und  $1145^{\circ}$  C besonders wichtig. Denn bis zu dieser Grenze können die Mischkristalle Eisenkarbid im festen Zustand gelöst aufnehmen, nachdem die Schmelze vollständig erstarrt ist. Von  $E$  an verläuft die Soliduslinie bei höheren Gehalten an Zementit wagerecht zu den Punkten  $C$  und  $F$ . Bei Eisenkarbidgehalten von mehr als 1,75 vH C und bei  $1145^{\circ}$  C wird der noch vorhandene Rest der flüssigen Mutterlauge, der dem Verlauf der Liquiduslinie entsprechend bei dieser Temperatur Punkt  $C$  mit einem Gehalt von 4,29 vH C erreicht hat, in dieser Zusammensetzung selbständig neben den Mischkristallen erstarren. Die Erstarrung erfolgt derartig, daß sich gleichzeitig oder unmittelbar aufeinanderfolgend Eisenkarbid und Mischkristalle mit 1,75 vH C, dem höchsten Gehalt, den die Mischkristalle im festen Zustand

in Lösung halten können, abscheiden. Dies erstarrende Gemenge, das sich seinerseits um die bereits früher erstarrten Mischkristalle mit ebenfalls 1,75 vH C ausscheidet, bezeichnet man als Eutektikum. Der Name rührt daher, daß es den niedrigsten im Eisenkarbidssystem überhaupt vorkommenden Erstarrungspunkt hat, also bei der Erwärmung am ersten schmilzt.

Die Linienzüge *AE*, *GOS*, *SE* und die senkrechte Nullachse begrenzen das Gebiet der festen Lösung, denn hier gehen die Veränderungen vor sich, die die Legierungen im festen Zustande erleiden. Sinkt die Temperatur noch weiter, so kann auch die feste Lösung nicht mehr bestehen und scheidet entlang der Linie *GOS* reines Eisen oder entlang *SE* weiteren Zementit ab. Die Linien *GOS* und *SE* können als die Linien der beginnenden Ausscheidung von reinem Eisen oder Eisenkarbid aus der festen Lösung bezeichnet werden und entsprechend die gerade Linie *PSK* als Linienzug der beendeten Ausscheidungen. Oberhalb der Linien *GOS* und *SE* ist feste Lösung vorhanden und keine Ausscheidung hat stattgefunden. Im Gleichgewichtszustand ist unterhalb *PSK* alles ausgeschieden und nichts mehr in Lösung. Die Zone der Ausscheidungslinien wird seitlich durch zwei gerade Linien *GMP* und *FK* begrenzt, so daß nur die diesen Linien entsprechenden Bestandteile, das reine Eisen und das reine Eisenkarbid, zur Ausscheidung kommen.

Unterhalb *PSK* finden keine Gefügeumwandlungen mehr statt. Die Bestandteile sind auch im Schlifffbild zu erkennen. Als Gefügebestandteil heißt das reine Eisen Ferrit, das Eisenkarbid, wie schon bekannt, Zementit.

Es sei eine Legierung mit 0,33 vH C betrachtet. Sie erreicht die untere Grenze der festen Lösung bei der Abkühlung bei 850° C. Hier beginnt die Ausscheidung von Ferrit. Der Rest der festen Lösung wird gehaltreicher, konzentrierter, an Fe<sub>3</sub>C. Auch bei tieferen Temperaturen wird sie beständig sein. Je weiter sie sich abkühlt um so mehr Ferrit scheidet sich aus. Die restliche feste Lösung wird immer konzentrierter an Fe<sub>3</sub>C, bis sie bei etwa 720° im Punkt *S* einen Gehalt an Kohlenstoff von 0,89 vH erreicht hat. Dieser Punkt entspricht dem Eutektikum bei C und wird auch der eutektoide genannt. In diesem Punkte ist die feste Lösung gleichzeitig mit reinem Eisen und reinem Eisenkarbid gesättigt. Beide scheiden sich bei weiterer Tem-

peraturerniedrigung gleichzeitig als Eutektoid aus: Haltepunkt  $A_{r_1}$  bzw.  $A_{c_1}$ . Das Eutektoid heißt als Gefügebestandteil Perlit. Bei Betrachtung des geätzten Schliffbildes mit bloßem Auge geben die sehr dicht nebeneinanderliegenden Ferrit- und Zementit-Streifen zu Lichterscheinungen Anlaß, wie sie auch Perlmutter aufweist. Abb. 113a.

Nach Unterschreitung der Temperatur von  $720^0$  wird die eben

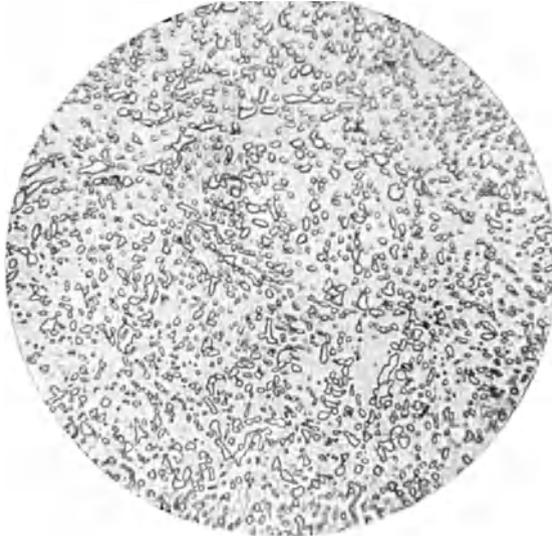


Abb. 113a. Körniger Perlit.<sup>1)</sup>

betrachtete Legierung Ferritkörner, umgeben von Perlit zeigen. Eine Legierung mit 0,89 vH C zeigt nur Perlit.

Bei noch höherem Gehalt der Legierung an  $Fe_3C$  wird statt Ferrit Zementit ausgeschieden, entsprechend der Linie  $SE$ . Eine Legierung von 1,33 vH C erreicht bei  $950^0$  die Grenze des Gebietes der festen Lösung. Jetzt beginnt die Ausscheidung von reinem Zementit. Dadurch wird die Konzentration der übrigbleibenden festen Lösung an  $Fe_3C$  verlängert, bis sie bei  $720^0$  wieder den Punkt  $S$  erreicht hat. Bei weiterer Unterschreitung zerfällt dieser Teil in Perlit, die Legierung besteht unterhalb der Linie  $PSK$  aus Perlit mit vorher ausgeschiedenem Zementit.

Die Ausscheidungen der Mischkristalle und des Zementits

<sup>1)</sup> Aus P. Oberhoffer: „Das technische Eisen“. 2. Aufl.

aus der flüssigen Schmelze bezeichnet man als primäre Ausscheidungen und spricht von Primär-Mischkristallen und von Primär-Zementit. Zum Unterschied hiervon nennt man die Ausscheidung aus der festen Lösung sekundäre Ausscheidung.

Dasselbe gilt beim Erhitzen, denn eine Legierung mit 0,33 vH C zeigt hierbei bis zu 720° keine Veränderungen. Bei dieser Temperatur bildet sich aus dem vorhandenen Eutektoid die feste Lösung, d. h. Ferrit und Zementit des Perlits lösen sich ineinander in fester Lösung auf. Je mehr man erhitzt, um so mehr verdünnt sich die feste Lösung dadurch, daß sich immer mehr Ferrit in ihr auflöst, bis bei 850° aller Ferrit gelöst ist und eine homogene, feste Lösung besteht. Diese bleibt unverändert bis 1450°, denn jetzt ist die Soliduslinie und damit die Grenze der Existenzmöglichkeit der einheitlichen festen Lösung erreicht. Ein Teil wird flüssig und nimmt aus dem Rest der fest bleibenden Kristalle durch Diffusionsvorgänge so viel Kohlenstoff, daß die erste sich bildende Flüssigkeit 1 vH C enthält; dieser Karbidgehalt ist der niedrigste, mit dem eine flüssige Schmelze bei der Temperatur von 1440° bestehen kann. Je höher man erhitzt, desto mehr Teile schmelzen, wobei gleichzeitig die Konzentration der flüssigen Schmelze durch Auflösung noch fester reinerer Bestandteile entsprechend der Linie *CA* nach *A* zu abnimmt, während die festen Bestandteile in ihrer Konzentration durch Abgabe von Karbid an die Schmelze ebenfalls entlang der Linie *EA* nach *A* zu abnehmen. Bei 1490° hat die Legierung die Liquiduslinie erreicht, und alles ist flüssig geworden.

Diese Veränderungen und Zustände treten nur ein, wenn die Legierungen zum Auswirken der Diffusionsvorgänge und zur Einstellung des Gleichgewichts genügend Zeit haben. Dies ist nicht der Fall, wenn man sie rasch abschreckt. Es treten dann zunächst Verzögerungen ein; die Mengenverhältnisse der abgeschiedenen Bestandteile verändern sich und entsprechen nicht mehr dem Gleichgewicht des Diagrammes. Es können sogar, bei entsprechend rascher Abkühlung, Umwandlungen, die dem Gleichgewicht entsprechen, völlig unterdrückt werden. Bei tiefen Temperaturen genügt die Beweglichkeit der Moleküle nicht, um ihrem Streben nach Gleichgewicht nachzugeben.

Diese Erscheinungen sind insbesondere für das Gebiet der festen Lösungen praktisch von großer Bedeutung, weil hier-

durch erst das Härten der Stahllegierungen ermöglicht wird. Gehärtete Stahlstücke entsprechen nicht dem Gleichgewicht, wie es durch das Gefügediagramm angezeigt wird. Es ist möglich, eine Legierung aus dem Gebiet der festen Lösung, das durch die Linien  $GOS$ ,  $SE$  und  $AE$  begrenzt wird, so schroff abzuschrecken, daß die Ferrit- oder Zementitausscheidungen, die entsprechend den Linien  $GOS$  und  $SE$  stattfinden sollten, und der Zerfall des Restes der festen Lösung in Perlit vollkommen unterdrückt wird. So wird die homogene feste Lösung auch bei Raumtemperatur erhalten. Als Gefügebestandteil ist sie nach dem englischen Forscher Roberts-Austen „Austenit“ genannt worden. Hier ist das Eisen auch bei dieser Temperatur noch im unmagnetischen  $\gamma$ -Zustand vorhanden.

Auch das schroffste Abschrecken geschieht bei reinen Eisen-Kohlenstoff-Legierungen nicht rasch genug, um den Zerfall völlig zu verhindern, ein Teil des Eisens wird schon umgewandelt oder die feste Lösung teilweise zerfallen sein. Die durch Abschrecken erhaltenen Gefügebestandteile kann man dem Gleichgewicht dadurch wieder nähern, daß man sie allmählich auf Temperaturen erhitzt, bei denen die Beweglichkeit der Moleküle eine größere geworden ist, so daß nachträglich weit unterhalb der eigentlichen Umwandlungslinie des Diagramms diejenigen Umsetzungen stattfinden, die bei normaler Abkühlung vorher hätten eintreten müssen. In der Praxis bezeichnet man derartige Vorgänge mit Anlassen. Durch das Anlassen werden die durch Abschrecken erhaltenen nicht sicheren, instabilen Gefügebestandteile, im äußersten Falle die homogene feste Lösung, dem Gleichgewichtszustand d. h. dem Ausscheiden von Ferrit und Zementit wieder genähert. Die hierbei auftretenden Gefügebilder sind so kennzeichnend, daß sie besondere Namen bekommen haben. Von Bedeutung für die Härtungsvorgänge sind Verschiebungen der Haltepunkte, die nicht dem Gleichgewichte entsprechen, die durch die rasche Abkühlung hervorgerufen worden sind. Nach dem Diagramm hat eine Legierung mit 0,89 vH C bei Abkühlung aus dem Gebiet der festen Lösung nur einen Haltepunkt  $S$ , bei dem sich die ganze feste Lösung in Perlit umwandelt. Erhöht man die Abkühlungsgeschwindigkeit, so sinkt Punkt  $Ar_1$  mit erhöhter Abkühlungsgeschwindigkeit zu tieferen Temperaturen. Gleichzeitig wird die Umwandlung des Austenits in Perlit eine immer un-

vollständigere. Im Gefügebild erscheinen die Bestandteile Sorbit<sup>1)</sup> und Troostit, in denen unter dem Mikroskop Ferrit- und Zementitbestandteile für sich nicht erkennbar sind. Den durch erhöhte Abkühlungsgeschwindigkeit entgegen dem Gleichgewicht erniedrigten Punkt  $A r_1$  bezeichnet man mit  $A r_1'$ . Abb. 113b u. c.

Außer  $A r_1'$  tritt bei tieferen Temperaturen, wenn die Abkühlungsgeschwindigkeit ein gewisses Maß erreicht hat, auf der Abkühlungskurve etwa bei  $300^0$  ein zweiter Knick auf, der für die Bildung eines weiteren nicht dem Gleichgewicht entsprechenden Gefügebestandteils



Abb. 113b. Sorbit mit feinlamellarem Perlit.<sup>2)</sup>

kennzeichnend ist. Die feste Lösung hat sich bei diesem Gefügebestandteil nur in ein mehr oder weniger feinnadeliges Gefüge verwandelt, das wahrscheinlich einer festen Lösung von Eisenkarbid in  $\alpha$ -Eisen entspricht und nach dem deutschen Forscher Martens als Martensit

bezeichnet wird. Diesen zweiten Umwandlungspunkt bezeichnet man mit dem Buchstaben  $A r_1''$ .

Bei noch größerer Abkühlungsgeschwindigkeit verschwindet  $A r_1'$  vollständig, es tritt nur  $A r_1''$  auf, das Gefüge besteht nach dem Abschrecken aus reinem Martensit.

Die Gefügebestandteile Martensit, Troostit und Sorbit entsprechen nicht dem Gleichgewichtszustand. Es stellt vielmehr Übergangsstufen der Umwandlung des reinen Austenits in den

<sup>1)</sup> Benannt nach den Forschern Sorby und Troost.

<sup>2)</sup> Aus P. Oberhoffer: „Das technische Eisen“. 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1925.

dem Gleichgewicht entsprechenden Perlit dar und zwar derart, daß sie in der angegebenen Reihenfolge mit abnehmender Abkühlungsgeschwindigkeit erscheinen.

Das Eisen-Zementit-Diagramm ist von Bedeutung zur Bestimmung der Temperaturen, bei denen eine Legierung bekannter Zusammensetzung erstarrt oder flüssig wird, vor allem für die gesamte Wärmebehandlung der Stähle. Mit den Auflösungen, Ausscheidungen und Umkristallisationen, wie sie entsprechend

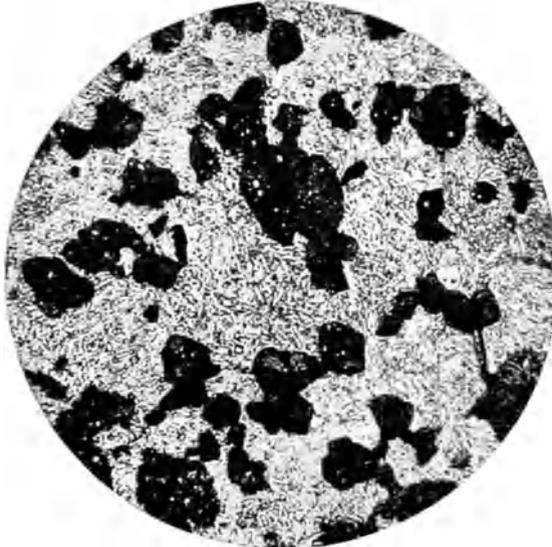


Abb. 113c. Troostit und Martensit.<sup>1)</sup>

den Linien des Diagrammes auftreten, ist gleichzeitig ein Mittel in die Hand gegeben, die für die Eigenschaften des Stahls wichtige Größenordnung der einzelnen Gefügebestandteile willkürlich zu ändern:

Bringt man eine Legierung durch Erhitzen in den flüssigen Zustand oder auch in das Gebiet der festen Lösung und kühlt sie dann ab, so werden sich bei verhältnismäßig rascher Abkühlungsgeschwindigkeit plötzlich sehr viele Kristallisationskerne finden; das Gefüge wird nach der Abkühlung entsprechend

<sup>1)</sup> Aus P. Oberhoffer: „Das technische Eisen“. 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1925.

feinkörnig sein, ohne Rücksicht auf den vorhergehenden Zustand. Wird die Überschreitung der Erstarrungs- oder Ausscheidungslinien verlangsamt, so bilden sich zunächst nur wenig Keime, die rasch wachsen und als Endergebnis zu einem grobkörnigen Aufbau führen, der natürlich wesentlich andere Eigenschaften zeigt.

Will man einem weichen Stahl ein in allen Teilen gleichmäßiges feines Gefüge verleihen, so braucht man ihn nur kurz oberhalb der Linie *GOS* zu glühen und rasch abzukühlen. Man bezeichnet dieses Glühen auch wohl als Normalglühen, muß aber stets die Temperatur angeben, bei der das Glühen erfolgt ist. Das Eisen-Zementit-Diagramm gibt für die verschiedenen Kohlenstoffgehalte die Temperaturen an, bei denen zweckmäßig das Härten erfolgt. Das Gefüge hat auch im Gebiet der festen Lösung das Bestreben, um so größer zu werden, je höher die Temperatur und je länger das Erhitzen andauert. Man wird zum Härten unlegierter, untereutektoider Stähle solche Temperaturen wählen, bei denen sich der betreffende Stahl gerade im Gebiet der festen Lösung befindet. Von hier aus soll er durch Abschrecken nicht nur die Härte, sondern vor allem ein genügend feinkörniges Gefüge bekommen.

In der geschilderten Form gilt das Eisen-Zementit-Diagramm nur für ganz reine Eisen-Kohlenstofflegierungen. Durch Anwesenheit anderer Bestandteile werden nicht nur die Diffusionsgeschwindigkeiten verändert, sondern auch, ganz ähnlich wie bei Anwendung größerer Abkühlungsgeschwindigkeiten, die Haltepunkte verschoben. Das Diagramm selbst behält aber bei normalen Mengen der gleichzeitig anwesenden Bestandteile stets die Form, die es für reine Eisen-Zementit-Legierungen hat, bei, so daß alle Schlüsse in etwa auch auf die Legierungen übertragen werden können. Man wird nur zweckmäßig vorher versuchsmäßig feststellen, um wieviel die Haltepunkte durch die Anwesenheit der vorhandenen Fremdkörper verschoben worden sind. Gewöhnlicher Kohlenstoffstahl wird den Schmelz- und Erstarrungspunkt durch Hinzufügen der für die meisten in den „Spezialstählen“ gebräuchlichen Legierungsbestandteile, wie: Silizium, Mangan, Nickel, Wolfram wesentlich erniedrigen und in demselben Maße die Lage der Haltepunkte erheblich verändern. In der Regel ist damit eine Erniedrigung der Haltepunkte

verbunden. Das gilt für die Abkühlung; bei der Erhitzung tritt die Umwandlung bisweilen in höheren Temperaturen als bei den Kohlenstoffstählen auf, z. B. im Schnellstahl.

In einem bestimmten Prozentgehalt erniedrigen Mangan und Nickel den Haltepunkt des Stahles in solchem Maße, daß er unter die gewöhnliche Temperatur fällt. Auch bei langsamer Abkühlung enthalten diese Stähle den Kohlenstoff in fester Lösung. Die Härte dieser Stähle wird durch den Zustand der festen Lösung des Kohlenstoffs oder des Karbids im Eisen bedingt, wie er durch das Härten in gewöhnlicher Temperatur festgehalten wird. Mangan- und Nickelstähle brauchen nicht gehärtet zu werden, um die überhaupt erreichbare größte Härte zu erhalten. Sie heißen „Selbsthärtende Stähle“.

Der durch Härtung erreichbare Härtezustand eines Stahles ist abhängig von der Kristallisationsgeschwindigkeit seiner Gefügebestandteile. Bei den Kohlenstoffstählen ist sie sehr groß. Das Gefüge, welches bei 800° C aus fester Lösung besteht, vermag sich innerhalb weniger Sekunden in ein Gemenge räumlich voneinander getrennter, deutlich kristallisierter Gefügebestandteile mit verschiedener chemischer Zusammensetzung umzuwandeln.

Bei den selbsthärtenden Stählen ist die Kristallisationsgeschwindigkeit der Gefügebestandteile so gering, daß die Zeit, die nötig wäre, um die Auskristallisation so vollkommen zu bewirken, wie es bei einer ausgeglühten Kohlenstoffstahlprobe der Fall ist, viel größer ist, als die Zeit, die zur Abkühlung der Stähle an der Luft bis zur gewöhnlichen Temperatur gebraucht wird. Alle selbsthärtenden Stähle, Selbsthärter genannt, bleiben, rotwarm gemacht und an der Luft erkalten gelassen, im Zustand der festen Lösung, also im Härtungszustand.

Wie früher erwähnt, werden dem flüssigen Stahlbade zur Erzielung bestimmter Eigenschaften des Stahles Zusätze gegeben. Diese Zusätze beeinflussen auch das Zustandsdiagramm der Eisen-Kohlenstoff-Legierung, so daß es notwendig erscheint, diesen Einfluß kennen zu lernen. Nach dem bereits erwähnten Mangan spielt das Chrom eine hervorragende Rolle. Es legiert sich mit dem Eisen in allen Verhältnissen und diese Legierungen bilden homogene Mischkristalle. Dann bilden Eisen und Chrom auch eine Verbindung, die der Legierung besondere Eigenschaften ver-

leiht. Denn die chemische Verwandtschaft zwischen Chrom und Kohlenstoff ist sehr groß. Sie ermöglicht es, daß Chrom noch mehr Kohlenstoff aufzulösen vermag als Mangan, die sich hierbei bildenden Eisenkarbide sind bei den höchsten Temperaturen beständig und zeigen starke Kristallisationsfähigkeit.

Die Erstarrungspunkte der Eisen-Chrom-Legierungen liegen zwischen  $1450^{\circ}\text{C}$  und  $1600^{\circ}\text{C}$ ; die Chromstähle zeichnen sich durch sehr hoch gelegene Umwandlungspunkte aus, d. h. also, daß durch einen Zusatz von Chrom die Umwandlungspunkte der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen in höhere Temperaturen getrieben werden.

Chrom steigert hauptsächlich die Härte der Stähle, weshalb Chromstähle sich in erster Linie für die Werkzeug- und Geschloßfabrikation eignen und hier unübertroffen sind.

Die allgemeine Anwendung des Molybdäns scheidert einmal an dem außerordentlich hohen Preise desselben und dann an dem Umstande, daß Molybdänstähle als unzuverlässig gelten, weil sie trotz vorsichtigster Behandlung an Sprödigkeit und Rissigkeit leiden.

Nach Untersuchungen von Lautsch und Tamman sinkt der Erstarrungspunkt der Eisen-Molybdän-Legierungen mit wachsendem Molybdängehalt, bei 40—50 vH Molybdän erreicht er den niedrigsten Wert von  $1300^{\circ}\text{C}$  bis  $1350^{\circ}\text{C}$ . Dabei ist die Wirkung des Molybdäns auf die Lage der Haltepunkte um so stärker, je höher die Stähle erhitzt werden.

Die Herstellung der Molybdänstähle erfolgt nur im Tiegel- oder Elektroofen.

**Wolfram** steigert im wesentlichen die Härte der Stähle und verfeinert das Korn, so daß es erheblich feiner als das der Kohlenstoffstähle ist. Über Wolframstähle liegen eine große Reihe Untersuchungen vor von Hadfield, Böhler, Swinden u. a., aus denen folgendes zu entnehmen ist.

Wolframstähle haben einen niedrigeren Schmelzpunkt als die gewöhnlichen Kohlenstoffstähle. Wolfram bewirkt eine wesentliche Erniedrigung des Haltepunktes, und zwar gilt als beobachtete Tatsache, daß je höher die Anfangstemperatur ist, desto niedriger die Haltepunkte liegen.

Das Kleingefüge gleicht bei geringen Wolframgehalten dem der Kohlenstoffstähle bei allerdings erheblich feinerem Korn. Das

Bruchaussehen ist insofern bemerkenswert, als bei einem Kohlenstoffgehalt über 1 vH und steigendem Wolframgehalte das Bruchkorn seidenartig wird.

Die Herstellung der Wolframstähle geschieht meist noch im Tiegelofen, doch kann jeder andere Ofen gebraucht werden, in dem das Material nach Zusatz des Ferrowolframs einer wenig oxydierenden Erhitzung ausgesetzt ist.

Das Anwendungsgebiet reiner Wolframstähle ist sehr groß, vornehmlich werden sie dort verwendet, wo man große Härte braucht, also in der Werkzeugfabrikation. In der Waffentechnik bilden sie ein vorzügliches Material für Gewehrläufe, die einen besonders hohen Widerstand gegen das Ausschießen besitzen.

**Vanadium, auch Vanadin** genannt, zeigt eine sehr starke Verwandtschaft zum Sauerstoff, vor allem eine ganz außerordentlich starke Verwandtschaft zum Kohlenstoff; infolge erstgenannter Eigenschaft wirkt es im Stahl desoxydierend und entgasend, dann dient es auch als härtesteigernder Zusatz zum Stahl und zwar in Mengen bis etwa 1 vH.

Die Herstellung der Vanadinstähle geschieht in der Weise, daß man Ferrovanadin dem bereits geschmolzenen Stahle vor oder unmittelbar beim Vergießen zugibt. Vanadinstähle sind außerordentlich dicht, ihr übriges Verhalten entspricht dem der Stähle ohne dieses.

Nach Untersuchungen von Vogel und Tammann sinkt der Schmelzpunkt der Legierungen mit wachsendem Vanadiningehalte. Eisen und Vanadin sind sowohl im festen wie im flüssigen Zustande vollkommen mischbar.

Verwendet werden in der Hauptsache Chromvanadinstähle, die sich durch hohe Elastizitätsgrenze und Bruchfestigkeit bei guten Dehnungen auszeichnen, zu Federn, Achsen, Wellen, Kuppelstangen, Zahnrädern u. a. m.

**Titan** besitzt eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff, weshalb es in den Stählen nur die Rolle eines vorzüglichen Desoxydations- und Entgasungsmittels spielt. Ein Überschuß des Metalles im Stahl bietet keine besondere Vorteile.

**Uranstähle und Tantalstähle** besitzen keinerlei technische Bedeutung.

**Nickel** besitzt eine sehr geringe Verwandtschaft zum Sauerstoff und zum Kohlenstoff. Nickelstahl ist daher aus ersterer

Eigenschaft nur in geringem Maße rostempfindlich, aus letztgenannter rührt seine Unmöglichkeit, ein Karbid zu bilden, weshalb Nickelstähle nur als Konstruktionsstähle eine allerdings ganz hervorragende Bedeutung besitzen. Ihre Erzeugung kann sowohl im Martinofen wie im Tiegelofen erfolgen.

Die verschiedenen Untersuchungen über die Umwandlungspunkte der Nickelstähle haben ergeben, daß der Beginn der Umwandlungszone mit wachsendem Nickelgehalte rasch sinkt. Was die Gefügebestandteile anbetrifft ist zu bemerken, daß infolge der geringen Verwandtschaft des Nickels zum Kohlenstoff dieses kein Karbid bildet. Es löst den Kohlenstoff im geschmolzenen Zustande wohl auf, scheidet ihn aber beim Erstarren in Form von Graphit wieder aus. Das in den Nickelstählen angetroffene Karbid ist reines Eisenkarbid.

## B. Der Schnellstahl.

Die Leistungsfähigkeit der bisher behandelten Stähle ist an gewisse Grenzen gebunden, die sich aus der Art ihrer Verwendung im Betriebe ergeben. In fast allen Fällen werden die „Edelstähle“ zu spanabhebenden Werkzeugen Verwendung finden. Bei der Spanabhebung vom Werkstück findet eine gewaltsame Trennung der Teile desselben in einem bestimmten, gewollten Sinne statt, wobei die aufgewandte Energie verbraucht wird:

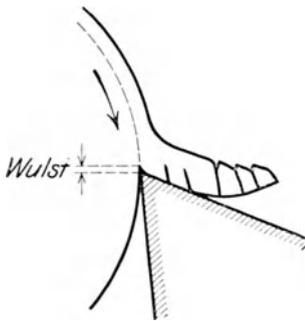


Abb. 114. Beispiel der Spanbildung.

1. Zur Stauchung des Spanes, s. Abb. 114, wodurch die latente feste Wärme des Stahles frei wird;

2. zur Trennung der Moleküle des Werkstückes oberhalb der Wulstschneide, die hier weiter nichts als den Bruch des Materiales bewirkt;

3. zur Überwindung der Reibung zwischen Schneidenwulst und Werkstück;

4. Zur Überwindung der Reibung zwischen Schneidenwulst und Span;

5. zur Überwindung der Reibung zwischen Span und Schneidenfläche.

5. zur Überwindung der Reibung zwischen Span und Schneidenfläche.

5. zur Überwindung der Reibung zwischen Span und Schneidenfläche.

Die letzten drei Punkte des Energieverbrauches sind von starken Wärmeentwicklungen begleitet, die um so größer sein müssen, je schneller die aufeinanderreibenden Flächen übereinander bewegt werden, d. h. je schneller die Schnittgeschwindigkeit ist.

Nun muß die entwickelte Wärmemenge abfließen können, wozu ihr drei Möglichkeiten gegeben sind: einmal das Werkstück, welches nur einen geringen Teil der entwickelten Wärme empfängt, der sich in der großen Masse des Werkstückes verteilt, ohne eine erhebliche Erhitzung desselben zu bewirken. Dann der Span, der aus seiner Reibung mit dem Schneidwulst sowie aus seiner Reibung mit der Schneidfläche des Werkzeuges — Drehstahl, Hobelstahl u. ä. m. — eine reichliche Wärmeentwicklung erhält. Namentlich letztere kann zur Erhitzung des Spanes bis über Blauwärme mitunter bis zur Farbhitze führen. Sie ist indes auch von untergeordneter Bedeutung, da sie durch den Span wieder abgeführt wird. Das Werkzeug endlich erhält aus allen drei vorgenannten Quellen eine sehr erhebliche Wärmezufuhr, deren unvollkommene Ableitung durch den Schaft und die umgebende Luft eine recht erhebliche Erwärmung der Schneidkante bewirkt, so daß sie weich daher unfähig wird, weiterzuschneiden.

Dieser Umstand setzt der Verwendung der Kohlenstoffstähle Grenzen, indem Schnittgeschwindigkeiten vollkommen ausgeschlossen sind, bei denen die Schneidkante wesentlich über 200° C erhitzt wird. Diese Schnittgeschwindigkeit beträgt 8 bis 10 m/Min. Die ersten verbesserten Werkzeugstähle und Schnellstähle kamen etwa i. J. 1868 auf, erfunden von dem Direktor der Titanic Steel Co. in Sheffield, Mushet. Die planmäßige Entwicklung dieses Mushet-Spezialstahles ist durch Taylor und White ungemein gefördert worden; Taylor selbst kennzeichnet die aufeinanderfolgenden Zeitalter der verschiedenen Werkzeugstähle folgendermaßen:

Tabelle 10.

Zeitabschnitt	C	Si	Mn	Cr	W	Va
Kohlenstoffzahl bis 1894 . . . .	1,05	0,21	0,20	0,20	—	—
Mushetstahl bis 1900. . . . .	2,15	1,04	1,58	0,40	5,44	—
Erster Schnellstahl. . . . .	1,85	0,15	0,30	3,80	8,00	—
Schnellstahl 1906 . . . . .	0,67	0,04	0,11	5,47	18,91	0,29

Die vorzüglichen Eigenschaften des Schnellstahles wurden bald erkannt und infolgedessen der Markt mit einer Hochflut desselben überschwemmt.

Die Zusammensetzung der Schnellstähle hat verschiedene Wandlungen durchgemacht, Taylor selbst macht folgende Angaben: Hoher Mangengehalt ist wegen der geringen Schmiedbarkeit fehlerhaft, Silizium setzt die Schnittgeschwindigkeit herab; Vanadin dient nur als gutes Reinigungsmittel des geschmolzenen Stahles; Molybdän gilt als Ersatz für Wolfram, wirkt doppelt so stark wie dieses und die damit hergestellten Stähle besitzen geringere Schmiedbarkeit und größere Sprödigkeit.

Über die praktische Leistung der Schnellstähle macht Taylor für eine praktische Schneidarbeit von  $1\frac{1}{2}$  Stunden bis zum Wiederanschleifen folgende Angaben:

Tabelle 11.

Material	Spantiefe mm	Vorschub mm	Schnitt- geschwindigkeit m/Min.
Stahl bis 50 kg Festigkeit . . .	10	2	30—40
Stahl mit 50—70 kg Festigkeit .	5	2	20—30
Stahl mit über 70 kg Festigkeit .	5	1,5	10—20
Grauguß . . . . .	5	1,5	15—25
Hartguß . . . . .	1	0,5	1—2

Die Hauptbestandteile der Schnellstähle sind außer Eisen und Kohlenstoff: Chrom, Wolfram und Molybdän. Chrom übt eine erhöhende, Molybdän und Wolfram eine stark erniedrigende Wirkung auf die Lage der Umwandlungspunkte des Stahles aus.

Jeder Stahlblock wird, bevor er zu Werkzeug- oder Konstruktionsstählen ausgeschmiedet oder ausgewalzt wird, von den seiner Oberfläche anhaftenden Unreinigkeiten, durch Ausmeißeln mit Luftdruckhämmern oder Abdrehen des ganzen Blockes, befreit. Nach dem Schmieden oder Walzen wird der Stahl geglüht. Durch das Glühen sollen die Spannungen beseitigt werden. Auch kaltbearbeiteter Stahl muß zur Beseitigung der durch die Kaltbearbeitung verursachten Gefügeveränderungen auf etwa  $900^{\circ}\text{C}$  erhitzt und dann langsam erkalten gelassen werden. In nachstehender Tabelle sind die Bearbeitungszugaben für Rundstahl, bezogen auf den Durchmesser enthalten:

Tabelle 12.

Bearbeitungszugaben für Rundstahl, auf den Durchmesser bezogen			
bei gewalztem Rundstahl		bei geschmiedetem Rundstahl	
Stabdurchmesser mm	Bearbeitungszugabe mm	Stabdurchmesser mm	Bearbeitungszugabe mm
5— 20	2	5— 10	2
21— 40	3	11— 18	3
41— 80	4	19— 30	4
81—120	5	31— 45	5
120—150	7	46— 60	6
		61—120	7
		121—150	8
		151—200	10

Bei Vierkant-, Flach- und Profilstahl, sowie bei allseits geschmiedeten Scheiben sinngemäße Anwendung der für Rundstahl angegebenen Zugaben.

**Das Glühen** besteht im Erhitzen des Stahles auf Temperaturen oberhalb seiner Umwandlungstemperatur und darauffolgender langsamer Abkühlung. Bei Erwärmung auf nur 600 bis 700° C wird der Stahl sehr spröde; das Kleingefüge des falsch geglühten Werkstückes zeigt sehr grobe Kristallisation. Das Glühen geschieht in gut verschlossenen Muffelöfen oder in elektrisch geheizten Öfen. Ist keine dieser Ofenarten zur Verfügung, so packt man das Werkstück in Holzkohlenpulver ein. Nach dem Glühen läßt man langsam und gleichmäßig am besten im Ofen bzw. Einsatz erkalten.

Die mikroskopischen Studien des inneren Aufbaues der Schnellstähle ergeben das Zusammentreffen der Umwandlung der Schnellstähle mit dem Auskristallisieren bzw. der Lösung der im Stahle vorhandenen Karbide. Im allgemeinen hat Schnellstahl zwei Umwandlungspunkte, und zwar einen oberen bei etwa 740° C und einen unteren bei etwa 400° C.

Nach diesen einleitenden Bemerkungen soll nunmehr zur Wärmebehandlung der Stähle selbst übergegangen werden. Sie besteht aus

- A. dem Glühen,
- B. dem Härten,
- C. dem Anlassen.
- D. dem Vergüten.

## 1. Das Glühen.

a) **Kohlenstoffstahl.** Der Verlauf des Glühvorganges stellt sich als Temperaturzeitkurve in Abb. 115 nach der Linie *abcdefg* dar. Durch die beiden Graden *mn* und *op* ist die Umwandlungszone für den Stahl schematisch gegeben. Das Erhitzen kann ziemlich rasch erfolgen, bei *b* beginnt die Umwandlung, vorhandener Perlit geht in Martensit über, zwischen *b* und *c* löst der aus dem Perlit gebildete Martensit den vorhandenen Ferrit oder

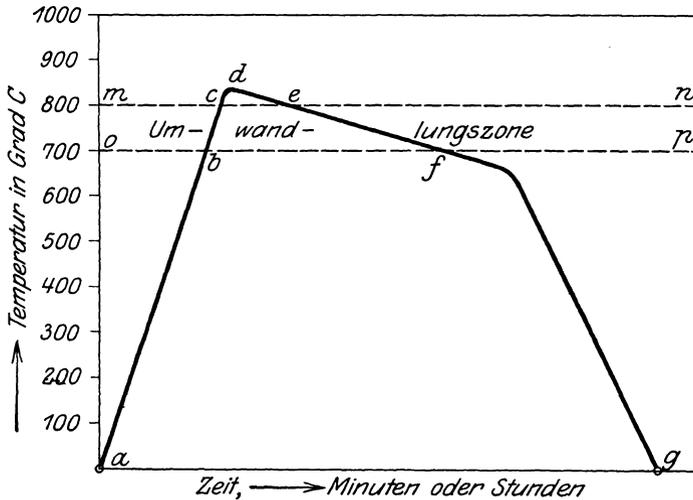


Abb. 115. Temperaturzeitkurve des Glühvorganges.

Zementit auf, die höchste Glühtemperatur ist bei *d* erreicht, wo nur Martensit vorhanden ist. Je nachdem ob man feines oder gröberes Korn wünscht, läßt man nach mehr oder weniger langer Glühdauer wieder erkalten, wobei zu beachten ist, daß die Abkühlung innerhalb der Umwandlungszone recht langsam zu erfolgen hat. Bei *e* beginnt die Absonderung des Ferrits oder Zementits aus dem Martensit, die bei *f* beendet ist, hier findet der Zerfall des eutektischen Martensits in Perlit statt. Etwa 50 bis 100° C unterhalb der Umwandlungszone kann die weitere Abkühlung rasch erfolgen.

b) **Manganstahl.** Manganstahl besitzt geringes Wärmeleitvermögen, ist also sehr vorsichtig zu erhitzen.

c) **Chromstahl.** Wie schon erwähnt, zeichnen sich die Chrom-

stähle durch sehr hoch gelegene Umwandlungspunkte aus, so daß sie bei einer höheren Temperatur geschmiedet werden müssen als Kohlenstoffstähle. Wird hierbei die kritische Zone unterschritten, so muß das Glühen stärker und länger andauern als bei Kohlenstoffstählen. Durch das Glühen wird die Kristallisation des Karbids und damit ein Weicherwerden der Chromstähle bewirkt.

Infolge des geringen Wärmeleitvermögens sind **Chromstähle** bei jeder Wärmebehandlung **vorsichtig zu erhitzen**.

**d) Wolframstahl.** Nach Guillet ist der Einfluß der Wärmebehandlung auf Wolframstahl ähnlich dem auf Kohlenstoffstahl. Jedoch ist er, infolge des sehr geringen Wärmeleitvermögens, sehr vorsichtig vorzuwärmen, um Spannungsrisse zu vermeiden.

**e) Nickelstahl.** Die Wärmebehandlung der Nickelstähle ist gleich derjenigen der Kohlenstoffstähle, wenn ihre Kohlenstoffumwandlung wie diese vor sich geht. Sollen Nickelstähle mit höherem Nickelgehalt als 3 vH weich erhalten werden, so sind sie bei einer Temperatur von 400° bis 600° C zu glühen, d. h. die Temperatur muß unterhalb des Umwandlungspunktes bleiben. Diese ist also in jedem Falle vorher genau zu ermitteln.

**f) Schnellstahl.** Es ist vorteilhaft, wenn Schnellstahl bei der Fertigstellung im Stahlwerk geglüht wird, weil hierbei schon eine möglicherweise fehlerhafte Vorbehandlung beim Schmieden und Walzen oder der metallurgischen Herstellung bemerkt wird und der Stahl im Werk zurückgehalten werden kann. Der Besteller ist ja auch in vielen Fällen nicht in der Lage, den Stahl richtig auszuglühen. Die Glühtemperatur kann zwischen 700° und 800° C, d. h. unterhalb der Umwandlungstemperatur beim Erhitzen liegen, das Abkühlen kann langsam erfolgen. Zweckmäßig ist es, den Stahl — je nach Größe der zu glühenden Stücke — in 2 bis 6 Stunden von der erreichten höchsten Glühtemperatur von 800° bis 900° C auf etwa 500° C abzukühlen, weil die Kristallisationsgeschwindigkeit der Gefügebestandteile sehr gering ist. Empfehlenswert ist es auch, die zu glühenden Stähle in einer Muffel auf 800° C oder etwas höher zu erhitzen und den Ofen mit dem Inhalte erkalten zu lassen, was 12 bis 18 Stunden erfordert.

## 2. Das Härten des Stahles.

Ganz allgemein gesagt besteht es in dem Erhitzen des Stahles auf Temperaturen oberhalb seiner Umwandlungs-

temperatur, also bis über den oberen Haltepunkt  $A_{c_3}$ , und darauffolgender Abkühlung, die bewirkt, daß eine Umwandlung des Stahles verhindert wird. Das Gefüge vor dem Härten ist somit ein anderes als nachher. Besteht das Gefüge der meisten Stähle vor dem Härten aus Ferrit und Karbid, so geht es durch das Härten in das der festen Lösung über. Abb. 116 zeigt in graphischer Darstellung das Härten eines Kohlenstoffstahles, die Gradn  $mn$  und  $op$  Anfang und Ende der Umwandlungszonen desselben.

Der Beginn des Erhitzens von gewöhnlicher Temperatur aus

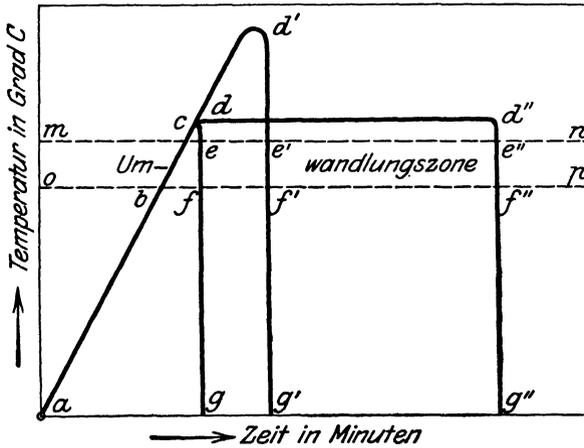


Abb. 116. Graphische Darstellung des Härten eines Kohlenstoffstahles.

erfolgt in Punkt  $a$ , bei  $b$  ist die Umwandlungszone erreicht, wo entsprechend der eutektischen Temperatur  $HJ$ , Abb. 113, der vorhandene Perlit in Martensit umgewandelt und bei weiterem Erhitzen der überschüssige Ferrit oder Zementit aufgelöst wird, was bei  $c$  beendet ist.

Wenn auch jetzt der Stahl abgeschreckt werden könnte, weil die homogene feste Lösung des Martensits erreicht ist und nur dieser Zustand festgehalten zu werden braucht, muß man doch mit der Härtetemperatur etwas über das Ende der Umwandlungstemperatur hinausgehen, um die volle Härte zu erreichen. Bei  $d$  erfolgt das Abschrecken, es ist durch die senkrechte Linie  $dejg$  dargestellt. Den höchsten Grad von Härte,

sogenannte Glashärte, erlangt man durch sehr rasches Abkühlen in einem Mittel, das die Wärme gut und rasch abführt. Dies ist im allgemeinen Wasser. Andere Abschreckmittel, wie Öl, Quecksilber, Salzwasser u. dgl. m., leiten infolge ihrer geringeren Verdampfungswärme die Wärme langsamer ab, vermögen deshalb dem Werkzeug keine so große Härte zu geben wie Wasser. Sie finden daher dort Anwendung, wo diese Eigenschaften erwünscht sind.

Abb. 116 zeigt aber noch den Vorgang der überhitzten Härtung in zweierlei Weise. Einmal kann sie durch zu hohe Härtetemperatur erfolgen, deren Verlauf dargestellt ist durch den Linienzug  $abcd'e'f'g'$ , oder aber durch zu langes Erhitzen des Stahles auf richtiger Härtetemperatur wie die Kurve  $abcd''e''f''g''$  zeigt. In beiden Fällen hat der Stahl oberhalb der Umwandlungszone Gelegenheit zu starker Kristallisation.

In der Regel wird die für die einzelnen Werkstücke geforderte Stahlsorte den betreffenden Werkstätten von den hierfür zuständigen Stellen bzw. technischen Bureaus vorgeschrieben. Es wird hierbei die genaue Zusammensetzung der jeweils gewünschten Stahlart angegeben, ob Kohlenstoff-, legierte- oder Schnellstähle.

Auch die Glüh- bzw. Härte- und die Anlaßtemperatur wird genau vorgeschrieben. Nachstehende Tabellen geben die Temperaturen der einzelnen Glüh- und Anlaßfarben an. Beide sind im Dunkeln zu beobachten. Sind Temperaturmeßgeräte vorhanden, so sind die genauen Härte- bzw. Anlaßtemperaturen anzugeben und unbedingt einzuhalten.

Tabelle 13.

Glühfarben	Wärmegrade °C
Schwarzbraunglut . . . . .	550— 580
Braunrotglut . . . . .	580— 650
Dunkle Rotglut . . . . .	650— 730
Dunkle Kirschrotglut . . . . .	730— 770
Kirschrotglut . . . . .	770— 800
Helle Kirschrotglut . . . . .	800— 830
Helle Rotglut . . . . .	830— 900
Beginnende Gelbrotglut . . . . .	900— 950
Gelbrotglut . . . . .	950—1050
Dunkle Gelbglut . . . . .	1050—1100
Helle Gelbglut . . . . .	1100—1200
Dunkle Weißglut . . . . .	1200—1250
Helle Weißglut . . . . .	1250—1300

a) **Kohlenstoffstahl.** Steigt der Kohlenstoffgehalt des Stahles, so wächst damit der Karbidgehalt und mit diesem die Härte.

b) **Manganstahl.** Er verhält sich wie Kohlenstoffstahl. Die größte Härte zeigt Manganstahl mit 5 bis 6 vH Mangangehalt,

c) **Chromstahl.** Die Härtetemperatur für Werkzeuge liegt höher als diejenige der Kohlenstoffstähle. Als Abschreckmittel verwendet man zweckmäßig nur Öl, da gehärtete Chromstähle leicht zur Bildung von Spannungsrisen neigen.

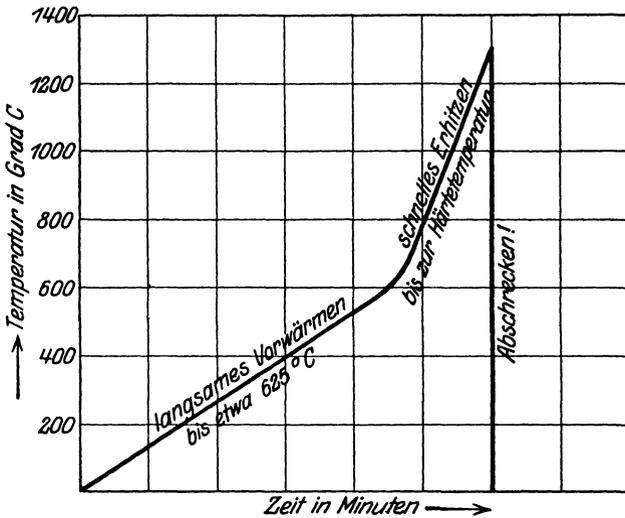


Abb. 117. Diagramm zum Härten von Schnellstahl.

d) **Molybdänstahl.** Durch das Härten verändert sich das Kleingefüge ähnlich dem der Kohlenstoffstähle.

e) **Wolframstahl.** Die Wirkung des Härten ist hier stärker als bei Kohlenstoffstählen. Steigt die Abschrecktemperatur nur  $20^{\circ}$  bis  $30^{\circ}$  C über die richtige Härtetemperatur, so nimmt die Härte ab.

f) **Vanadinstahl.** Eine Zunahme der Härte mit wachsendem Vanadinegehalt erfolgt so lange, wie der Kohlenstoff nur in Form von Perlit vorhanden ist; tritt Karbid auf, so nimmt die Härte ab.

g) **Nickelstahl.** Hier kann das Härten nur dann erfolgreich

sein, wenn der Stahl bis oberhalb seines Umwandlungspunktes für Erwärmen erhitzt wird.

**h) Schnellstahl** (Abb. 117) Die von Taylor seinerzeit angegebenen Vorschriften haben heute nur für Dreh- und Hobelstähle Gültigkeit. In dem Diagramm Abb. 117 sind sie sehr klar zum Ausdruck gebracht. Der Stahl soll langsam bis Kirschrotglut, etwa 625° C, von da ab rasch bis nahe an den Schmelzpunkt erhitzt werden, danach folgt rasches Abkühlen bis etwa 625° C, dann rasches oder langsames Abkühlen bis auf Lufttemperatur.

Für alle anderen Werkzeuge sind Abweichungen geboten, die sich nach dem Verwendungszweck der Werkzeuge, nach den Materialeigenschaften des zu bearbeitenden Werkstückes richten.

Tabelle 14. Härtetemperaturen:

Gewindebohrer, Reibahlen, Spiralbohrer in mittleren Stärken	900— 950°
dieselben Werkzeuge in größeren Stärken . . . . .	950—1000°
Fräser, Schnitte . . . . .	1000—1100°
Stempel . . . . .	1100—1200°
Drehmesser. . . . .	1300°

3. Das Anlassen.

Das Anlassen wird zur Herabminderung der Sprödigkeit des Stahles vorgenommen. Es besteht in dem Erhitzen gehärteten Stahles auf Temperaturen unterhalb seiner Umwandlungstemperatur für Erwärmen mit darauffolgender Abkühlung. Hierdurch erfährt der Stahl teilweise die Rückumwandlung, die durch das Abschrecken beim Härten unterdrückt wurde; er erhält ein Gefüge anderer Art als das durch das Härten geschaffene.

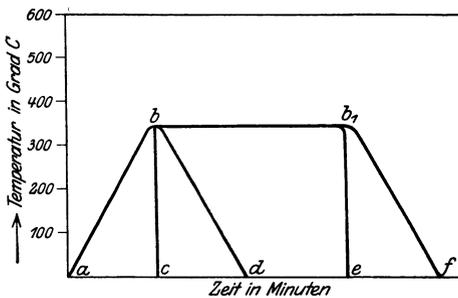


Abb. 118.

Den Verlauf des Anlassens zeigt Abb. 118. Bei *a* Beginn des Erwärmens, *b* höchste Anlaßtemperatur, Abschrecken nach *bc* oder *b1e* bzw. Abkühlen nach *bd* oder *b1f*.

Die Ausführung des Anlassens kann verschieden gehandhabt

werden. Es ist im Abschnitt XI. bei jedem der an dieser Stelle angegebenen Werkzeuge angegeben.



Abb. 119. Blaubrenner.

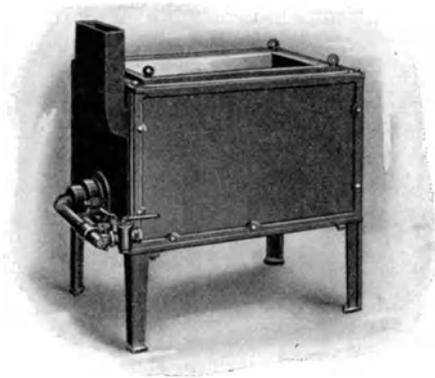


Abb. 120 Anlaßofen mit Gasfeuerung von Schuchard & Schütte.

Abb. 119 zeigt den zum Anlassen geeigneten Gasbrenner — sogenannten Blaubrenner — weil die nicht leuchtende, also blau brennende Flamme benutzt wird.

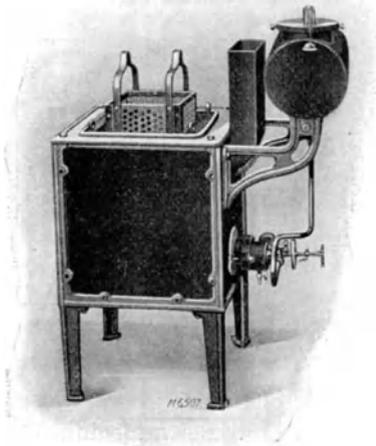


Abb. 121. Anlaßofen für Ölfeuerung.

Ein vielfach zum Anlassen benutzter Gas-Tiegel-Anlaßofen ist in Abb. 120 u. 121 dargestellt. Als Anlaßflüssigkeit dient ein Öl-, Talg- oder Salpeterbad. Geeignete Ölsorten können ohne Entflammungsgefahr bis auf etwa  $330^{\circ}\text{C}$  erhitzt werden. Zur Temperaturmessung dient ein Thermometer.

Zum Anlassen im Sandbade wird trockener Sand verwendet, der in einem Blechkasten erwärmt wird.

Die den jeweiligen Anlaßfarben entsprechenden Temperaturen sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 15.

Anlaßfarben	Wärmegrade ° C
Keine Farbe . . . . .	bis 200
Weißgelb . . . . .	200—215
Lichtgelb oder Strohgelb . . . . .	225
Gelb . . . . .	230
Dunkelgelb . . . . .	240
Braun . . . . .	250—260
Rot oder Pupurrot . . . . .	275
Violett . . . . .	290
Dunkelblau . . . . .	300
Kornblumenblau . . . . .	310
Lichtblau oder Hellblau . . . . .	315—330
Grau . . . . .	340

## XI. Das Härten verschiedener Werkzeuge.

Stähle zum Abdrehen von Hartgußwalzen.

**Stahlsorte** sehr hart oder Wolframstahl.

**Ausführung:** Feuerbehandlung. Sie erfolgt wie bei Drehstählen. Das Anwärmen zum Härten geschieht in der Muffel. Man kann auch ein mit Holzkohle gefülltes Stück Gasrohr, in das der Stahl eingepackt, und welches an beiden Enden mit Lehm luftdicht verschlossen ist, verwenden. Der eingepackte Stahl wird im Schmiedefeuer langsam erwärmt. Ist das Rohr außen gut hellwarm, fast weißwarm, bleibt es noch kurze Zeit in der Hitze, der Stahl wird danach dunkelrot warm sein.

**Abschrecken.** Es geschieht in mit Säure oder Salzlauge vorbereitetem Wasser. Die Mischung ist auf Seite 103 u. ff. angegeben.

**Anlassen.** Der abgekühlte Meißel wird im warmen Sandbade hellgelb angelassen, im Wasser abgeschreckt. In gleicher Weise verfährt man mit profilierten Walzendrehmeißeln.

Zentrubohrer, Kanonenbohrer, Bohrmesser.

**Stahlsorte** hart, mittelhart; Wolframstahl; für Bohrmesser auch Schnellaufstahl.

**Ausführung:** Feuerbehandlung. Die drei ersten Stahlsorten werden zum Schmieden im gut durchgebrannten Kohlen- oder Holzkohlenfeuer dunkelrot warm gemacht; Anstauchen des Stahles ist zu vermeiden. Nach dem Schmieden sind Zentrubohrer, Kanonenbohrer oder Bohrmesser zu glühen, um die

Spannungen zu entfernen, wodurch Rißbildungen beim späteren Härten vermieden werden.

**Härten.** Bis zur Dunkelrotglut erwärmen; in Wasser von etwa 20° C abschrecken unter lebhaftem Hin- und Herbewegen.

**Anlassen.** Zentrubohrer können mit ihrer eigenen Wärme im Sandbade oder auf glühenden Eisenplatten angelassen werden. Anlaßfarbe hellgelb.

Bohrmesser werden beim Anlassen mit dem Rücken auf ein glühendes Eisenstück oder in das Sandbad, Schneide nach oben, gestellt. Der Rücken bleibt hierdurch etwas weicher, es läßt sich im Halter besser festkeilen.

Bohrmesser aus Schnellstahl werden hellrot warm gemacht, dann in Petroleum oder mit Rüböl vermischem Talg abgekühlt; Anlassen ist nicht nötig.

Spiralbohrer werden im allgemeinen nicht selbst angefertigt. Stahlsorte mittelhart oder extra zähhart. Stahl auf Länge warm abhauen, im Kasten in Holzkohle gut glühen. Nach dem Drehen und Fräsen werden sie mit Holzkohlen wie vorher in einen Kasten eingepackt und im Glühofen erwärmt. Steht ein Salzbad-Härteofen zur Verfügung, so werden sie einzeln in das Salzbad gehängt. Sind nur hie und da einzelne Spiralbohrer zu härten, so packt man sie mit Holzkohlenpulver in ein Stück Gasrohr,

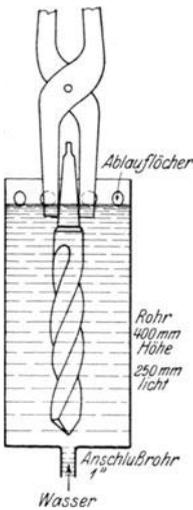


Abb. 122. Abkühlen eines Spiralbohrers.

das mit Lehm gut verschlossen wird; die Erwärmung geschieht wie vorstehend angegeben.

Das Abschrecken erfolgt in Salzwasser oder in Sodawasser, wobei die Bohrer senkrecht in die Härteflüssigkeit einzutauchen, dabei auf und ab zu bewegen und zu drehen sind. Einfacher ist eine Vorrichtung, bei der die Flüssigkeit durch eine kleine Pumpe ständig in Bewegung gehalten wird; die Bohrer werden dann mit der Zange eingehängt (Abb. 122).

**Anlassen.** Das Anlassen geschieht im Sandbade. Anlaßfarbe dunkelgelb.

Spiralbohrer aus Schnellstahl werden mit Holzkohlenpulver in den Kasten gepackt und hellrotwarm erhitzt.

Das Abschrecken geschieht in Petroleum oder Rüböl.

Bei Selbstanfertigung der Spiralbohrer ist zweckmäßigerweise der Durchmesser des Bohrers etwas größer als verlangt zu nehmen, um bei etwaigem Verziehen beim Härten dieses durch Schleifen auf der Rundschleifmaschine ausgleichen zu können.

#### Gewindebohrer. (Abb. 123.)

**Stahlsorte** mittelhart, extra zähhart oder Wolframstahl. Die Bohrer sind auf die entsprechende Länge von der Stange warm abzuheben, oder kalt abzusägen. Danach sind die Stücke gut auszuglühen, was besonders bei langen Gewindebohrern für Stehbolzen u. dgl. nötig ist. Nach dem ersten Drehspan, Schrubspan, sind die Stücke nochmals sorgfältig zu glühen, erst dann ist fertig zu drehen, das Gewinde zu schneiden und die Nut einzufräsen.

**Feuerbehandlung.** Bei kleiner gleichzeitig zu härtender Zahl der Gewindebohrer packt man sie mit Holzkohlenpulver in ein Stück Rohr, das beiderseits gut verschlossen wird, und erhitzt dies im Schmiedefeuer rotwarm. Besser ist ein Salzbad-Härteofen, wo die Bohrer in das Salzbad eingetaucht und erwärmt werden.

**Abschrecken.** Die Bohrer werden senkrecht in Wasser von 20° C, oder in Wasser, auf dem eine Ölschicht sich befindet, bis über den letzten Gewindegang eingeführt und abgekühlt.

**Anlassen.** Man läßt im Sandbade oder am „Blaubrenner“, Gasbrenner, an.

Das Vierkant für das Windeisen ist auszuglühen, das im Bleibade — geschmolzenes Blei im Bleilöffel — geschehen kann.

#### Gewindebacken oder Schneidbacken.

**Stahlsorte** wie bei Gewindebohrern.

Der Stahl wird in der erforderlichen Breite und Stärke warm abgehauen, kalt abgesägt oder auf der Hobelmaschine abgeschnitten; dann werden sie fertig bearbeitet und das Gewinde eingeschnitten.

Das Härten erfolgt wie bei den Gewindebohrern.



Abb. 123.  
Gewindebohrer.

**Anlassen.** Man legt die Backen auf eine hellrot-warme Eisenplatte, in ein Sandbad oder läßt im Blaubrenner an.

Das Anlassen selbst geschieht vom Rücken aus. Die Anlaßfarbe richtet sich nach der verwendeten Stahlsorte; von den Schneidzähnen soll sie langsam strohgelb bis dunkelgelb werden.

**Fräser.** (Abb. 124 u. 125.)

**Stahlsorte** hart oder mittelhart; für die Holzbearbeitung extra zähhart.

Kleinere Fräser werden von der Stange abgesägt oder auf der Bank abgestochen, größere ausgeschmiedet. Beim Abschmie-

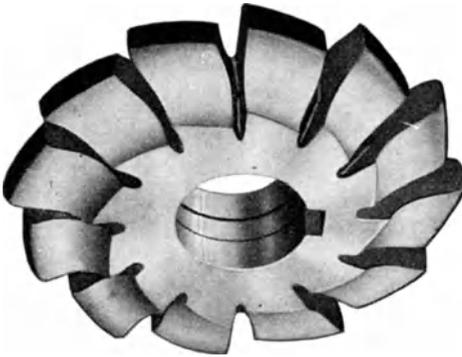


Abb. 124. Gewindefräser.

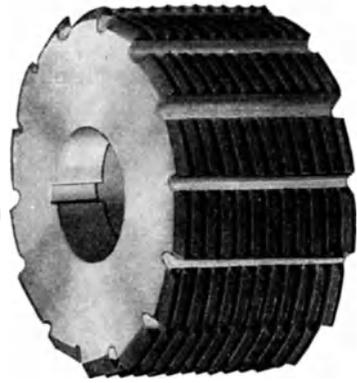


Abb. 125. Fräser.

den ist reichlich Material zur Bearbeitung zuzugeben, weil durch das Schmieden die äußeren Ränder sehr leiden und sonst leicht Härterisse entstehen. Nach dem Schmieden ist das Werkstück möglichst unter Luftabschluß auszuglühen.

**Feuerbehandlung.** Kleine Fräser werden, falls Härteöfen vorhanden sind, mit Holzkohlenpulver in einen Kasten gepackt und erwärmt, bei Salzbad-Härteöfen im Bad erhitzt.

Im gewöhnlichen Schmiedefeuere geschieht das Erhitzen in der Weise, daß man ein auf einer Seite zugeschlagenes Stück Rohr einbaut (siehe Abb. 33). Für größere Fräser hilft man sich in der Weise, daß man ein gutes Feuer macht, legt darauf eine dicke Eisenplatte, die man mit Ziegeln umstellt, und deckt durch ein Blech oben ab. In diesen selbstgebauten Ofen bringt man Holzkohle, legt den Fräser darauf, der ungleichmäßig er-

wärmt werden kann und gleichzeitig vor dem Gebläsewind geschützt ist, wodurch die Ränder nicht leiden.

Man erhitzt auf Dunkelrotglut, etwa  $750^{\circ}\text{C}$ .

**Abschrecken.** Bei kleinen und bei größeren Fräsern verwendet man unterbrochene Härtung, d. h. sie werden im Wasserbade unter Auf- und Abbewegen so lange abgeschreckt, bis das Zischen aufhört bzw. bis der rotwarme Fräser schwarz geworden ist, dann

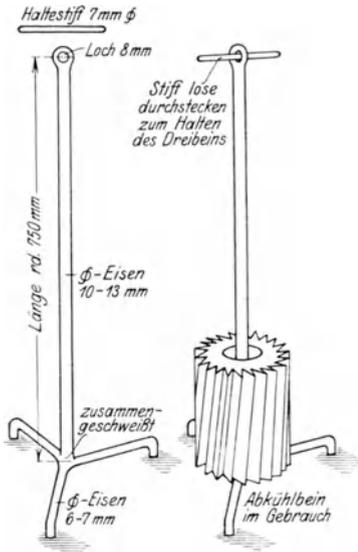


Abb. 126. Dreibein zum Abkühlen von Fräsern.

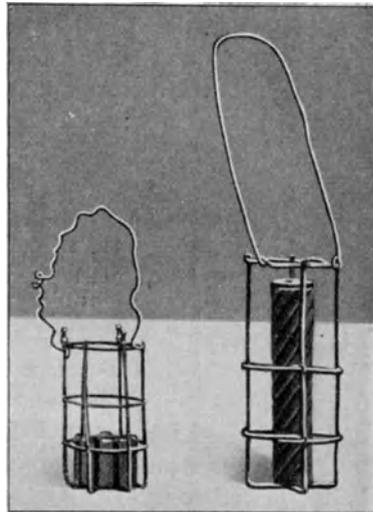


Abb. 127. Drahtkörbe zum Abkühlen von Fräsern.

werden sie ins Ölbad gebracht, worin sie vollständig erkalten. Zum richtigen Halten und Einführen in die Härteflüssigkeit sind Körbe aus Draht, die man sich leicht selbst zurechtbiegen kann, oder ein sogenanntes Dreibein (Abb. 126), zu empfehlen. Hält man den Fräser mit der Zange, so kann an der Stelle, wo die Zange faßt, der Fräser möglicherweise keine genügende Härtung erfahren (Abb. 167).

Bei dieser unterbrochenen Härtung ist kein Anlassen nötig.

Beim direkten Härten der Fräser in Wasser liegt die Gefahr des Verziehens und Reißens nahe. Das Erwärmen erfolgt wie vorstehend beschrieben und in derselben Weise, dann wird

in Wasser oder Salzwasser von etwa 18<sup>0</sup> bis 20<sup>0</sup> C unter lebhaftem Hin- und Herbewegen vollständig abgekühlt. Dabei soll das Werkstück bis zum völligen Erkalten frei im Wasser hängen, darf also nicht auf dem Boden des Härtebades liegen. Das Anlassen geschieht im Sandbade oder auf gut hellrotwarm gemachtem Dorn.

Lange Fräser oder solche von komplizierter Form sind, um die Gefahr der Bildung von Härterissen zu vermeiden, aus mehreren Teilen zusammenzusetzen.

**Hohlfräser.** Das Abkühlen erfolgt durch einen kräftigen Wasserstrahl aus einer Leitung oder durch Wasserguß aus einer Kanne.

**Holzfräser.** Die Abkühlung geschieht in Petroleum. Öl, Fischtran oder Talg; auch ein Gemisch dieser Stoffe kann man verwenden, jedoch muß für reichliche Menge der Kühlflüssigkeit gesorgt sein, um sie dauernd auf der richtigen Kühltemperatur zu halten. Es wird hier vielfach an der unrechten Stelle gespart und damit natürlich keine genügende Abkühlung erreicht.

Holzfräser kann man auch in einem Metallbade, bestehend aus 5 Teilen Zink, 10 Teilen Blei und 3 Teilen Zinn abkühlen. Die Fräser sind, wie oben angegeben, zu erwärmen und dann in das geschmolzene Metall einzutauchen; nach einiger Zeit werden sie herausgenommen und in Wasser unter lebhaftem Hin- und Herbewegen vollständig abgekühlt.

**Fräser zur Bearbeitung von Horn.** Sie werden aus so hartem Stahle gefertigt, daß ein Härten nicht notwendig ist.

#### Rohrfräser und Rohrschneider.

**Stahlsorte** mittelhart, extra zähhart.

**Feuerbehandlung.** Das Anwärmen geschieht in gut durchgebranntem Kohlen- oder Holzkohlenfeuer. Sowohl bei Innen- wie bei Außenfräsern ist besondere Sorgfalt auf das Erwärmen zu legen, damit die Fräser weder an der Spitze noch an den eingefrästen Schneidekanten nicht zu warm werden; am besten erhitzt man sie in der eingebauten Rohrmuffel.

**Abkühlen.** Der Innenfräser wird wie ein Hand- oder Drehmeißel abgekühlt und aus seiner eigenen Wärme hellgelb angelassen.

Der Außenfräser wird durch einen Wasserstrahl oder Guß aus einer Kanne genau in die Höhlung des Fräasers hinein ganz abgekühlt.

**Anlassen.** Man legt den Fräser auf eine hellrotwarmer Eisenplatte, in ein Sandbad oder läßt im Blaubrenner an. Anlaßfarbe hell- bis dunkelgelb.

#### Reibahlen.

**Stahlsorte** mittelhart oder extra zähhart.

Das Werkstück ist in den erforderlichen Abmessungen von der Stange warm abzuhauen oder kalt abzusägen, worauf es sorgfältig auszuglühen ist, einmal, um die Bearbeitung auf den Werkzeugmaschinen zu ermöglichen, und dann, um vorhandene Spannungen auszuschalten, so daß beim Härten kein Verziehen eintritt.

Das Härten geschieht, wie bei den Spiralbohrern angegeben wurde.

Das Anwärmen der fertig bearbeiteten Reibahlen hat sehr sorgfältig zu geschehen, da sie sonst sich sehr leicht verziehen.

**Abschrecken.** Die Reibahle wird senkrecht in die Abkühlflüssigkeit gebracht und auf- und abwärtsbewegt.

Recht gut bewährt hat sich eine Abkühlvorrichtung, wie sie ähnlich zum Abhärten der Spiralbohrer verwendet wird. Ein Rohrstück von etwa 200 bis 250 mm Durchmesser 500 bis 600 mm Länge, am unteren Ende mit einem Flansch zum Aufschrauben auf die Leitung mit  $\frac{3}{4}$ " Gasgewinde versehen, wird auf das Wasserzuflußrohr aufgeschraubt. Das Kühlwasser tritt von unten ein; die Abkühlung ist eine sehr gute, ein Verziehen bei gleichmäßigem Anwärmen fast ausgeschlossen.

Besonders zu empfehlen ist diese Einrichtung zum Abkühlen von konischen Reibahlen.

**Anlassen.** Je nach der Stahlsorte und je nach dem Gegenstande, der mit dem Werkzeuge zu bearbeiten ist; in der Regel hell- bis dunkelgelb.

#### Scherenmesser, Kreisscherenmesser u. dgl.

**Stahlsorte** extrazäh, zäh.

**Feuerbehandlung.** Das Anwärmen zum Schmieden hat in gut durchgebranntem Kohlen- oder Holzkohlenfeuer auf Hellrotglut zu erfolgen. Nach dem Schmieden sorgfältig ausglühen.

Zum Härten werden die Messer so erhitzt, daß der Gebläsewind das Werkzeug nicht trifft. Entweder bedeckt man das

Feuer mit einer eisernen Platte oder mit einem U-Eisen und legt das Messer darauf. Bei längeren Messern soll das Feuer mehrere Windformen oder Düsen haben, damit das Anwärmen gleichmäßig erfolgen kann.

**Abschrecken.** Man kühlt in Wasser von 18° bis 20° C oder in Wasser mit einer Ölschicht ab; die Messer sind genau senkrecht einzuführen, dann auf und ab zu bewegen.

Lange, dünne Scherenmesser, zum Schneiden von Papier, Leder u. ä. kühlt man in einem länglichen Kasten in Talg und Rüböl ab. Der Kasten muß genügend groß zur Aufnahme reichlicher Kühlmengen sein. Vorteilhaft ist es, den Ölbehälter in einen größeren mit Wasser gefüllten zu hängen, wodurch das Ölbad dauernd gekühlt wird.

Schwere Scherenmesser von kurzer, breiter Form werden nur an der Schneide warm gemacht und in Wasser, unter Durchschneiden mit der Schneide zuerst der Wasseroberfläche, langsam abgekühlt.

**Anlassen.** Man läßt mit der Eigenwärme an. Anlaßfarbe violett, oder bis eine scharfe Sägenfeile eben faßt. Darauf wird in Öl kurz abgeschreckt und in Wasser vollständig abgekühlt.

Fassonmesser zum Stanzen von Gummi, Leder u. dgl.,  
für Sohlen, Absätze u. a. m.

**Stahlsorte** Ia Schweißstahl.

**Feuerbehandlung.** Schmiedehitze hellrotwarm; Schweißhitze weißwarm, geschmolzenen pulverisierten Borax mit Zusatz von Eisenfeilspänen beim Schweißen verwenden.

Nach dem Schweißen gut ausglühen in Holzkohle oder ausgebrannter Schmiedekohle.

**Abschrecken.** Es kann in Kalkwasser, Petroleum, Rüböl oder Talg erfolgen.

**Anlassen.** Man läßt im Sandbade an, Schneide nach oben; Anlaßfarbe gelb bis violett, oder man prüft die Härte mit der Sägenfeile.

#### Lochstempel.

**Stahlsorte** mittelhart, zähhart, kleinere aus Silberstahl.

**Feuerbehandlung.** Ausschmieden ist zu vermeiden. Die Stempel sind von der Stange passend warm abzuheben oder kalt abzusägen; sie sind dann gut auszuglühen. Beim Drehen

ist zu beachten, daß nach der Schneidkante zu der Stempel etwas konisch zu drehen ist, damit er sich nicht festschneidet. Beim Erwärmen zum Härten soll dies vom Einspannkonus aus geschehen, so daß die Schneidkante dem Schmiedefeuer nicht direkt ausgesetzt ist und langsam warm werden kann.

**Abschrecken.** Der Lochstempel ist mit dem Einspannkonus zuerst in die Härteflüssigkeit einzutauchen, dann lebhaft zu bewegen.

**Anlassen.** Anlaßfarbe violett; danach Abkühlung in Ölen und in Wasser vollständig auskühlen.

**Matrizen.** Zu beachten ist, daß beim Bearbeiten des Werkzeuges die äußeren Ecken gut zu brechen sind, um ein Festklemmen im Unterteil zu vermeiden.

#### Gravierte Prägestempel, Schlagnummern usw.

**Stahlsorte** mittelhart, evtl. hart; vielfach wird von den Werken ein Spezialstahl besonders empfohlen. Es werden meist solche Stangenquerschnitte gewählt, daß eine Bearbeitung durch Schmieden nicht nötig ist.

**Feuerbehandlung.** Die fertig gravierten Stempel werden unter völligem Luftabschluß erwärmt.

**Abschrecken.** Man kühlt am besten durch einen Wasserstrahl ab, bei größerem Stempel nimmt man eine entsprechend größere Brause. Abb. 128.

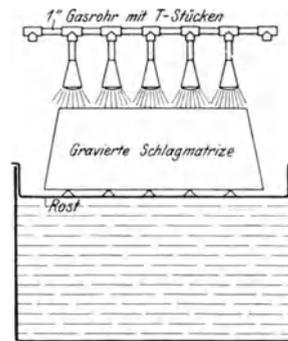


Abb. 128. Abkühlen einer Schlagmatrize.

#### Rollenmesser.

**Stahlsorte** wie bei Scherenmessern.

**Feuerbehandlung** wie bei Scherenmessern.

**Abschrecken** in Salzwasser unter Benutzung eines Dreibeines oder Drahtkorbes.

**Anlassen** auf einem Dorn oder im Sandbade. Anlaßfarbe violett.

#### Anfertigung von Schnitten.

Es sind dies wohl die am meisten gebrauchten Werkzeuge.

**Stahlsorte** für Unterteile zähhart oder Ia Schweißstahl, für Oberteile mittelhart oder Spiralstahl, Spezialstahl.

Das Schmieden ist tunlichst zu vermeiden, weil hierdurch auch bei noch so großer Vorsicht die äußeren Ränder zu viel leiden und später leicht Härterisse entstehen. Die Stahlwerke können jetzt so rasch jeden gewünschten Stangendurchmesser beschaffen, daß es billiger ist, das Material zu beziehen. Muß man aber schmieden, oder bezieht man geschmiedete Schnitte, so ist reichlich Material zuzugeben, damit die äußeren Ränder bei der Bearbeitung durch Abhobeln oder Abdrehen wegfallen. Alle Schmiedestücke, wie auch abgestochenes Material ist gut zu glühen, am besten mit Holzkohlen in einem luftdicht verschlossenen Kasten

**Feuerbehandlung.** Das Erwärmen zum Härten geschehe mit großer Vorsicht. Sind keine Einsatzhärteöfen vorhanden, so lege man eine Eisenplatte oder ein Stück U-Eisen über das Herdfeuer und baue sich durch Umstellen mit Ziegelsteinen einen kleinen Härteofen. Das Ober- oder Unterteil, mit Holzkohlen umpackt, um die Hitze in der aus einem -Eisen selbst hergestellten Muffel besser zu halten, lege man mit der Schneide nach oben und erwärme unter öfterem Wenden, dunkelrot.

**Abschrecken** in Wasser von 20° C, oder in Wasser mit Ölschicht; beim milden Stahl auch in Salzwasser. Die Oberteile werden, mit der Schnittfläche zuerst eintauchend, bis etwa zur Hälfte im Bade abgekühlt. Das Anlassen geschieht aus eigener innerer Wärme dunkelgelb. Auch kann das Abkühlen durch einen kräftigen Wasserstrahl erfolgen, worauf das Oberteil im Ölbad erkalten kann. Ein Anlassen ist nur notwendig, wenn erforderlich, z. B. bei Schnitten zum Stanzen weicherer Bleche, bei härteren Blechen nicht.

Die Unterteile bringt man sämtlich in die Härteflüssigkeit, kühlt ganz ab und läßt im Sandbad oder auf glühendem Eisen an. Die Anlaßfarbe ist hellgelb bis violett, je nach der Stahlart, und zwar läßt man zähhart dunkler an als Schweißstahl, der heller anzulassen ist.

Zur größeren Sicherheit kann man auch unterbrochene Härte anwenden, d. h. in Wasser abschrecken und in Öl auskühlen, oder mit kräftigem Wasserstrahl abschrecken und im Ölbad auskühlen.

Erfolgt das Abhärten mit der Brause oder Wasserstrahl, so ist darauf zu achten, daß die innere Schnittfläche ausreichend vom Wasser bespült wird.

Nach dem Härten ist ein Überschleifen der Schnittflächen von Ober- und Unterteil sehr zu empfehlen.

Hammergesenke. (Abb. 129 u. 130.)

**Stahlsorte** zäh, extrazäh; vielfach auch billiger Gußstahl; es kommt darauf an, was im Gesenke verarbeitet werden soll. Gesenke werden meist von Spezialfabriken hergestellt.

**Feuerbehandlung.** Die abgeschmiedeten Gesenke sind vor der Bearbeitung gut auszuglühen. Das Anwärmen zum Härten hat von unten nach oben zu geschehen, d. h. die eingearbeitete Bahn bzw. Fasson soll oben liegen, wobei die Außenränder vom Feuer nicht zu stark angegriffen werden dürfen. Unter Wenden und Drehen wird auf dunkelrotwarm erhitzt, dann stellt man das Gebläse ab und läßt gut durchziehen, damit sich die Wärme gleichmäßig verteilt.

**Abschrecken** in Wasser oder Salzwasser; da Gesenke sich schlecht mit der Zange fassen lassen, legt man sie, die zu härtende Bahn nach unten, in einen Korb aus starkem Drahtgeflecht und kühlt unter Hin- und Herbewegen ab. Da das untere Ende weich bleiben soll, genügt es, die Arbeitsbahn etwa 40 bis 50 mm tief einzutauchen. Das Auskühlen erfolgt auf einem Rost, der etwa 40 bis 50 mm unter der

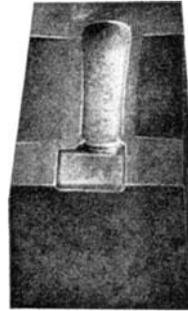


Abb. 129.  
Hammergesenk.

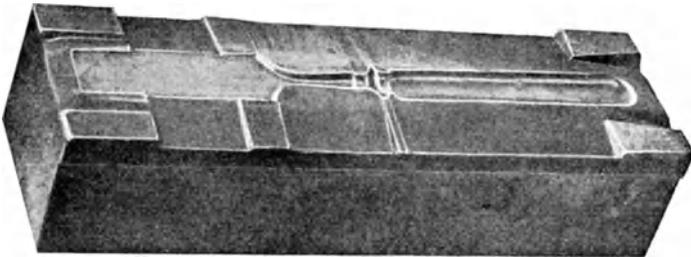


Abb. 130. Hammergesenk.

Wasseroberfläche angebracht ist und auf den man die Gesenke legen kann.

Gesenke, welche sehr tief eingearbeitet sind, härtet man durch einen kräftigen, fallenden Wasserstrahl.

**Anlassen** aus eigener, innerer Wärme; Anlaßfarbe gelb bis violett, dann in Öl abschrecken und in Wasser auskühlen lassen.

### Hämmer.

**Stahlsorte** zäh bis weich, oder billiger Spezialhammerstahl, der ziemliche Wärme vertragen kann.

Das Loch für den Hammerstiel soll gerade durchgeschlagen sein und die Wandung genügend stark bleiben. Nach dem Schmieden ist gut auszuglühen.

**Härten.** Kleine Hämmer macht man ganz warm, packt sie im Loch und kühlt unter abwechselndem Drehen von Finne und

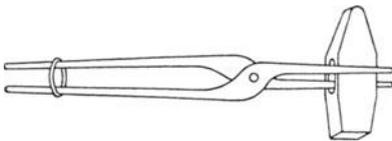


Abb. 131. Zum Härten richtig gefaßter Hammer.

Bahn in kaltem Wasser ab; an der Lochung muß das Material weich bleiben. Größere Hämmer werden erst an der Finne erwärmt und abgekühlt, danach an der Bahn. Man kann sie auch vollständig erwärmen, taucht die Finne zum Härten ins Wasser und härtet die Bahn unter einem kräftigen, fallenden Wasserstrahl. Die Lochung muß weich bleiben, damit sie an den Rändern beim Gebrauche nicht reißt (Abb. 131).

**Anlassen.** Aus eigener innerer Wärme, je nach der Stahlqualität violett bis blau. Zweckmäßig ist es, mit der Sägefeile zu probieren; sobald sie eben anfaßt, ist der richtige Härtegrad erreicht. Danach Abschrecken in Öl. Auskühlen in Wasser.

### Handmeißel.

**Stahlsorte** zähhart. Die Stahlwerke liefern die Handmeißel fertig im Gesenk vorgeschmiedet.

Da Meißelstahl ein Massenartikel ist und viel minderwertiges Material auf den Markt kommt, achte man besonders auf die Fabrikmarke.

Beim Schmieden ist große Sorgfalt anzuwenden; man erwärme in gut durchgebranntem Kohlenfeuer dunkelrotwarm, und recke die Form gleichmäßig heraus. Die Folgen fehlerhaften Schmiedens können sein: Unganzwerden, Härterisse beim Härten, oder das Werkzeug hält beim späteren Gebrauch nicht.

Beim Härten wird dunkelrot angewärmt, dann in kaltem Wasser unter Hin- und Herbewegen abgekühlt, wobei der Meißel 30 bis 40 mm tief eingetaucht wird. Schreckt man kürzer ab, so scheren sie sich bei schwerer Arbeit leicht ab.

**Anlassen.** Bei steirischem und englischem Stahl blau, bei anderem Stahl violett.

Die in den Handel gebrachten Spezialstähle für Handmeißel leisten bei weißwarmer Schmiedung und geringem oder gar keinem Anlassen, trotz hohen Einkaufspreises, sehr gute Arbeit, sind also bei längerem starken Gebrauch billiger als andere Stahlqualitäten.

#### Schrotmeißel und Nietquetscher.

**Stahlsorte** wie Handmeißel.

**Feuerbehandlung** wie beim Handmeißel.

Die Wandung am Stielloch soll kräftig sein, weil gerade hier bei den starken Schlägen leicht Bruchgefahr eintritt. Nach dem Schmieden sind die Köpfe gut zu glühen, damit beim späteren Gebrauch keine Teile abspringen.

**Abschrecken** im kalten Wasser.

**Anlassen** wie beim Handmeißel, evtl. wird zweimal angelesen.

Auch für Schrotmeißel verwendet man Spezialstähle für weißwarmer Schmiedung, da diese Stahlsorten wegen großer Haltbarkeit am billigsten sind.

#### Döpper und Kreiskörner.

**Stahlsorte** weich, zäh oder billiger, zäher Gußstahl.

Die Herstellung der Form erfolgt auf der Drehbank. Schmieden ist gänzlich zu vermeiden, weil durch zu vieles Erwärmen der Kohlenstoff entzogen wird. Je nach der Größe der zu bildenden Nietköpfe ist Stahl von entsprechendem Durchmesser warm abzuhaue, danach das einzelne Stück gut auszuglühen.

**Feuerbehandlung.** Man erwärmt auf Dunkelrotglut in gut durchgebranntem Kohlen- oder Holzkohlenfeuer. Der Gebläsewind soll das Werkstück nicht treffen.

**Abschrecken.** Man faßt den Döpper mit der Zange, Höhlung mit dem Nietkopf nach oben, und härtet im fallenden Wasserstrahl (Abb. 132).

**Anlassen.** Aus eigener innerer Wärme. Anlaßfarbe violett bis blau. Danach in Öl abschrecken und in Wasser auskühlen lassen.

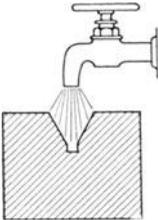


Abb. 132.  
Härten im fallenden Wasserstrahl.

#### Ziehdoorne.

**Stahlsorte** zäh oder mittelhart.

**Feuerbehandlung.** Vorsichtiges Anwärmen ist unbedingt erforderlich. Zum Schmieden dunkelrot erhitzen, zum Härten Erwärmung wie bei Reibahlen, Fräsern od. dgl. Sehr zweckmäßig ist es, das Werkstück auch hier in ein Rohr mit Holzkohle einzupacken oder in der Muffel zu erwärmen, wie vorstehend verschiedentlich angeführt. Steht ein Salzbad-Härteofen zur Verfügung, so erhitzt man im Salzbad.

**Abschrecken.** Man kühlt in Wasser von 18° bis 20° C oder in Salzwasser ab, wobei das Werkstück genau senkrecht in die Härteflüssigkeit einzuführen ist.

**Anlassen.** Es geschieht im Sandbade oder im Blaubrenner (Gasflamme); Anlaßfarbe strohgelb.

#### Werkzeuge für Bergwerksbetriebe und Steinbrüche.

**Stahlsorte.** Zu Grubenbohrern für Erze, Eisensteine u. ä. nimmt man Bohr Stahl zähhart; im allgemeinen richtet man sich nach der Art des Steines bzw. Erzes. So genügt bei weichem Gestein oder Erz eine billige Sorte, bei härterem nehme man stets beste Stahlqualität.

**Feuerbehandlung.** Man erhitzt beim Schmieden dunkelrotwarm. Obgleich der meiste Spezialbohrstahl mehr Wärme vertragen kann als Werkzeugstahl, ist ein Überhitzen unter allen Umständen zu vermeiden.

**Abschrecken.** Man schreckt am besten in Salzwasser ab, wobei darauf zu achten ist, daß dies nicht auf eine zu große Länge erfolgt, weil sonst beim Bohren die Bohrer in den Bohrlöchern leicht abbrechen, stecken bleiben und nur mit Mühe zu entfernen sind.

**Anlassen.** Je nach der zu bohrenden Gesteins- oder Erzart läßt man verschieden an, meist violett.

## Grubenhacken, Kreuzhacken u. dgl. m.

**Stahlsorte.** Diese Werkzeuge fertigt man aus gutem Schweiß-eisen und verstäht sie lang mit gutem Schweißstahl. Als Fluß-mittel zum Schweißen nimmt man geschmolzenen, pulveri-sierten Borax mit Eisenfeilspänen gemischt.

**Feuerbehandlung.** Beim Härten wird das angeschweißte Stahl-ende kurz rotwarm gemacht, danach in kaltem Wasser abgekühlt.

**Anlassen.** Je nach Härte des zu bearbeitenden Bodens hellgelb bis violett.

## Steinhauerwerkzeuge.

**Stahlsorte** wie bei Gesteinsbohrern, sie richtet sich im all-gemeinen nach der Gesteinsart. Für bessere Werkzeuge nimmt man zäharten Stahl.

Die Steinhauer haben hinsichtlich Form der Werkzeuge be-sondere Ansichten; es ist daher zweckmäßig, sich den jeweiligen Einzelwünschen anzupassen.

Zu Graviermeißeln an Marmorarbeiten nimmt man Wolfram-stahl, für Arbeiten an Basalt mittelharten Stahl, für Sandstein-arbeiten u. ä. zähhart oder gute Bohrstahlqualität.

Für Fäustel, Bossierhämmer, Kipphämmer nimmt man Hammerstahl.

**Feuerbehandlung.** Man macht vorsichtig rotwarm und kühlt in kaltem Wasser oder Salzwasser ab.

**Anlassen.** Je nach Art und Stärke des Gesteins gelb bis violett.

Werkzeuge aus Schweißstahl, Raffinierstahl (wie Äxte, Beile, Messer, Holzhauerwerkzeuge, Tischlerwerkzeuge).

Um aus diesen Stahlsorten gute Werkzeuge herzustellen, kann man so recht eigentlich die Fertigkeit des Werkzeugmachers hiernach beurteilen. Aus Raffinierstahl macht man: Scherenmesser für Warmscheren, Unterteile für Schnitte, Schnitte und Stempel für weiches Metall, Drückwerkzeuge, größere Preß- und Ziehringe, Stanzwerkzeuge für Leder, Gummi, Pappe usw.,

Werkzeuge zur Steinbearbeitung, als: Steinbohrer, Steinmeißel, Spitzeisen, Steingeschirr, Werkzeuge zur Holzbearbeitung, Bohrer, Fräsmesser für Goldleisten, Fußsockel, Hobelmesser, Stemmeisen, Beile für Holz, Werkzeuge für Metzger. Abb. 133.



Abb. 133. Verstählen einer Axt.

## XII. Das Schweißen des Stahles.

Schweißbarkeit ist die Eigenschaft der Stähle, sich im hocherhitzten plastischen Zustande so miteinander zu verbinden, daß vollkommene Adhäsion zwischen den Kristallen der zusammengeschweißten Teile eintritt. Unter Schweißen versteht man also die Vereinigung getrennter Teile des Stahles zu einem einzigen homogenen Stück. Die Temperatur der zu schweißenden Teile liegt sehr hoch, aber noch unterhalb des Schmelzpunktes. Die Kraft, die das Schweißen bewirkt, ist die durch die Schweißhitze gesteigerte Adhäsion der beiden Stahlteile ohne Zuhilfenahme eines Klebmittels oder Lotes. Bedingung für das Schweißen ist demnach: hohe Temperatur, metallisch reine Oberflächen an der Schweißstelle und entsprechend starker äußerer mechanischer Druck.

Bei vollkommen idealem Schweißen dürfte an der Schweißstelle keinerlei Schweißnaht erkennbar sein. In Wirklichkeit ist die Schweißnaht stets zu erkennen, auch beim Zusammenschweißen gleichgearteter und gleichzusammengesetzter Stahlstücke. Der Grund hierfür ist folgender: Während des Erhitzens der zu verbindenden Stahlstücke verbrennt ein Teil der obersten Eisenschicht, und zwar nicht nur das Eisen selbst, sondern auch die mit ihm legierten Stoffe, letztere wegen ihrer größeren chemischen Verwandtschaft zum Sauerstoff in höherem Maße. Die entstandenen Oxyde und Schlacken werden zum Teil an der Schweißstelle beim Schweißen eingeschlossen, bilden also ein sicheres Kennzeichen für den Verlauf der Schweißnaht.

Das Gelingen einer Schweißung hängt ganz allgemein von zwei Umständen ab:

1. von der Reinheit des Materials an leicht oxydierbaren Bestandteilen,
2. von dem möglichst guten Luftabschluß der zu verschweißenden Teile während des Schweißens.

Die erste Forderung dürfte selten, die zweite bei einigermaßen sorgfältiger Ausführung wohl erreichbar sein.

Beim An- oder Aufschweißen von hochwertigem, also auch teurem Werkzeug- oder Schnellstahl an geringwertige Stähle oder Eisen will man ersteren nur dort anbringen, wo er infolge seiner wertvollen Eigenschaften für die Metallbearbeitung auch tatsächlich in vollem Umfange ausgenutzt werden kann, und

das ist in der Regel an der schneidenden Kante. Es genügt also, ein verhältnismäßig schwaches, hochwertiges Stahlstück, welches die spanabhebenden Funktionen ausführt, an eine kräftige Unterlage aus Eisen oder gewöhnlichem Stahl, die den entsprechenden Widerstand zu leisten vermag, anzuschweißen. Wir erreichen damit eine wesentliche Materialersparnis, die bei dem Mangel an einer Reihe von Rohstoffen von größter Bedeutung ist, dann wird das Unkostenkonto für Werkzeuge eine geringere Belastung aufweisen, zum Vorteil des Verbrauchers. Denn bei sachgemäßer Ausführung des An- bzw. Aufschweißens erhält man ebenso gute und brauchbare Werkzeuge.

Wie schon angedeutet, wird Stahl auf Stahl, Werkzeuggußstahl an Eisen, sowie Schnellstahl an Werkzeugstahl oder Eisen- an- bzw. aufgeschweißt. Es muß nun beim Schweißen das Material so stark erhitzt werden, daß es vom festen in einen mehr oder weniger teigförmigen Zustand übergeht, weil nur dann durch einen auszuübenden Druck oder durch Hammerschläge eine innige Vereinigung an der Berührungsstelle der beiden Metallstücke möglich ist, die alle Unebenheiten der berührenden Flächen ausgleicht. Ein starker Druck ist überdies notwendig, um zwischen den Berührungsflächen vorhandene, fremde Körper auszupressen. Dies kann aber nur geschehen, wenn diese sich in dünnflüssigem Zustande befinden. Zu diesen letzteren gehört der schwer schmelzbare Glühspan, dessen Bildung in hoher Temperatur nicht zu vermeiden ist. Es sind also beim Schweißen solche Mittel anzuwenden, die den Glühspan oder Zunder in eine flüssige Verbindung überführen. Hierzu genügt Schweißsand (Kieselsäure =  $\text{SiO}_2$ ) oder ein quarzhaltiger Ton, mit dem man das erhitzte Eisen bestreut, wobei die Kieselsäure einen Teil des oxydierten Eisens als Oxydul aufnimmt.

Die Schweißhitze des Stahles liegt nun niedriger als jene des Eisens. Beim Schweißen des Gußstahles findet stets eine Überhitzung statt, so daß bei Außerachtlassen der nötigen Vorsicht der Stahl leicht verbrennen kann. Bei hartem Stahle liegt der Schmelzpunkt tiefer als bei weichem, auch ist bei ersterem die Temperatur, bei der er den zum Schweißen erforderlichen plastischen Zustand besitzt, sehr nahe beim Schmelzpunkt, daher auch hier die Schwierigkeiten beim Schweißen.

Zum raschen Auflösen des sich bei der verhältnismäßig nie-

drigen Schweißhitze des Stahles bildenden Glühspanes verwendet man sogenannte Schweißpulver, die teils einige Säuren, teils verschiedene besonders alkalische Verbindungen enthalten und eine möglichst leichtflüssige Schlacke bilden. Je größer die Zahl der in der Schlacke nebeneinander enthaltenen verschiedenen Basen ist, um so leichter schmelzbar ist sie. Aus diesem Grunde enthalten die Schweißpulver in der Regel mehrere Bestandteile, wie : Borax, Pottasche, Soda, Kochsalz, Salmiak, Flußspat, Braunstein, Glas. Dann werden auch, um der beim Schweißen unvermeidlichen Oxydation entgegenzuwirken, dem Schweißpulver häufig Kohlenstoff abgebende Stoffe beigelegt, insbesondere Blutlaugensalz.

Ausführung des Schweißens. (Abb. 134 bis 137.)

Vorrichten des Stahles bzw. Eisens. Die zusammenzuschweißenden Stücke sind keilförmig an-, ineinander oder auch stumpf



Abb. 134. Anschweißen von Stahl.

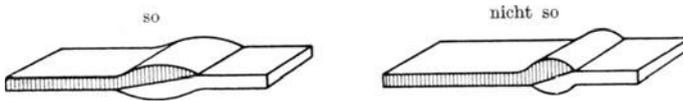


Abb. 135. Anschweißen von Stahl.

gegeneinander zu passen. Besser ist es, das eine Ende zu gabeln, das andere keilförmig zuzurich-

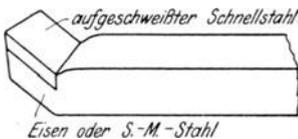


Abb. 136. Aufschweißen auf Eisen oder S.-M.-Stahl.

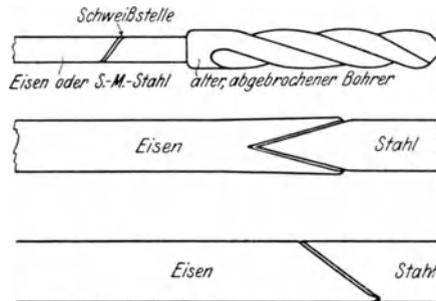


Abb. 137. Anschweißen von Werkzeugen.

ten, so daß beide Enden ineinander gesteckt werden können. Die Abmessungen müssen aber so groß gelassen werden, daß die

Schweißstelle beim Hämmern und Austreiben nicht zu klein ausfällt. Der bei der Zurichtung der zu schweißenden Stahlflächen auf diesen sich bildende Zunder oder Glühspan ist mit der Hammerfinne oder mit einer Vorfeile zu entfernen, weil Hauptbedingung für das Gelingen des Schweißens ist, daß sich nur metallisch reine Flächen berühren sollen.

Die Firma Gustav Wagner in Reutlingen, Württemberg, er-

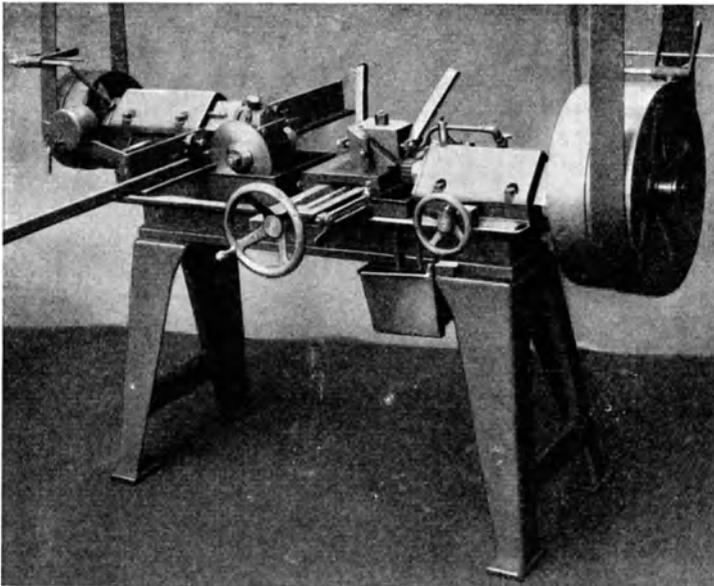


Abb. 138. Kreissäge mit Fräsmaschine.

setzt die Schmiedearbeit beim Vorrichten der Stähle durch mechanische Bearbeitung auf kaltem Wege mittels Maschinen. Der damit verbundene große Vorteil besteht darin, daß man sich von dem Schmied unabhängig macht und an Brennstoff spart.

Zum rechtwinkligen und schrägen Abschneiden der „Stahlhalter“ dient eine einfache Kreissäge, zum Anfräsen der Form und der Ansätze für das Schnellstahlplättchen eine einfache Fräsmaschine mit zylindrischem Stirnfräser (Abb. 138).

Die Einspannvorrichtung für die Stähle ist so eingerichtet, daß sie sowohl für links- wie für rechtsseitige Stähle benutzt

werden kann. Sie besteht aus einem langen, kräftigen Gußkörper, in dem die Aufspannuten für die Stahlhalter so eingefräst sind, daß

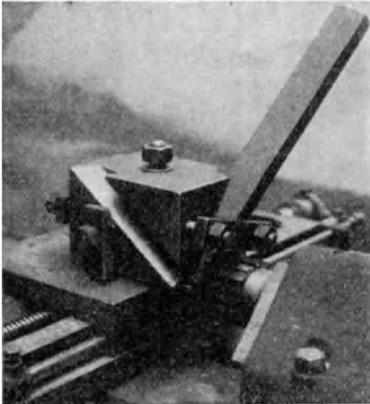


Abb. 139. Einspannvorrichtung.

1. die richtige Schnittform stets gewährleistet ist, und

2. das Einstellen auf die richtige Schnitttiefe durch Anschläge erfolgt, eine Höhenstellung des Fräasers also vermieden wird (Abb. 138 und 139 und 140).

Das Anfräsen der Stahlhalter geschieht meist in zwei Operationen; Zeitdauer für einen Stahl von  $30 \times 20$  mm einschließlich Einspannen fünf Minuten. Das Ab- und Zuschneiden der Stahlhalter von der Stange erfolgt in derselben

Zeit von demselben Manne durch eine mit der Fräsmaschine verbundene Kaltkreissäge.

Mittels einer Bandsäge oder Bogensäge unter Benutzung einer entsprechenden Spannvorrichtung geschieht das Zuschneiden der Schnellstahlplättchen. Für jede Stahlform ist eine solche Einspannvorrichtung vorgesehen, welche die richtige Stahlform und Stahlgröße gewährleistet.

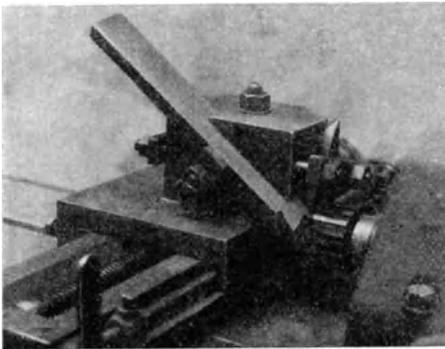


Abb. 140. Einspannvorrichtung.

Zum Erhitzen der Stahlplättchen und Stahlhalter dient ein Gasofen mit Druckluftgebläse, so daß gleich-

zeitig drei Stahlhalter und Stahlplättchen erwärmt werden können. Unter Beihilfe eines zweiten Mannes wird das erhitzte Stahl-

plättchen von Hand festgepreßt, mit dem Stahlhalter zusammen auf  $1100^{\circ}$  bis  $1200^{\circ}$  C erwärmt, unter einer durch Fußtritt betriebenen Kniehebelpresse, die beide Hände zum Einfahren unter die Preßwerkzeuge freiläßt, endgültig aufgeschweißt.

Die zum Aufpressen verwendeten Werkzeuge sind der jeweiligen Schnittform angepaßt; der Stahlhalter behält beim Pressen seine Form bei, sowie das Plättchen an die richtige Stelle kommt. Es ist also keine Nacharbeit erforderlich wie beim Pressen ohne Vorfräsen. Das Härten geschieht dann durch den Luftstrom des Druckluftgebläses.

Durch dieses Bearbeitungsverfahren erhalten die Stähle

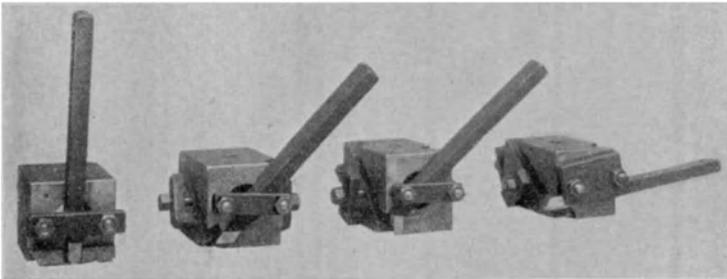


Abb. 141. Einspannvorrichtung zur Bearbeitung der Stahlhalter.

nahezu die richtige Form, so daß das Fertigschleifen einfach und rasch erfolgen kann.

Die Anfertigung von Seitenstählen geschieht in einer mit entsprechenden Gesenken ausgerüsteten Handpresse in warmem Zustande (Abb. 142).

Richtige Zusammenstellung und Handhabung der Maschinen Apparate und Werkzeuge vorausgesetzt, wie sie Abb. 138 zeigt, können durch drei Personen in zehn Stunden 120 bis 150 Stähle fix und fertig hergestellt werden (Abb. 143 u. 144).

**Anwärmvorrichtung.** Das zum Erhitzen der Schweißstücke benutzte Feuer muß unbedingt rein sein; gut durchgebranntes helles Schmiedekohlenfeuer oder helles Holzkohlenfeuer können angewendet werden. Mit bestem Erfolge haben sich die in neuerer Zeit in den Härtereien mehr und mehr in Aufnahme gekommenen Schweißöfen mit Gasfeuerung bewährt.

**Erhitzen der Schweißstücke.** Die zusammenschweißenden Enden der Stücke werden nur soweit erhitzt, als der jeweils

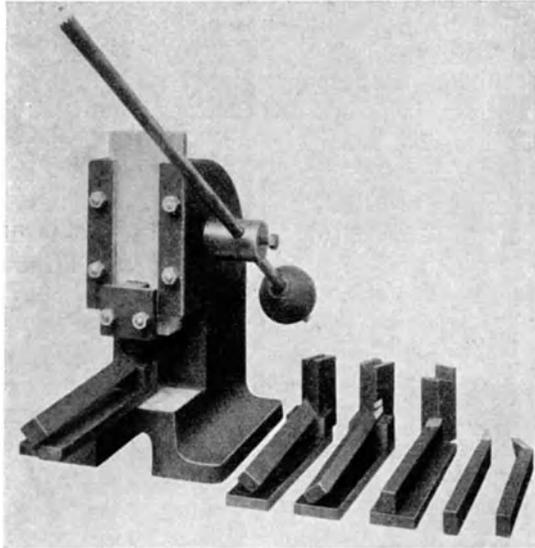


Abb. 142. Handpresse für Seitenstähle.

zur Verwendung kommende Stahl dies erlaubt, ohne daß er dabei verbrannt wird. Der nach dem Erwärmen bei Hellrotglut auf-

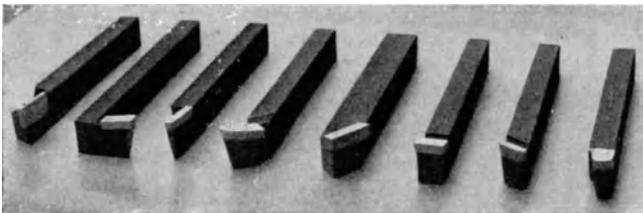


Abb. 143. Fertige Stähle.

tretende Glühspan wird mit einer Feile, Drahtbürste oder durch Kratzen mit einem rauhen Gegenstande entfernt. Während dieses Erhitzens gibt man mittels eines langgestielten Löffels

nach dem Entfernen des Glühspanes soviel Schweißpulver auf die Schweißstellen, daß diese gut damit bedeckt sind, ohne aber dabei die erhitzten Stücke durch Herausheben aus dem Feuer dem Einflusse der Luft ganz auszusetzen.

Danach werden die Schweißstellen aufeinandergelegt und leicht ohne Schlag aufeinander gedrückt. Nunmehr bringt man die aufeinander gedrückten Teile wiederum ins Feuer, erhitzt auf Schweißhitze und schweißt durch Schlag mit Setz- und Vorschlaghammer oder durch ständigen Druck mittels einer kleinen kräftigen Presse zusammen. Die in der Lehrwerkstätte der Kurse in Köln verwendete Spindelpresse von L. Schuler, Göppingen

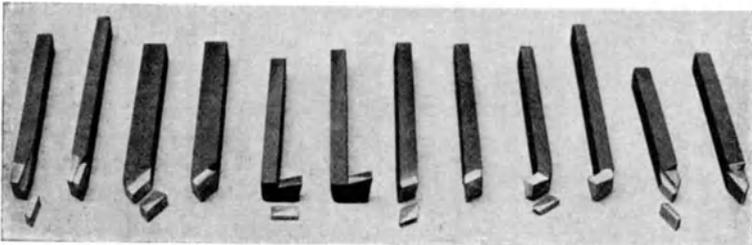


Abb. 144. Seitenstähle, vorbereitet und fertiggestellt.

in Württemberg (Abb. 145) hat mit bestem Erfolge Anwendung gefunden.

Die richtige Schweißtemperatur liegt:

für harten Stahl bei beginnender Gelbglut;

für mittelharten und weichen Stahl bei Gelbglut bis matter Weißglut;

für Schnellstahl bei Weißglut;

Schnellstahlersatz, das sind Stähle, die an Stelle des hohen Wolframgehaltes einen Zusatz von Molybdän erhalten, dürfen beim endgültigen Schweißen nur auf etwa hellgelb, also  $900^{\circ}\text{C}$ , erhitzt werden.

Sprüht der Stahl beim Herausnehmen aus dem Feuer Funken, so ist er bereits verbrannt.

Eine an der Außenseite der Schweißstelle etwa stattgefundene Entkohlung des Stahles kann nach beendetem Ausschmieden durch Bestreuen der dunkelrot gewordenen Schweiß-

stelle mit einer gleichmäßig dünnen Schicht eines Härtepulvers wieder ausgeglichen werden.

Nach dem Schweißen muß man das Werkstück langsam abkühlen lassen, um das Entstehen von Härterissen zu verhindern; für das nachfolgende Härten ist von neuem anzuwärmen.

**Schweißen von Stahl auf Eisen.** Im ersten Teile dieses Lehr-

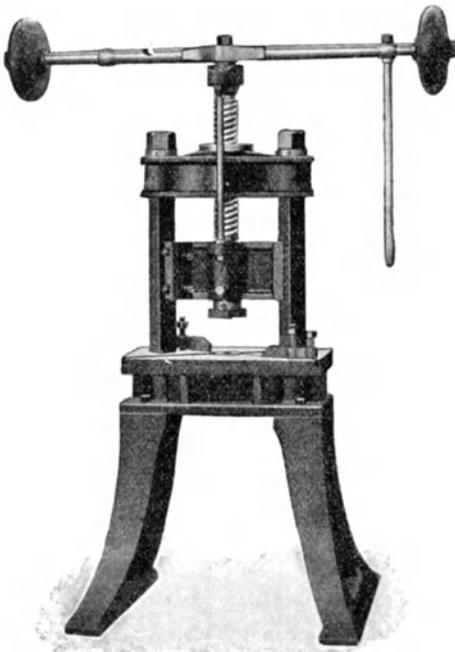


Abb. 145. Spindelpresse zum Aufschweißen von Schnellstahl.

ganges wurde ausgeführt, daß mit sinkendem Kohlenstoffgehalte die Temperatur, bei der das Eisen vom festen in den flüssigen Zustand übergeht, steigt. Da nun Stahl einen wesentlich höheren

Kohlenstoffgehalt als Eisen besitzt, wird die Schweißtemperatur niedriger sein als bei Eisen. Dies ist beim Schweißen von Stahl auf Eisen zu beobachten; man muß also den Stahl später ins Feuer bringen als das Eisen. Auch benutzt man wohl zwei verschiedene Feuer für beide, und zwar erhitzt man den Stahl in einem Holzkohlenfeuer, das Eisen in einem Koks-

feuer, das ja auch eine stärkere Hitze als Holzkohlenfeuer entwickelt. Doch beachte man, daß das Koksfeuer gut durchgebrannt sein muß.

**Schweißpulver.** Die meisten Schweißpulver enthalten Borax, und zwar aus dem schon früher angegebenen Grunde, der schon bei Hellrotglut schmilzt, und fast alle Metalloxyde aufzulösen vermag.

Da sich aber der Borax beim Erhitzen stark aufbläht, wobei das Kristallwasser verdampft und leicht Lücken auf den zu schweißenden Stellen läßt, so ist es ratsam, ihn vorher in einem

Gefäße zu schmelzen, dann abkühlen zu lassen, wobei er zu einer glasartigen amorphen Masse erstarrt, die man pulverisiert.

Nachstehend angegebene Schweißpulver haben sich nicht nur seit Jahren in der Praxis bewährt, sondern finden auch durchweg in der Lehrhärterei mit bestem Erfolg beim Schweißen von Stahl an Stahl, Schnellstahl an Stahl oder Eisen u. ä. m. Anwendung:

- a) 5 Teile pulverisierter Borax
- 2 Teile rostfreie Eisenfeilspäne

oder

- b) 3 Teile pulverisierter Borax
- 2 Teile Braunstein
- 1 Teil pulverisiertes Gas
- 2 Teile rostfreie Eisenfeilspäne.

Die verwendeten, sehr weichen Eisenfeilspäne sollen von Schmiedeeisen herrühren, man vermeide solche von Gußeisen oder Stahl.

Die Anwendung von sehr weichen Schmiedeeisenfeilspänen im Schweißpulver gibt diesem dem Wesen nach eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Hartlöten. Bekanntlich versteht man ja hierunter die Verbindung zweier gleich- oder verschiedenartiger Metallstücke unter Benutzung eines metallischen Bindemittels, das Lot genannt, welches in heißflüssigem Zustande in die Trennungsfuge beider Stücke fließt, dort erstarrt und infolge seines Anhaftevermögens an beiden Teilen diese zusammenhält. Wegen ihrer Feinheit nehmen nun die Eisenfeilspäne rasch die nötige Schweißtemperatur an, erleichtern also die Verbindung der zu schweißenden Stahlstücke wesentlich.

Die Möglichkeit, wertvolle Teile Edelstahl an geringwertigen Stahl oder Eisen an- oder aufzuschweißen, hängt, wie vorher erwähnt, von der Reinheit an leicht oxydierbaren Bestandteilen ab. Es soll deshalb die Schweißfähigkeit einzelner Stahlsorten hier angefügt werden.

**Manganstahl.** Infolge der großen chemischen Verwandtschaft des Mangans zum Sauerstoff sind Manganstähle schwer schweißbar.

**Chromstahl.** Die Schweißbarkeit der Chromstähle ist sehr gering.

**Wolframstahl.** Die Schweißbarkeit der Wolframstähle ist nicht groß. Wendet man ein Schweißpulver, bestehend aus Eisenfeilspänen und Borax, an, so gelingt auch die Verbindung ziemlich hochprozentiger Wolframstähle.

**Vanadinstahl.** Die Schweißbarkeit leidet infolge der hohen chemischen Verwandtschaft des Vanadins zum Sauerstoff.

**Aluminiumstahl.** Die Schweißbarkeit aluminiumhaltiger Stähle ist sehr gering.

**Nickelstahl.** Die Schweißbarkeit der Nickelstähle ist ungefähr die gleiche wie die der reinen Kohlenstoffstähle.

**Schnellstahl.** Infolge der leichten Vereinigung mit Sauerstoff sind die Schnellstähle sehr schlecht schweißbar.

### XIII. Das Löten des Stahles.

Das Löten ähnelt dem Schweißen mittels Schweißpulver. Das Lot übernimmt hierbei die Rolle eines Klebstoffes. Es wird dort angewendet, wo die Adhäsion der zu verbindenden Metallteile zueinander keine große ist, also bei harten Stählen, die keine große Hitze erfahren dürfen.

Wie wir schon beim „Schweißen“ erwähnt haben, ist die Anwendung des Schnellstahles wegen seines hohen Preises in der Regel auf die schneidende Kante beschränkt. Die Art der Verbindung zwischen Schneide und Schaft soll nicht nur hinreichende Steifigkeit, sondern auch gute Wärmeleitfähigkeit gewährleisten, damit die Reibungswärme der Schneide schnell zum Schaft abfließen kann.

Nach einem neueren Lötverfahren<sup>1)</sup> wird ein Kupferstreifen zusammen mit einem reduzierenden, bei hohen Temperaturen verdampfenden Stoff zwischen die miteinander zu verbindenden Flächen gebracht und dann das Ganze in einem Muffelofen auf 1200° C erhitzt. Die beigegebene Verbindung verdampft, das Kupfer schmilzt und bewirkt in vollständig reduzierender Atmosphäre eine so gründliche Verschmelzung beider Stahlsorten, daß meist keine Kupferschicht mehr zwischen beiden Stählen nachgewiesen werden kann.

### XIV. Das Richten beim Härten verzogener Werkzeuge.

Jeder Härter weiß, daß der Stahl beim Härten eine Formänderung erleidet, die sich meist in dem recht unangenehmen Verziehen der Werkstücke kennzeichnet. So werden z. B. län-

---

<sup>1)</sup> Stahleisen 1908, S. 1427.

gere Gewindebohrer kürzer, Besteckstangen werden etwas krumm, Ziehringe werden in der Bohrung enger, bei vielen anderen Werkzeugen, wie lange Papierschneid- und Holzbearbeitungsmesser, muß dieses Verziehen nach dem Härten durch Geraderichten beseitigt werden.

Die Ursachen des Verwerfens oder Verziehens der Werkzeuge beim Härten können auf einen Mangel an Gleichmäßigkeit des Gefüges oder auf die Art des Erhitzens bzw. Abkühlens zurückgeführt werden.

Je nach der Gestalt des gehärteten Körpers kann diese Formänderung mit einer Verringerung oder Vergrößerung der Körperoberfläche verbunden sein. Werkzeuge, deren Länge ein Vielfaches ihrer Dicke beträgt, verkürzen sich und werden dicker, solche, die ungefähr gleiche Ausdehnung nach allen Richtungen besitzen, werden an Oberfläche zunehmen. Jedoch sind alle diese Formänderungen bei großen Stahlmassen klein, weil das Härten nur wenig tief eindringt, bei kleinen Stahlmassen groß, weil das Härten bis ins Innere des Stückes durchgreift. Wesentlich dabei ist das Vorhandensein von Ecken und Kanten bei den zu härtenden Gegenständen. So erfährt z. B. unter sonst gleichen Härtebedingungen der Würfel eine erheblich größere Oberflächenausdehnung als eine Kugel, denn diese behält stets ihre Kugelform während ersterer die in Abb. 146 skizzierte Gestalt annimmt.

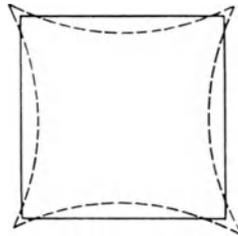


Abb. 146. Verziehen eines Würfels durch das Härten.

Der Einfluß der Zusammensetzung der Stähle auf das Maß des Verziehens beim Härten läßt sich in der Regel aussprechen: Ein Stahl erleidet beim Härten eine um so beträchtlichere Formänderung, je größer der Unterschied zwischen der Härte im normalen, langsam abgekühlten Zustande — Naturhärte — und der Härtungshärte ist.

Den praktischen Betrieb interessiert diese Frage in der Stellung: Welcher Stahl erleidet das geringste Maß von Formveränderung beim Härten, welcher verzieht sich beim Härten am wenigsten. Werkzeuge, die sich beim Härten nicht verziehen dürfen, werden zweckmäßigerweise aus sehr harten, am besten selbsthärtenden Chrom-Wolframstählen gefertigt und diese bei

einem höchstzulässigen Härtegrad bearbeitet, bevor man sie, falls notwendig, nachhärtet.

In den meisten Fällen sind Werkzeuge aus Tiegelgußstahl hergestellt, wobei die Stahlstange vom Stahlwerk ihre Form — je nach Bedarf , ,  oder eine ähnliche — unter dem Hammer durch Ausschmieden auf das gewünschte Maß erhalten hat. Nach dem Schmieden glühen alle besseren Werke den Stahl in großen Glühkästen, die die Stangen in ihrer ganzen Länge aufnehmen können, zur Beseitigung der durch die vorangegangene Behandlung entstandenen Spannungen, sorgfältig aus. Der gewissenhafte Werkzeugmacher läßt sich aber daran nicht genügen, er glüht das von der Stange abgehauene, abgeseigte, abgedrehte usw. Stück nochmals sorgfältig unter Luftabschluß aus. Lange Gewindebohrer, Spiralbohrer, Reibahlen u. dgl. soll man nach dem Abdrehen des ersten Spanes im Kasten in Holzkohle ausglühen, um irgendwelche Spannungen durch die weitere Bearbeitung zu entfernen. Werden auf diese Weise behandelte Werkzeuge beim nachfolgenden Härten vorsichtig erwärmt und abgekühlt, so werden sie sich kaum verziehen. Bei aufmerksamer Behandlung des Stahles und Werkstückes darf der Werkzeugmacher überhaupt nicht in die Lage kommen, richten zu müssen. Kleine Ungenauigkeiten werden bei dem heutigen Stande der Schleiftechnik durch Schleifen ausgeglichen; bei fast allen zu schleifenden Werkzeugen gibt man von vornherein einige Zehntelmillimeter zu, um kleine Krümmungen auszuschleifen.

**Richten größerer Papiermesser oder Scherenmesser.** Nach dem Anlassen werden die Messer mit der Hammerfinne, die möglichst schlank und je nach der Krümmung des zu bearbeitenden Teiles abgerundet sein muß, durch kräftige Schläge auf die hohle Seite bearbeitet. Durch das Hämmern werden die zu sehr verdichteten Stellen so weit gestreckt, bis das Werkstück seine richtige Lage wieder angenommen hat. Die Hammerschläge müssen genau in die Richtung der Krümmung fallen, nicht etwa schräg zu dieser; die Krümmung der Hammerbahn hat sich ihrer Länge nach dicht an die Oberfläche anzulegen.

Das Schlagen darf nur bis etwa 1 cm vom Rande entfernt erfolgen; das Messer muß im Anlaßofen, hochkant gestellt, auf  $\sim 300^{\circ} \text{C}$ , der blauen Anlaßfarbe entsprechend, vorgewärmt sein.

Ist eine autogene Schweißanlage vorhanden, so kann man unter Verwendung eines Schweißbrenners wie folgt verfahren: Das Messer wird, konvexe Seite nach oben auf eine Platte gelegt und mit der Stichflamme vorsichtig an verschiedenen Stellen erwärmt (Abb. 147). Ist das Messer stark verzogen, so wird die konvexe Seite durch feuchte Lappen leicht abgekühlt, es streckt sich dann sehr rasch<sup>1)</sup>.

**Richten von Spiralbohrern.** Bei Spiralbohrern wird ein Verziehen verhindert, indem man sich der in Abb. 98 dargestellten

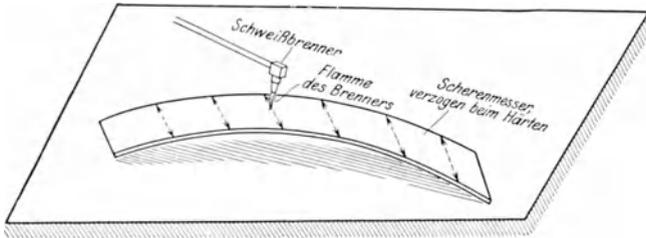


Abb. 147. Richten eines Scherenmessers mittels Schweißbrenners.

Einrichtung bedient. Sie besteht aus einem schräg im Härtebottich angebrachten Rost *a*, auf welchen die erhitzten Bohrer gelegt und mittels einer Holzplatte *b* schnell hin und hergerollt werden.

**Richten von Reibahlen.** Gut handwarm anwärmen; dann wird die Reibahle zwischen zwei mit Kupfer oder Messingblech ausgeschlagene Harthölzer gebracht, unter einer Spindelpresse oder zwischen den Backen eines Schraubstockes vorsichtig gedrückt und so lange unter Druck gelassen, bis das Werkzeug erkaltet ist.

## XV. Regenerieren, d. h. Verbessern des im Feuer verdorbenen Stahles.

Werkzeugstahl, der von vornherein stark überhitzt oder verglüht wurde, soll für die Weiterverarbeitung zu Werkzeugen überhaupt ausscheiden, denn die Werkzeuge werden spröde und reißen oder nehmen keine Härte an, so daß die beträchtlichen

<sup>1)</sup> Dieses Verfahren ist der Gußstahlfabrik Felix Bischoff, G. m. b. H., Duisburg, patentiert.

Herstellungskosten zwecklos aufgewendet sein würden. Man merkt vorgenannte Fehler meist zu spät, und zwar sind sie dann am verdorbenen fertigen Werkzeuge wahrnehmbar. Eine Regeneration, d. h. eine Verbesserung dieses Stahles, erübrigt sich dann.

Bei dem im Feuer verdorbenen Stahle kann im allgemeinen die Ursache eine vierfache sein:

a) **Verbrannter Stahl.** Bei Erwärmung des Stahles bis zu Temperaturen von  $1200^{\circ}\text{C}$  und höher verändert er sich unter Funkensprühen; es entsteht dadurch eine chemische Veränderung,

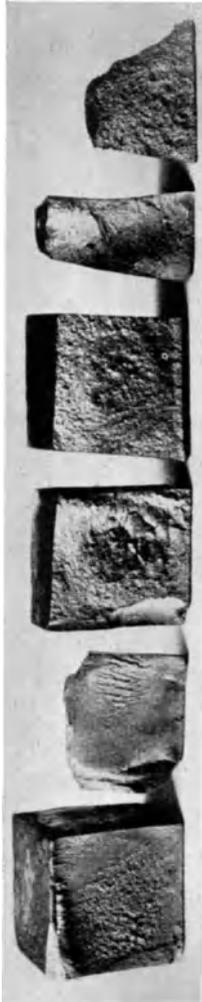


Abb. 148 a—f. Bruchflächen, erzeugt an einer Stahlstange, die am rechts gelegenen Ende (Abb. 148 f) weißwarm gemacht, abgekühlt und hierauf stückweise abgeschlagen wurde. Abb. 148 b zeigt die richtige Härte-temperatur. Vergrößerung  $\frac{1}{2}$ . (Aus Bach-Baumann, Gefügebilder.)

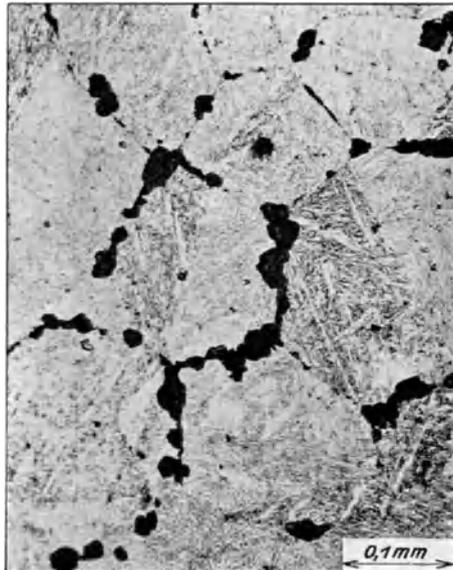


Abb. 149. Gefüge an Rand und Mitte des in Abb. 148 f abgebildeten verbrannten Stückes der Härteschlange. (Aus Bach-Baumann, Gefügebilder.) Vergrößerung = 150.

hauptsächlich Entkohlung des Metalls durch Einwirkung der Luft oder der Flammengase bei hoher Temperatur, infolgedessen der

Stahl im ungehärteten Zustande Kantenrisse zeigt, beim Schmieden in Stücken abbricht, zerfällt, und beim Härten reißt. Dieser Stahl kann nicht mehr regeneriert werden, er ist also völlig unbrauchbar.

Abb. 148 der Härteschlange und Abb. 149 und 150 Schliffbild zeigen verbrannten Stahl.

**b) Überhitzter Stahl.** Er hat durch Erwärmung über helle Rotglut und bei zu lang anhaltender Dauer derselben grobkristallinisches Gefüge erhalten und ist spröde geworden. Eine chemische Veränderung der Zusammensetzung ist nicht eingetreten. Je nach der Dauer erstreckt sich die Überhitzung entweder nur auf die Oberfläche — Ecken und Kanten — oder durch die ganze Masse des Stahles.

Erfolgt das Überhitzen des Werkstückes bereits beim Schmieden, wie es so häufig bei Schlagwerkzeugen, Hand- und Schrotmeißeln, schon bei der Neuanfertigung aus 40 Ø oder 45 Ø Stahl eintreten kann, und man will den überhitzten Teil nicht abhauen, so kühlt man bis

Kirschrotglut ab und schmiedet es sorgfältig und kräftig bis Dunkelrotglut nach. Das Überschmieden hat den besonderen Zweck, das grobkristallinische Gefüge, welches die Sprödigkeit herbeiführte, zu zerstören.

Abb. 148c der Härteschlange, Schliffbild Abb. 151 und 152 sowie Abb. 153 zeigen überhitzten Stahl in der Bruchfläche und in metallographischer Aufnahme, letztere bei 150facher Vergrößerung.

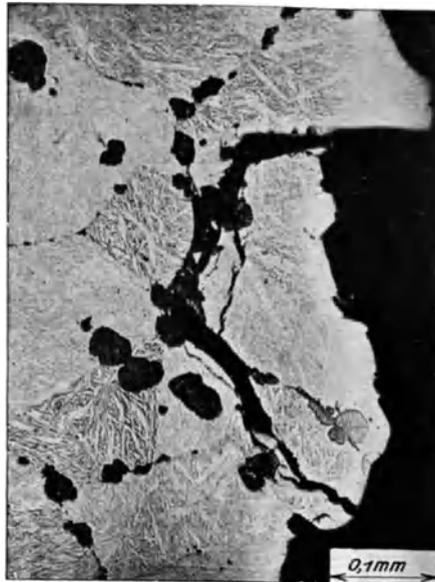


Abb. 150. Gefüge an Rand und Mitte des in Abb. 148f. abgebildeten verbrannten Stückes der Härteschlange. (Aus Bach-Baumann, Gefügebilder.) Vergrößerung = 150.

Wurde das Werkzeug beim Härten überhitzt, so läßt man es langsam ganz erkalten und erwärmt dann von neuem vorsichtig bis zur niedrigsten Härte-temperatur, meist Dunkelrotglut, dann wird in Wasser abgekühlt. Man kann auch sogenannte Stahlverbesserungsmittel anwenden, die den Zweck verfolgen, dem Stahle den an der Oberfläche durch das Überhitzen ausgeschiedenen Kohlenstoff wieder zuzuführen.

Nachstehende Regenerierungs- oder Verbesserungsmittel sind praktisch ausprobiert und bewährt:

- 1 Teil Hufmehl
- 1 Teil Salz
- 1 Teil Schmierseife
- oder 3 Teile Leinöl
- 1 Teil Schmierseife
- 2 Teile Harz
- oder 2 Teile Rindstalg
- 5 Teile Harz
- 1 bis 2 Teile Tran
- 1 Teil blausaures Kali.

Die Mischungen sind gut durchzukneten.

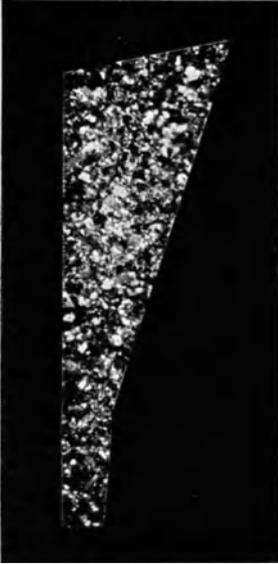


Abb. 151. Bruchfläche der Spitze eines überhitzten Drehmessers. Vergrößerung = 10. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstähle.)

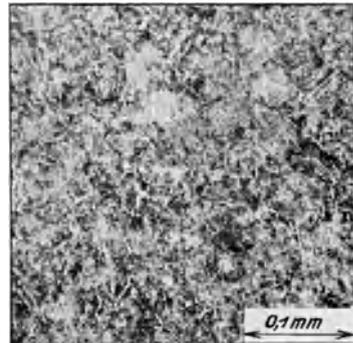
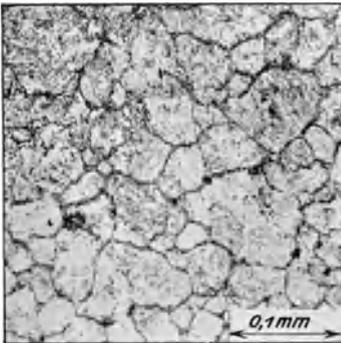


Abb. 152 u. 153. Gefüge in Mitte und Ecke des in Abb. 151 abgebildeten überhitzten Stückes. Vergrößerung = 150. (Aus Bach-Baumann, Gefügebilder.)

Das zu verbessernde Werkzeug wird auf Dunkelrotglut erwärmt, in die Masse getaucht bzw. mit ihr bestrichen und im

Feuer eingebrannt; das Verfahren wird zwei- bis dreimal wiederholt, dann das Werkstück in Wasser oder Öl abgekühlt.

Welche Art der Verbesserung zu wählen ist, hängt von den jeweiligen besonderen Umständen ab. Ein Werkstück, das schon seine besondere Form erhalten hat — fassoniert ist —, wird man nicht durch Überschmieden verbessern, andererseits Stahl, der noch keine Formgebung erfahren hatte, nicht durch Härten verbessern, und zwar um so weniger, als die Gefahr der Ribildung sehr zu beachten ist.

**c) Durch besondere Umstände verdorbener Stahl.** Hierunter ist ein Stahl zu verstehen, der beim Erhitzen im offenen Schmiedefeuer unter Benutzung frischer Schmiedekohlen durch den in diesen enthaltenen Schwefel verdorben wurde. Wie in einem früheren Abschnitte ausgeführt, entzieht Schwefel dem Stahl an den gegenseitigen Berührungstellen den Kohlenstoff vollständig, der Stahl wurde fleckig — sogenannte Weichflecke — und konnte an diesen Stellen nicht gehärtet werden. Um ihn wieder brauchbar zu machen, wird dieser Stahl an allen Stellen von Zunder u. dgl. m. befreit, mit einem Stück Schmirgelleinen blank gerieben, in einen Einsatzkasten sorgfältig mit Holz- oder Lederkohle eingepackt, der Kasten luftdicht verschmiert und im Glüh- oder Härteofen etwa 4 bis 5 Stunden — je nach Umfang des Stückes — geglüht. Die Temperatur sei etwa  $750^{\circ}\text{C}$ . Steht kein Härte- oder Einsatzofen zur Verfügung, so werden die blank abgeriebenen Teile in einer Muffel, einem Rohrstück oder zugedecktem □-Eisen, das mit Holzkohle gefüllt ist und auf dem offenen Feuer eingebaut wird, erhitzt und danach in Wasser von  $18^{\circ}\text{C}$  abgekühlt.

**d) Verglühter Stahl.** Hier wurde Werkzeugstahl längere Zeit bei Luftzutritt einer Temperatur ausgesetzt, die an sich nicht hoch genug war, um ihn zu überhitzen. Dabei ist ihm der Kohlenstoff an der Oberfläche ganz oder teilweise entzogen worden, die hieraus hergestellten Werkzeuge werden beim nachfolgenden Härten nicht genügend hart oder bleiben weich.

**e) Abgestandener Stahl.** Er wurde beim Gebrauche wiederholt erhitzt und gehärtet, infolgedessen spröde, verliert hierdurch an Schneidkraft und reißt beim Härten leicht.

Das Verbessern erfolgt unter Anwendung von Härtepulver und besteht in einer Oberflächenzementation.

## XVI. Einsatzhärten oder Zementieren.

Bei der Einsatzhärtung, auch wohl Oberflächenhärtung genannt, beabsichtigt man, die Oberfläche eines Werkstückes eines wenig Kohlenstoff enthaltenden, also weichen Eisens an bestimmten Stellen oder überall zu kohlen, ihr Kohlenstoff zuzuführen, so daß die Oberfläche beim Abschrecken glashart wird, das Innere, der Kern, zäh und biegsam bleibt (Abb. 154 und 155).



Abb. 154 Im Einsatz gekohlter Stahl.

Die ursprünglichste und älteste Form des Einsatzhärtens fand bei der Herstellung des Zementstahles Anwendung, den man wegen der eigentümlichen auf der Oberfläche auftretenden Blasen auch Blasenstahl nannte, und der heute das Ausgangsprodukt erstklassigen Tiegelstahles ist. Das Zementierverfahren bestand darin, Stäbe aus schwedischem Schmiedeeisen lagenweise unter Vermeidung gegenseitiger Berührung in Holzkohle einzupacken und unter Luftabschluß längere Zeit, meist mehrere Wochen, je nach dem Grade der Kohlung, bei hoher Temperatur,  $1000^{\circ}\text{C}$  und mehr, zu glühen.

Jetzt wendet man die Oberflächenhärtung bei allen solchen Werkstücken an, die außen sehr hart sein sollen, welche indes ihrer Form nach, wegen ungleicher Dimensionen und großen Volumens, bedeutende Schwierigkeiten beim Härten bieten. Ein kohlenstoffreicher harter Stahl würde beim Härten leicht reißen; man verwendet deshalb hier einen weicheren, gibt ihm die erforderliche größere Härte durch Einsetzen und kann nun ohne besondere Schwierigkeiten härten. Nicht zu vergessen ist hierbei noch, daß bei der Herstellung von Maschinenteilen, selbst Werkzeugen, aus billigem, kohlenstoffarmem Stahl trotz der Mehrkosten des Einsetzens Ersparnisse möglich sind, die Fabrikation also billiger ist. Trotz der harten Oberfläche bietet der weiche Kern hinreichenden Schutz gegen Bruchgefahr bei solchen Teilen, die starken Stößen und Schlägen ausgesetzt sind.

Die Bearbeitung von Maschinenteilen aus kohlenstoffarmem weichem Stahl auf den Werkzeugmaschinen ist wesentlich billiger, erfolgt rascher und nutzt die Maschinen weniger rasch ab als es

bei Verwendung teuren, oft sehr harten und schwierig zu bearbeitenden hochprozentigen Tiegelstahles der Fall ist.

Welches Material sich am besten für den jeweiligen Verwendungszweck und Einsatzhärtung eignet, hängt von der Beanspruchung des Maschinenteiles ab. Wird eine mittlere Festigkeit verlangt und sind sie geringen Stößen oder Schlägen ausgesetzt, so genügt durchweg ein weicher, zäher kohlenstoffarmer Stahl von höchstens 0,2 vH Kohlenstoffgehalt, der möglichst frei von schädlichen Verunreinigungen, Schwefel, Phosphor u. ä. sein muß. Stark beanspruchte Maschinenteile wie Zahnräder u. dgl. m., die Stößen und Schlägen oder Abnutzung durch Reibung ausgesetzt sind, macht man aus Nickelchromstählen, also sogenannten legierten Stählen.

Bei fortlaufend großem Bedarf und Massenherstellung von Werkstücken gebrauche man die von den Stahlwerken in den

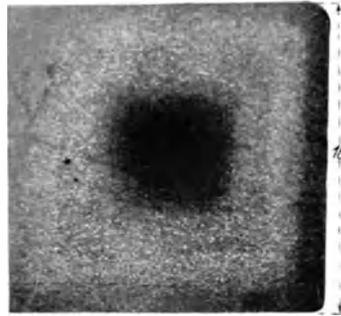


Abb. 155. Zementiertes Eisen mit Rand- und Kernzone. (Aus Preuß, Prüfung des Eisens.)

Handel gebrachten Spezialeinsatzstahlsorten. Zur Herstellung von Werkzeugen, z. B. Fräsern, nimmt man kohlenstoffarmen Bessemerstahl, die man dann im Einsatz härtet.

Wichtig ist auch die Frage, was für Ersatzmittel zu verwenden sind, denn ihre richtige Zusammensetzung und Auswahl ist ebenso sehr Vertrauenssache wie die der Stahlsorten. Am besten stellt sich der Verbraucher sein Einsatzmaterial selbst her, wobei nachstehende Zusammenstellung einiger erprobter und bewährter Mittel gute Dienste leisten mögen<sup>1)</sup>. Indes gibt es auch vertrauenswürdige Fabrikanten, die solche zu durchaus angemessenen Preisen auf den Markt bringen. Unter Voraussetzung von von Friedenspreisen darf das Kilogramm Einsatzmittel nicht teurer als 0,50 M. zu stehen kommen.

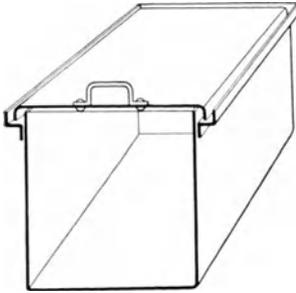


Abb. 156. Einsatzkasten nach Schuchardt & Schütte.

Die technische Ausführung des Einsetzens oder Zementierens geschieht wie folgt.

Da das Einsetzen in Blech- oder gußeisernen Kästen geschieht, halte man die gangbarsten Größen stets bereit (Abb. 156). Es ist zu beachten, daß der einzusetzende Maschinenteil von den Seitenwandungen und dem Boden mindestes 20 bis 30 mm absteht. Der Boden des Kastens wird mit einer Aschenschicht von etwa 30 mm Höhe bedeckt, hierauf wird Einsatzpulver gestreut, der Gegenstand eingebettet und ringsum reichlich in Einsatzpulver eingepackt. Der übrige Teil des Kastens wird mit Asche gefüllt, darauf kommt eine Schicht, bestehend aus einem Brei aus in Wasser angerührtem Lehm vermengt mit Asche. In diese Lehmdecke drückt man nun den Deckel des Einsatzkastens und verschmiert die Ränder und Ecken des Deckels sorgfältig mit Lehm. Auf diese Weise erreicht man einen guten luftdichten Abschluß des Kasteninhaltes, die Hauptsache für den Erfolg beim Einsetzen. Vorsichtshalber umwickelt man den Kasten noch kreuz und quer mit Bindendraht. Bohrt man in das eine Kopfende des Kastens ein Loch von etwa 15 bis 20 mm Durchmesser, so kann ein an dieser Stelle eingesetzter Versuchsbolzen auch während der Feuerbehandlung aus dem

<sup>1)</sup> Siehe S. 189.

Einsätze herausgenommen und abgekühlt werden, dessen Bruchfläche jederzeit Aufschluß über die Tiefe der harten Schicht gibt. Ist die Kohlung noch nicht tief genug eingedrungen, so

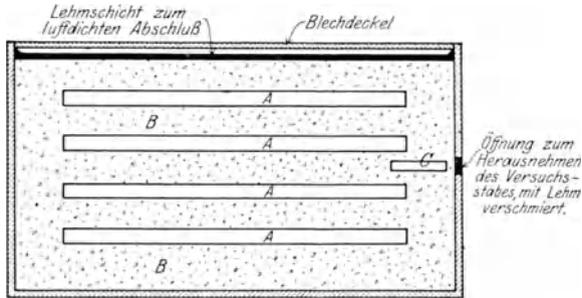


Abb. 157. Einpacken von Stäben im Einsatzkasten.

- A = Werkzeug- oder Schnellstahl.  
 B = klein gestoßene Holzkohle mit feingesiebten Ascheresten vermengt.  
 C = Probier- oder Versuchsbolzen.

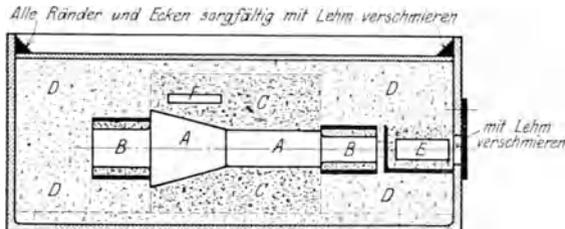


Abb. 158. Maschinenteil im Einsatzkasten.

- A = zu härtende Teile.  
 B = Teile, die weich bleiben sollen.  
 C = klein gestoßene Holzkohle.  
 D = feingesiebte Asche.  
 E und F = Versuchsbolzen.

bleibt der Einsatz entsprechende Zeit länger im Ofen (Abb. 157 und 158).

Außer diesem Probierbolzen bringt man in den Kasten zu dem eingesetzten Werkstück noch einen zweiten, blank gearbeiteten, von etwa 13 bis 16 mm Durchmesser, der später zusammen mit dem Einsatzstück abgekühlt wird. Er dient einmal zur Feststellung der tatsächlich erreichten Härtetiefe und dann als Kontrollstück für evtl. Reklamationen. Zu letzterem Zwecke wird er gekennzeichnet, mit einer Leitkarte versehen, die Datum,

Tag, Zeitdauer des Einsatzes, Benennung des Einsatzstückes, Nummer des Ofens, falls mehrere solcher vorhanden sind, und alles sonst nötige Wissenswerte enthalten muß, und aufbewahrt.

Die Feuerbehandlung richtet sich nach Größe und Umfang des Einsatzstückes; in der Regel genügen 6 bis 8 Stunden bei etwa 850 bis 900° C. Die Anwendung höherer Temperaturen, um die Einsatzdauer zu beschleunigen, ist schädlich (Abb. 159).

Nach Verlauf von etwa 6 bis 8 Stunden prüft man am Probierbolzen die Härtetiefe. Ist die Kohlung hinreichend tief eingedrungen, so nimmt man das Einsatzstück aus dem Kasten, bürstet es mit der Stahldrahtbürste sauber ab und läßt es langsam erkalten; danach erwärmt man von neuem in der Muffel auf 750 bis 800° C und härtet in kaltem Wasser ab unter Hin- und Herbewegen, wie vorher ausgeführt wurde.



Abb. 159. Grobkörniger Bruch an Kanten und Ecken eines eingesetzten Stahles; es wurde zu hohe Glüh-temperatur angewendet. (Aus Schäfer, Konstruktionsstähle.)

Würde man das Abkühlen sofort nach dem Herausnehmen aus dem Einsatz vornehmen, so würde die Härte nicht intensiv genug sein, die Gefahr des Verziehens wäre besonders groß und das Material wird spröde.

Soll ein Werkstück nicht überall, sondern nur an bestimmten Stellen die Härte annehmen, so umgibt man die nicht zu kohlen- den, also weich bleibenden Teile mit einer etwa 10 mm dicken Lehmschicht, die man der besseren Haltbarkeit wegen mit einem Blechstreifen umlegt und mit Bindendraht umwickelt. Im Einsatz- kasten werden diese Stellen nicht mit Härtepulver, sondern mit Asche umgeben (Abb. 160 bis 163).

Bei Massenartikeln wie Unterlegscheiben, Muttern, Stifte, einfache kleine Maschinenteile u. a. m., die keine tiefe Härte verlangen, an der Oberfläche jedoch glashart sein sollen, ver- fährt man wie folgt:

Ein mit Härtepulver gefüllter Tiegel wird auf offenem Feuer oder im Härteofen auf einer Temperatur von etwa 900° C gehalten. In die Lösung werden die auf einen Draht gereihten rotwarm vor-

gewärmten Teile gelegt und etwa 30 Minuten darin belassen. Die so zementierten Stücke werden dann in kaltem Wasser, leicht sich verziehende oder zur Rißbildung neigende in Öl, unter lebhaftem Hin- und Herbewegen abgekühlt. Die Farbe der abgeschreckten Teile ist stahlgrau.

Nachstehend angeführte Einsatz- und Härtemittel sind lang-

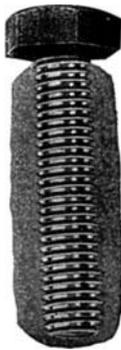


Abb. 160.



Abb. 161.



Abb. 162.



Abb. 163.

Werkstücke, bei denen die weich bleibenden Teile mit einer Schutzmasse umgeben sind.  
(Nach Ausführungen der Simplonwerke, Aue i. S.)

Um der Härterei die nicht zu härtenden Teile besonders kenntlich zu machen, werden sie in der mechanischen Werkstatt bez. in der Prüfstelle durch einen Farbanstrich hervorgehoben.

jährig erprobt und arbeiten durchaus zuverlässig. Ihre Zusammenstellung ist so einfach, daß sie jeder Härter selbst herstellen kann.

#### **Einsatzmittel für Siemens-Martin-Stahl und Eisen.**

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 2 Teile pulverisiertes blausaures Kali | 4 Teile Hornmehl                 |
| 1 Teil kalzinierte Soda                | 2 Teile Knochenmehl              |
| 3 Teile pulverisierte Holzkohle        | 2 Teile pulverisierte Lederkohle |
| 3 Teile Schlämmkreide.                 | 2 Teile kalzinierte Soda.        |

5 Teile gestoßene Holzkohle	1 Teil Ruß
3 Teile feines Kochsalz	4 Teile Bariumkarbonat
2 Teile Lederkohle.	6 Teile pulverisierte Holzkohle.

**Härtemittel für Eisen und Stahl zum Gebrauche im offenen Feuer.**

1 Teil kalzinierte Soda	1 Teil pulverisierte Holzkohle
4 Teile blausaures Kali	etwas Gummi arabicum.
2 Teile feines Salz	

Anwendung: Der zu härtende Gegenstand wird dunkelrotwarm gemacht, mit dem Härtepulver bestreut, in reinem hellroten Feuer 2 bis 3 mal abgebrannt und in kaltem Wasser abgehärtet.

**Härtemittel zum Bestreichen von Fräsern, Gewindebohrern u. ä.**

Fräser, Gewindebohrer und andere Werkzeuge mit vorspringenden dünnen Ecken, Zähnen usw., die beim Erhitzen an diesen dünnen Stellen leicht zu warm werden und entkohlen, werden mit der hier angegebenen Paste bestrichen:

5 Teile Schlammkreide
2 Teile blausaures, pulverisiertes Kali
1 Teil feines Salz.

Das Ganze wird mit Wasser zu einem Teige angerührt. Die handwarm gemachten Fräser oder sonstigen Werkzeuge werden damit an den vorspringenden Teilen bestrichen, das Werkzeug zum endgültigen Erhitzen in die Muffel oder das Feuer gebracht. Vor dem Abschrecken in Wasser ist der Schutzüberzug durch Abbürsten mit Stahldrahtbürste zu entfernen. Das Abkühlen erfolgt in Wasser.

**Härtemittel für Feilen, Raspeln usw.**

2 bis 3 Teile reines Hufmehl
1 Teil blausaures Kali
2 Teile Salz.

Diese drei Teile werden mit Wasser zu einem Teil angerührt, mit dieser Paste werden die Feilen vollkommen bestrichen und nach völligem Antrocknen in der Glüh- bzw. Härtemuffel auf etwa 850° C erwärmt, je nach der Güte des verwandten Stahles. Man härtet dann in gesättigtem Salzwasser ab.

## XVII. Rückkühlvorrichtungen für Härteöl.

Zur Kühlung größerer Ölmengen ausgedehnterer Betriebe genügen Anlagen, bei denen der Ölbehälter in einem kühlenden Wasserbade hängt, nicht mehr. Bei der großen Anzahl der zu härtenden Werkzeuge wird das Ölbad sehr bald eine höhere Temperatur annehmen, während ein Konstanthalten derselben wesentlich zum Erfolge beim Härten beiträgt.

Um die dem Öl zugeführten Wärmemengen sicher und gleichmäßig abzuführen, sind Sonderkonstruktionen entstanden, von denen diejenige nach dem Verfahren Zimmermann kurz erläutert werden soll.

Das zu kühlende Öl wird so durch einen Röhrenkühler geleitet, daß das heiße Öl auf einem bestimmten Wege an der Außenwandung der Kupferrohre, das Kühlwasser im Gegenstrom durch die Rohre fließt. Aus der Schnittabb. 164 ist die Öl- und Wasserführung ersichtlich. Die besondere Führung der zu kühlenden Ölmenge berücksichtigt dabei die Zusammensetzung des Härteöles. Jedes Öl besteht bekanntlich aus Paraffinen mit verschiedenen Schmelzpunkten. Leitet man das heiße Öl durch glatte Kühlschlangen oder durch mittels Rohrschlangen gekühlte Behälter, so werden die schwer schmelzbaren Paraffine zuerst erstarren und sich an den glatten Rohr- oder Behälterwandungen ablagern. Diese Ablagerungen bilden eine Isolierschicht an den Kühlrohren und verhindern die Kühlwirkung. In den Kühlern Bauart Dr. Zimmermann wird das Öl durch die eigenartige Führung immer wieder durcheinandergewirbelt und dadurch ein Ablagern der schwer schmelzbaren Paraffine verhindert; das Öl verläßt den Kühler in der gleichen Zusammensetzung, in der es hineingeleitet wurde, es bleibt sich also stets gleich.

Bei dieser Gelegenheit seien kurz die auftretenden Verunreinigungen des Härteöles erwähnt. In fast allen Fällen kann

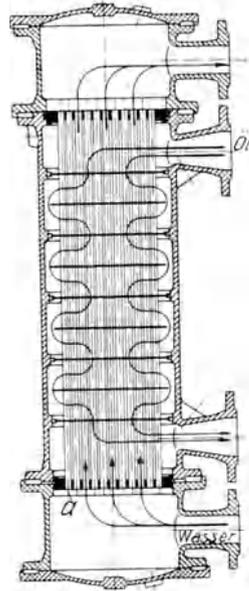


Abb. 164. Röhrenkühler  
im Schnitt.

man in den Härte- und Kühlbehältern nach kurzer Betriebsdauer eine Verschlammung feststellen. Abgesehen von der mechanischen Verunreinigung des Öles durch abspringenden Zunder oder sonstige Beimengungen ist die Verunreinigung bei den bisher üblichen Anlagen durch die oben erwähnte Ausscheidung der schwer schmelzbaren Paraffine zu erklären. Durch den Zimmermann-Kühler wird einer Zerstörung des Öles sowie einer Behinderung des Betriebes wirksam vorgebeugt.

Die Ölkühler werden mit gußeisernen Gehäusen ausgeführt; zur bequemen Reinigung der Wasserwege ohne die Leitungen abbauen zu müssen, erhalten sie Wasserkammern; die Röhrenbündel bestehen in der Regel aus Kupferrohren mit Messingböden, wobei jedes Bündel nur mit der einen Wandung eingespannt ist, das andere Ende sich frei bewegen kann, wodurch jede Wärmespannung ferngehalten wird. Das bewegliche Bündelende ist gut, aber nachgebend abgedichtet. Durch Lösen weniger Schrauben läßt sich das Röhrenbündel zur Reinigung an den Außenflächen bequem herausnehmen.

Die Ausführungsform der Ölkühler ist liegend oder stehend. Erstere Form ist bei besonders stark absetzendem Kühlwasser vorzuziehen, weil die Reinigung bequemer ist als bei letzterer, die allerdings die gebräuchlichere ist. In der Hauptsache richtet sich die Wahl der Ausführung nach den jeweiligen Verhältnissen, doch ist immer der Platz zum Herausziehen des Bündels freizuhalten. Ist für einen gegebenen Fall ein einfacher Kühler unvorteilhaft oder nicht ausreichend, so werden mehrere Einfachkühler hintereinander geschaltet (Abb. 165).

Das zu kühlende Öl enthält, wie oben gesagt, Unreinigkeiten. Um diese abzuscheiden ist am Kühlbehälter in der Abflußöffnung des heißen Öles ein offenes Vorfilter vorgesehen, durch das grobe Unreinigkeiten zurückgehalten werden. Vor den Ölkühlern ist zum Ausscheiden feinerer Schmutzteilchen ein besonders wirksames Filter eingebaut, dessen Filterkörbe mit feinem Bronzedrahtgewebe bespannt sind. Mittels zweier Dreiweghähne ist dieses Filter umschaltbar, so daß eine Filterhälfte auch während des Betriebes gereinigt werden kann.

Die Kühlanlage wird zweckmäßig in der Nähe des Abkühlbehälters aufgestellt. Das Öl soll der Umwälzpumpe in möglichst gerader Leitung mit leichten Gefällen zufließen. Als Umwälz-

pumpe wird im allgemeinen eine Zentrifugalpumpe gewählt, da wegen der stets im Öl vorhandenen Unreinigkeiten, wie Hammer Schlag, Walzhaut, sowie Rückstände von verbranntem Öl eine Kolbenpumpe weniger geeignet ist.

Da die Kühlanlage für eine mittlere stündliche Kühlleistung

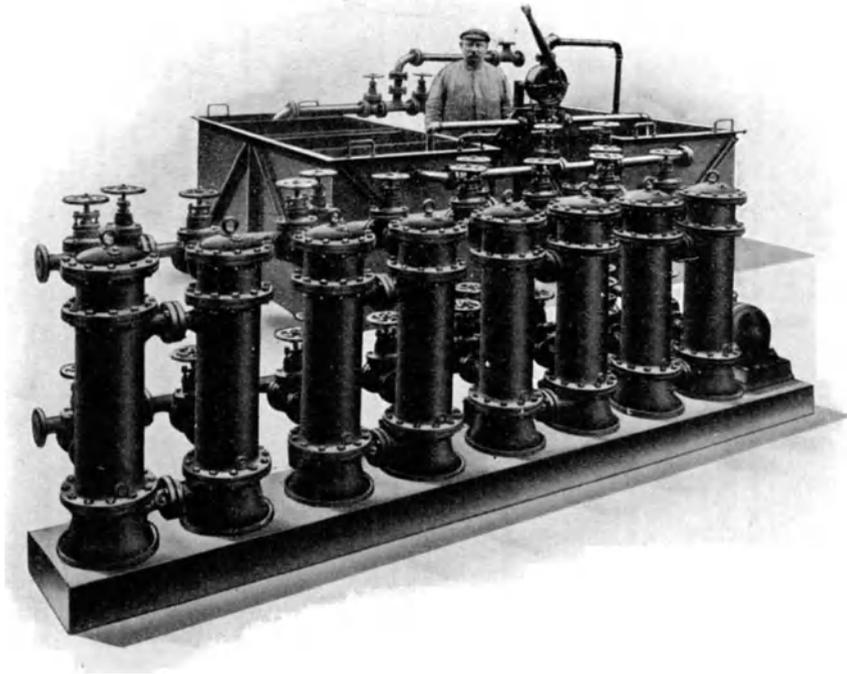


Abb. 165. Öl-Rückkühlanlage.

berechnet ist, wodurch sich ihre Verteilung auf die gesamte Betriebszeit ergibt, muß die Pumpe dauernd in Betrieb bleiben und darf während der Betriebspausen oder bei unregelmäßigem Betrieb nicht stillgesetzt werden. Ein kurz hinter der Druckleitung eingeschaltetes Manometer soll eine Druckhöhe von 0,6 bis 1 at entsprechend 6 bis 10 m WS Widerstandshöhe anzeigen. Da die Ölpumpe im allgemeinen für eine zu überwindende Gesamtwiderstandshöhe von 15 m WS gewählt wird, ist sie stets

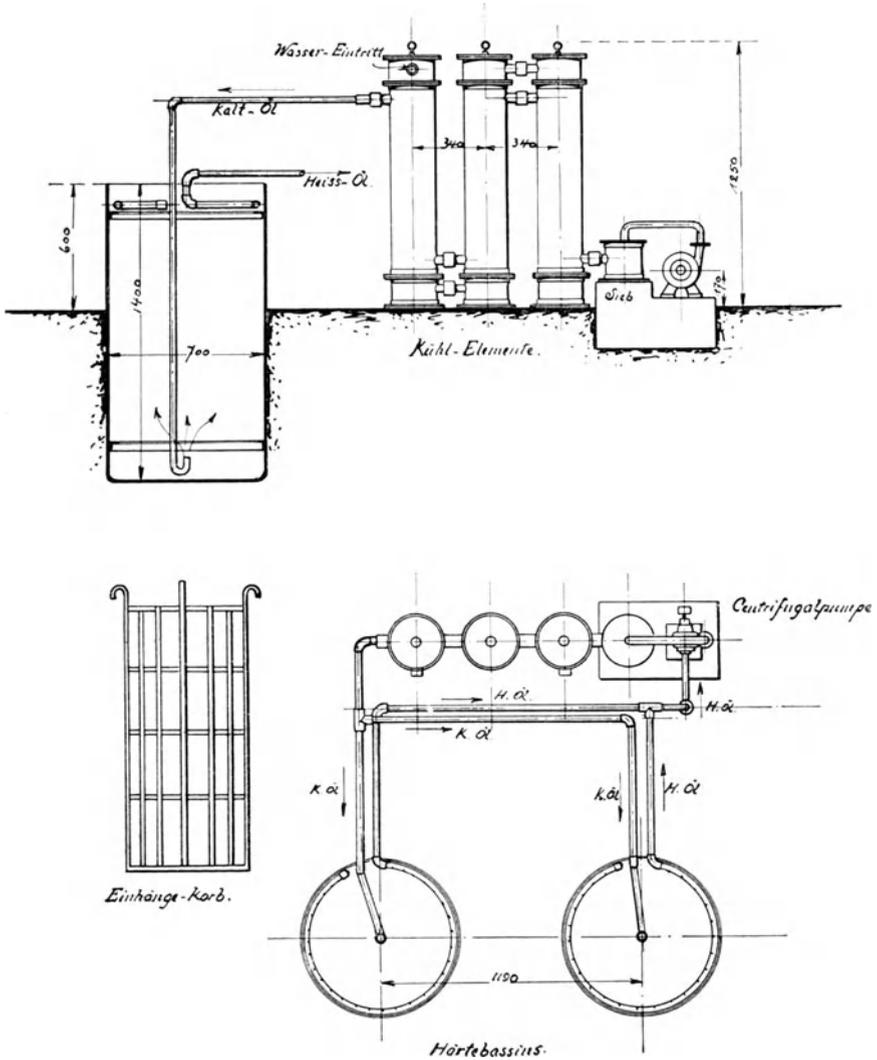


Abb. 166. Öl-Rückkühlanlage.

in der Lage, die vorkommenden Widerstände zu überwinden, wobei vorausgesetzt ist, daß die Kühlanlage selbst nicht allzuweit vom Härtebehälter entfernt steht.

Besonders zu beachten ist, daß sowohl das zu kühlende Öl wie auch das Kühlwasser unter Druck durch die Apparate zu führen ist, um diese voll auszunützen.

Unter besonders schwierigen Verhältnissen arbeiten die Härteöl-Rückkühler, wenn eine sehr starke Ölärmung erfolgt, infolgedessen auch eine verstärkte Kühlung notwendig ist. Dieser Fall liegt überall da vor, wo ein großes Einzelstück, ein einziges verhältnismäßig schweres Werkstück also, in ein entsprechendes Ölbassin von geringem Ölinhalt getaucht wird. Hier wird die Ölrückkühlanlage zweckmäßig mehrfach unterteilt und ein Drillings-, Vierlings- bis Sechslingskühler aufgestellt.

In dem Augenblick, wo der Stahlkörper von etwa 900° C in das etwa 25° bis 30° C warme Ölbad eingetaucht wird, findet eine außerordentliche Wärmestrahlung vom Stahl an das Öl statt. Die Oberfläche des Stahles wird gekühlt, während der Kern zunächst heiß bleibt; das hochehitze Öl erfährt einen starken Auftrieb, steigt rasch an die Oberfläche, wo es leicht verdampft oder sich auch entzündet. Hieraus ergibt sich die Folgerung, das heiße Öl von der Behälteroberfläche möglichst zu entfernen.

Abb. 166 zeigt eine derartige Ölrückkühlanlage. Die Abnahme des heißen Öles erfolgt durch ein ringförmig gebogenes Rohr mit einer entsprechenden Anzahl Öffnungen an der Oberfläche der Härteflüssigkeit, die Zuführung des gekühlten Öles aus den Kühlern durch ein bis fast auf den Boden geführtes Zuleitungsrohr. Das zu kühlende heiße Öl wird von einer Zentrifugalpumpe angesaugt und den Kühlern zgedrückt; zum Ausscheiden der erwähnten Unreinigkeiten ist ein Sieb in einem Topf hinter die Pumpe eingebaut.

Bei Betriebsstörungen in der Kühlanlage, die sich dadurch bemerkbar machen, daß die verlangte Leistung nicht erreicht wird, kann es möglich sein, daß in der Ölsaugleitung die Widerstände zu groß geworden sind. Zeigt das Manometer zu hohen Druck an, so ist das Filter in der Öldruckleitung zu säubern bzw. die Druckleitung durchzublasen. In größeren Zeitabständen empfiehlt es sich die Ölkühler durch Auswaschen mit Azetonöl zu reinigen.

### XIX. Sonstige Hilfsmittel einer Härtereier.

Hierunter sind zunächst zu erwähnen und erforderlichlich eine größere Anzahl Zangen zum Erfassen der verschiedenartigen Werkzeuge. Sie sind in verschiedener Größe und Form, mit

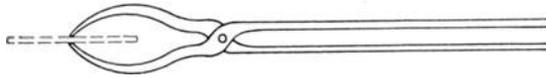


Abb. 167. Zangenform.

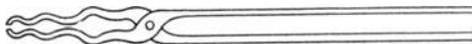


Abb. 168. Zangenform für runde Werkzeuge.



Abb. 169. Zangenständer.

entsprechend geformtem Maule vorrätig zu halten. Es ist besonders darauf zu achten, daß das Maul der Zange mit dem

erfaßten Gegenstände möglichst wenige Berührungspunkte hat, denn die von der Zange bedeckten Teile des zu härtenden Werkzeuges werden nicht rasch genug abgekühlt; die Härtung ist infolgedessen ungleichmäßig, Härterisse nehmen an der von der Zange erfaßten Stelle ihren Ausgang. Man verwendet zum Erfassen der zu härtenden Werkzeuge Zangen, deren Maul in möglichst scharfe Spitzen oder Schneiden ausläuft (Abb. 167).

Für runde Werkzeuge, Spiralbohrer, Schneidbohrer u. dgl. nimmt man Zangen, deren Maulform (Abb. 168) zeigt.

Um die Zangen möglichst warm zu halten, sind die Schenkel

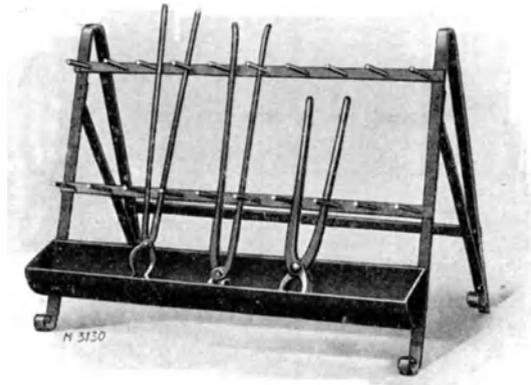


Abb. 170. Zangenständer.

aus Gasrohr hergestellt. Die nicht gebrauchten Zangen sind geordnet und übersichtlich, zum sofortigen Gebrauche bereit, aufzuhängen. Eine geeignete Vorrichtung hierzu bringt Abb. 169.

Zur weiteren Ausrüstung einer Härterei gehören noch eine Anzahl Gebrauchsgegenstände, von denen einige hier angeführt werden mögen:

Draht in verschiedenen Stärken, zum Anfertigen von Drahtkörben, Dreibeinen u. ä. m. (Abb. 171).

Bleche zur Anfertigung der verschiedenen Kästen für Sandbäder, Muffeln, Brausen;

Rohre verschiedenen Durchmessers, Verbindungs- und Anschlußstücke dazu zur Herstellung von Abkühlvorrichtungen (Abb. 172 und 173).

Drahtbürsten, zum Reinigen der Schweißstellen von Glühspan;

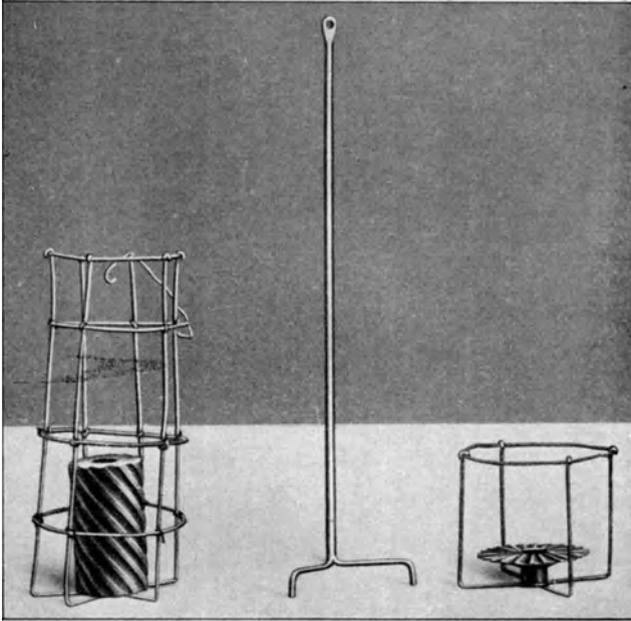


Abb. 171. Drahtkörbe und Dreibein mit zu härtenden Fräsern.

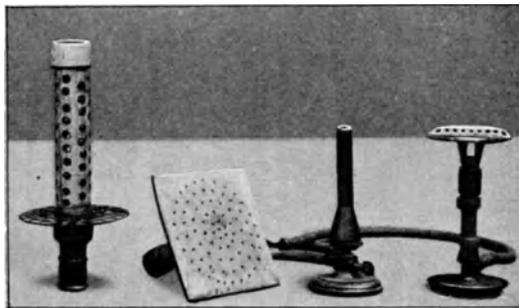


Abb. 172. Blaubrenner. Verschiedene Formen von Brausen.

Eisen- und Stahlfeilspäne;  
Asbest; Sand für Sandbäder; fein gesiebte Asche u. dgl.

mehr. Viele Dinge sind hier verwendbar, die sonst in den Schrot- und Abfallhaufen wandern.

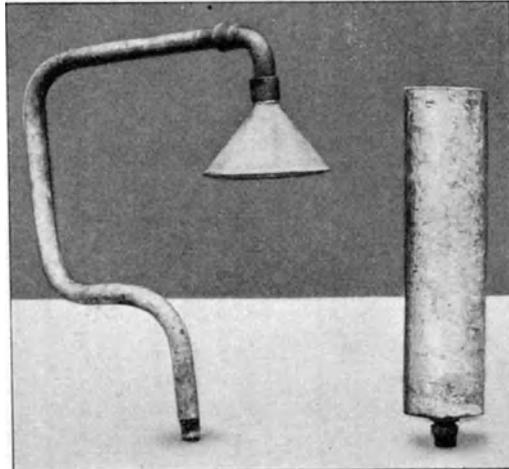


Abb. 173. Verschiedene Formen von Brausen.

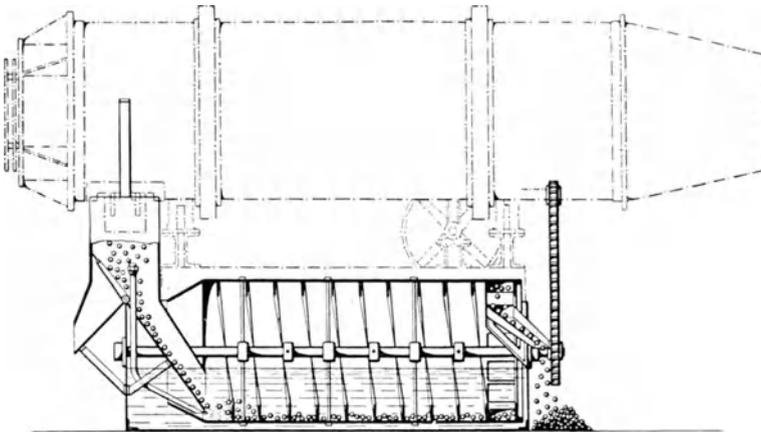


Abb. 174. Glüh- und Härtemaschine im Schnitt.

Sonderfabrikationen erfordern in der Regel Sondereinrichtungen, dies um so mehr, wenn es sich um die Herstellung von Massenartikeln handelt.

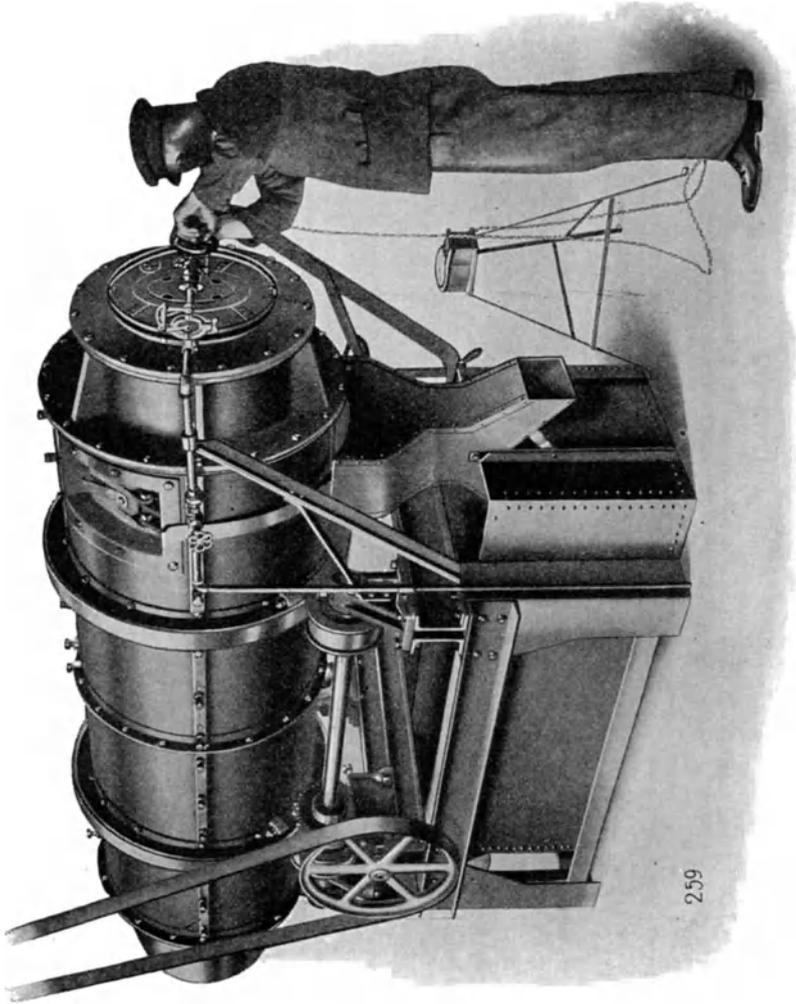


Abb. 175. Glüh- und Härtemaschine. Ansicht.

Zum Glühen kleiner Stahlteile, z. B. Stahlkugeln zur Herstellung von Kugellagern, mit nachfolgendem Härten, verwendet man Glüh- und Härtemaschinen mit Gas- bzw. Ölfeuerung.

In der Hauptsache besteht die Glühmaschine aus einem Glühzylinder aus Eisenblech, auf Rollen gelagert und von diesen in Umdrehungen versetzt, der mit hochfeuerfesten Schamottesteinen in Form einer Gewindemutter ausgemauert ist. Das Glühgut rollt durch die Gewindegänge hindurch und fällt am anderen Ende durch eine entsprechende Austragvorrichtung in den darunter angeordneten Härtetrog. Eine in diesem angeordnete Transportschnecke, die von der Glühtrommel mittels Kette und Kettenrad angetrieben wird, befördert das Härtegut an das entgegengesetzte Ende des Troges, wo eine geeignete Hebevorrichtung die gehärteten Teile in ein bereitstehendes Gefäß befördert. Abb. 174 und 175 zeigen Glüh- und Härtemaschine, wie auch die Einrichtungen zur dauernden Temperaturkontrolle.

## XIX. Anhang.

### Preise des Stahles.

Es wurde an anderer Stelle darauf aufmerksam gemacht, beim Stahleinkauf auf die Herkunft des Stahles und den Ruf des erzeugenden Werkes in Verbraucherkreisen unter allen Umständen zu achten. Diese Forderung soll nun noch eine Erweiterung dahin erfahren, die Einkaufs- und Überpreise der einzelnen Stahlsorten ständig nachzuprüfen. Mit geringen Abweichungen sind die Verkaufspreise der erstklassigsten und bekanntesten Werkzeuggußstahlwerke für die im Handel vorkommenden Ia Qualitäten durchweg die gleichen.

Zur Zeit gliedern sich die Stahlpreise in:

1. Grundpreise.
2. Überpreise. Sie sind abhängig vom Querschnitt und der Länge.
3. Glühaufschlag 0,10 M. für 1 kg.
4. Zuschlag für Vergüten 0,20 M. für 1 kg.
  - a) Kohlenstoffstähle. Die Grundpreise für 1 kg sind:
    - 1,00 M.; 1,35 M.; 1,65 M.; 1,95 M.
  - b) Legierte Spezialstähle. Die Grundpreise für 1 kg variieren von 2,50 M. bis 4,50 M.
  - c) Chrom-Nickel-Stähle. Die Grundpreise für 1 kg betragen etwa 0,80 M. bis 1,40 M. je nach dem Ni-Gehalt.
  - d) Schnellstähle. Die Grundpreise für 1 kg ändern sich je nach der Güte der Stähle:
    - 5,00 M.; 6,00 M.; 7,80 M.; 10,40 M.; 12,00 M.

Umwandlung von englischen Zollen in Millimeter  
1 englischer Zoll = 25,3995 mm.

Zoll	mm	Zoll	mm	Zoll	mm
$\frac{1}{64}$	0,3968	$\frac{21}{64}$	8,3342	$\frac{41}{64}$	16,2715
$\frac{1}{32}$	0,7937	$\frac{11}{32}$	8,7310	$\frac{21}{32}$	16,6684
$\frac{3}{64}$	1,1906	$\frac{23}{64}$	9,1279	$\frac{43}{64}$	17,0653
$\frac{1}{16}$	1,5874	$\frac{3}{8}$	9,5248	$\frac{11}{16}$	17,4621
$\frac{5}{64}$	1,9843	$\frac{25}{64}$	9,9216	$\frac{45}{64}$	17,8590
$\frac{3}{32}$	2,3812	$\frac{13}{32}$	10,3185	$\frac{23}{32}$	18,2559
$\frac{7}{64}$	2,7780	$\frac{27}{64}$	10,7154	$\frac{47}{64}$	18,6527
$\frac{1}{8}$	3,1749	$\frac{7}{16}$	11,1122	$\frac{3}{4}$	19,0496
$\frac{9}{64}$	3,5718	$\frac{29}{64}$	11,5091	$\frac{49}{64}$	19,4465
$\frac{5}{32}$	3,9686	$\frac{15}{32}$	11,9060	$\frac{25}{32}$	19,8433
$\frac{11}{64}$	4,3655	$\frac{31}{64}$	11,3029	$\frac{51}{64}$	20,2402
$\frac{3}{16}$	4,7624	$\frac{1}{2}$	12,6997	$\frac{13}{16}$	20,6371
$\frac{13}{64}$	5,1592	$\frac{33}{64}$	13,0966	$\frac{53}{64}$	21,0339
$\frac{7}{32}$	5,5561	$\frac{17}{32}$	13,4934	$\frac{27}{32}$	21,4308
$\frac{15}{64}$	5,9530	$\frac{35}{64}$	13,8903	$\frac{55}{64}$	21,8277
$\frac{1}{4}$	6,3498	$\frac{9}{16}$	14,2872	$\frac{7}{8}$	22,2245
$\frac{17}{64}$	6,7467	$\frac{37}{64}$	14,6841	$\frac{57}{64}$	22,6214
$\frac{9}{32}$	7,1436	$\frac{19}{32}$	15,0809	$\frac{29}{32}$	23,0183
$\frac{19}{64}$	7,5404	$\frac{39}{64}$	15,4778	$\frac{59}{64}$	23,4151
$\frac{5}{16}$	7,9373	$\frac{5}{8}$	15,8748	$\frac{15}{16}$	23,8120

Zoll	mm
$\frac{61}{64}$	24,2089
$\frac{31}{32}$	24,6057
$\frac{63}{64}$	25,0026
1	25,3995

<sup>1)</sup> Vergl. Druckschrift der Vereinigten Edelstahlwerke G. m. b. H., Dortmund.

## Gewichtstabelle.

(1 cbm Stabstahl wiegt ca. 7870 kg.)

Dicke mm	Gewicht in kg pro Meter			Dicke mm	Gewicht in kg pro Meter			Dicke mm	Gewicht in kg pro Meter		
	4kant.	6kant.	rund		4kant.	6kant.	rund		4kant.	6kant.	rund
5	0,195	0,169	0,159	50	19,500	16,888	15,815	180	252,720	218,862	198,486
6	0,281	0,243	0,221	52	21,091	18,266	16,565	185	266,955	231,190	209,666
7	0,382	0,331	0,300	54	22,745	19,688	17,864	190	281,580	243,866	221,152
8	0,499	0,432	0,392	56	24,461	21,184	19,211	195	296,595	256,869	232,945
9	0,632	0,547	0,496	58	26,239	22,724	20,608	200	312,000	270,200	245,044
10	0,780	0,676	0,618	60	28,080	24,318	22,054	205	327,795	283,879	257,450
11	0,944	0,817	0,741	62	29,988	25,965	23,549	210	343,980	297,896	270,161
12	1,123	0,973	0,882	64	31,949	27,668	25,099	215	360,555	312,250	283,179
13	1,318	1,142	1,035	66	33,977	29,425	26,685	220	377,520	326,942	296,504
14	1,529	1,324	1,201	68	36,067	31,235	28,327	225	394,875	341,972	310,134
15	1,755	1,520	1,378	70	38,220	33,100	30,018	230	412,620	357,340	324,071
16	1,997	1,729	1,568	72	40,435	35,018	31,758	235	430,755	373,045	338,314
17	2,254	1,952	1,770	74	42,713	36,990	33,547	240	449,280	389,088	352,864
18	2,527	2,189	1,985	76	45,058	39,017	35,384	245	468,195	405,469	367,720
19	2,816	2,439	2,212	78	47,455	41,097	37,271	250	487,500	422,188	382,882
20	3,120	2,702	2,450	80	49,920	43,232	39,207	255	507,195	439,244	398,350
21	3,440	2,979	2,702	85	56,355	48,805	44,261	260	527,250	456,688	414,125
22	3,775	3,269	2,965	90	63,180	54,716	49,621	265	547,755	474,370	430,206
23	4,126	3,573	3,241	95	70,395	60,964	55,288	270	568,620	492,440	446,598
24	4,493	3,891	3,529	100	78,000	67,550	61,261	275	589,875	510,847	463,287
25	4,875	4,222	3,829	105	85,995	74,474	67,540	280	621,520	529,592	480,287
26	5,273	4,566	4,141	110	94,380	81,736	74,126	285	653,555	548,676	497,598
27	5,686	4,924	4,466	115	103,155	89,535	81,018	290	685,980	568,096	515,206
28	6,115	5,296	4,805	120	112,320	97,272	88,216	295	718,795	587,864	533,124
29	6,560	5,681	5,152	125	121,875	105,547	95,720	300	752,000	607,960	551,350
30	7,020	6,080	5,513	130	131,820	114,160	103,581	305	785,595	628,384	569,881
32	7,987	6,917	6,273	135	142,155	123,110	111,648	310	749,590	649,156	588,719
34	9,017	7,809	7,082	140	152,880	132,398	120,072	315	775,955	670,266	607,869
36	10,109	8,754	7,989	145	163,995	142,024	128,804	320	798,720	691,712	627,313
38	11,263	9,754	8,846	150	175,500	151,988	137,837	325	828,875	713,497	647,070
40	12,480	10,808	9,802	155	187,395	162,289	147,180	330	849,420	735,620	667,133
42	13,759	11,916	10,806	160	199,680	172,928	156,828	335	875,355	758,080	687,502
44	15,101	13,078	11,860	165	212,355	183,905	166,783	340	901,680	780,878	708,178
46	16,505	14,294	12,953	170	225,420	195,220	177,044	345	928,395	804,014	729,160
48	17,971	15,564	14,115	175	238,872	206,872	187,612	350	955,500	827,438	750,448

von Ed. Dörrenberg Söhne, Stahlwerke, Runderoth, den Verfassern zum Abdruck überlassen.

Gewichtstabelle für Flachstähle.

Dicke in mm	Breite in mm																Dicke in mm												
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	25	26	28		30	32	34	35	36	38	40	42	44	45	46	48
1	0,094	0,109	0,124	0,139	0,154	0,169	0,184	0,199	0,214	0,229	0,244	0,259	0,274	0,289	0,304	0,319	0,334	0,349	0,364	0,379	0,394	0,409	0,424	0,439	0,454	0,469	0,484	0,499	0,514
2	0,158	0,180	0,202	0,224	0,246	0,268	0,290	0,312	0,334	0,356	0,378	0,400	0,422	0,444	0,466	0,488	0,510	0,532	0,554	0,576	0,598	0,620	0,642	0,664	0,686	0,708	0,730	0,752	0,774
3	0,231	0,264	0,297	0,330	0,363	0,396	0,429	0,462	0,495	0,528	0,561	0,594	0,627	0,660	0,693	0,726	0,759	0,792	0,825	0,858	0,891	0,924	0,957	0,990	1,023	1,056	1,089	1,122	1,155
4	0,312	0,357	0,402	0,447	0,492	0,537	0,582	0,627	0,672	0,717	0,762	0,807	0,852	0,897	0,942	0,987	1,032	1,077	1,122	1,167	1,212	1,257	1,302	1,347	1,392	1,437	1,482	1,527	1,572
5	0,401	0,458	0,515	0,572	0,629	0,686	0,743	0,800	0,857	0,914	0,971	1,028	1,085	1,142	1,199	1,256	1,313	1,370	1,427	1,484	1,541	1,598	1,655	1,712	1,769	1,826	1,883	1,940	1,997
6	0,498	0,567	0,636	0,705	0,774	0,843	0,912	0,981	1,050	1,119	1,188	1,257	1,326	1,395	1,464	1,533	1,602	1,671	1,740	1,809	1,878	1,947	2,016	2,085	2,154	2,223	2,292	2,361	2,430
7	0,603	0,684	0,765	0,846	0,927	1,008	1,089	1,170	1,251	1,332	1,413	1,494	1,575	1,656	1,737	1,818	1,899	1,980	2,061	2,142	2,223	2,304	2,385	2,466	2,547	2,628	2,709	2,790	2,871
8	0,716	0,809	0,902	0,995	1,088	1,181	1,274	1,367	1,460	1,553	1,646	1,739	1,832	1,925	2,018	2,111	2,204	2,297	2,390	2,483	2,576	2,669	2,762	2,855	2,948	3,041	3,134	3,227	3,320
9	0,837	0,942	1,047	1,152	1,257	1,362	1,467	1,572	1,677	1,782	1,887	1,992	2,097	2,202	2,307	2,412	2,517	2,622	2,727	2,832	2,937	3,042	3,147	3,252	3,357	3,462	3,567	3,672	3,777
10	0,966	1,083	1,200	1,317	1,434	1,551	1,668	1,785	1,902	2,019	2,136	2,253	2,370	2,487	2,604	2,721	2,838	2,955	3,072	3,189	3,306	3,423	3,540	3,657	3,774	3,891	4,008	4,125	4,242
11	1,103	1,232	1,361	1,490	1,619	1,748	1,877	2,006	2,135	2,264	2,393	2,522	2,651	2,780	2,909	3,038	3,167	3,296	3,425	3,554	3,683	3,812	3,941	4,070	4,199	4,328	4,457	4,586	4,715
12	1,248	1,389	1,530	1,671	1,812	1,953	2,094	2,235	2,376	2,517	2,658	2,799	2,940	3,081	3,222	3,363	3,504	3,645	3,786	3,927	4,068	4,209	4,350	4,491	4,632	4,773	4,914	5,055	5,196
13	1,401	1,554	1,707	1,860	1,999	2,138	2,277	2,416	2,555	2,694	2,833	2,972	3,111	3,250	3,389	3,528	3,667	3,806	3,945	4,084	4,223	4,362	4,501	4,640	4,779	4,918	5,057	5,196	5,335
14	1,562	1,725	1,888	2,051	2,214	2,377	2,540	2,703	2,866	3,029	3,192	3,355	3,518	3,681	3,844	4,007	4,170	4,333	4,496	4,659	4,822	4,985	5,148	5,311	5,474	5,637	5,800	5,963	6,126
15	1,731	1,905	2,079	2,253	2,427	2,601	2,775	2,949	3,123	3,297	3,471	3,645	3,819	3,993	4,167	4,341	4,515	4,689	4,863	5,037	5,211	5,385	5,559	5,733	5,907	6,081	6,255	6,429	6,603
16	1,908	2,094	2,280	2,466	2,652	2,838	3,024	3,210	3,396	3,582	3,768	3,954	4,140	4,326	4,512	4,698	4,884	5,070	5,256	5,442	5,628	5,814	6,000	6,186	6,372	6,558	6,744	6,930	7,116
17	2,093	2,291	2,489	2,687	2,885	3,083	3,281	3,479	3,677	3,875	4,073	4,271	4,469	4,667	4,865	5,063	5,261	5,459	5,657	5,855	6,053	6,251	6,449	6,647	6,845	7,043	7,241	7,439	7,637
18	2,286	2,495	2,704	2,913	3,122	3,331	3,540	3,749	3,958	4,167	4,376	4,585	4,794	5,003	5,212	5,421	5,630	5,839	6,048	6,257	6,466	6,675	6,884	7,093	7,302	7,511	7,720	7,929	8,138
19	2,487	2,707	2,927	3,147	3,367	3,587	3,807	4,027	4,247	4,467	4,687	4,907	5,127	5,347	5,567	5,787	6,007	6,227	6,447	6,667	6,887	7,107	7,327	7,547	7,767	7,987	8,207	8,427	8,647
20	2,696	2,927	3,158	3,389	3,620	3,851	4,082	4,313	4,544	4,775	5,006	5,237	5,468	5,699	5,930	6,161	6,392	6,623	6,854	7,085	7,316	7,547	7,778	8,009	8,240	8,471	8,702	8,933	9,164
21	2,913	3,155	3,407	3,659	3,911	4,163	4,415	4,667	4,919	5,171	5,423	5,675	5,927	6,179	6,431	6,683	6,935	7,187	7,439	7,691	7,943	8,195	8,447	8,699	8,951	9,203	9,455	9,707	9,959
22	3,138	3,391	3,654	3,917	4,180	4,443	4,706	4,969	5,232	5,495	5,758	6,021	6,284	6,547	6,810	7,073	7,336	7,599	7,862	8,125	8,388	8,651	8,914	9,177	9,440	9,703	9,966	10,229	10,492
23	3,371	3,635	3,909	4,183	4,457	4,731	5,005	5,279	5,553	5,827	6,101	6,375	6,649	6,923	7,197	7,471	7,745	8,019	8,293	8,567	8,841	9,115	9,389	9,663	9,937	10,211	10,485	10,759	11,033
24	3,612	3,887	4,172	4,457	4,742	5,027	5,312	5,597	5,882	6,167	6,452	6,737	7,022	7,307	7,592	7,877	8,162	8,447	8,732	9,017	9,302	9,587	9,872	10,157	10,442	10,727	11,012	11,297	11,582
25	3,861	4,147	4,443	4,739	5,035	5,331	5,627	5,923	6,219	6,515	6,811	7,107	7,403	7,699	7,995	8,291	8,587	8,883	9,179	9,475	9,771	10,067	10,363	10,659	10,955	11,251	11,547	11,843	12,139
26	4,118	4,415	4,722	5,029	5,336	5,643	5,950	6,257	6,564	6,871	7,178	7,485	7,792	8,099	8,406	8,713	9,020	9,327	9,634	9,941	10,248	10,555	10,862	11,169	11,476	11,783	12,090	12,397	12,704
27	4,383	4,690	5,007	5,324	5,641	5,958	6,275	6,592	6,909	7,226	7,543	7,860	8,177	8,494	8,811	9,128	9,445	9,762	10,079	10,396	10,713	11,030	11,347	11,664	11,981	12,298	12,615	12,932	13,249
28	4,656	4,973	5,290	5,607	5,924	6,241	6,558	6,875	7,192	7,509	7,826	8,143	8,460	8,777	9,094	9,411	9,728	10,045	10,362	10,679	10,996	11,313	11,630	11,947	12,264	12,581	12,898	13,215	13,532
29	4,937	5,264	5,591	5,918	6,245	6,572	6,899	7,226	7,553	7,880	8,207	8,534	8,861	9,188	9,515	9,842	10,169	10,496	10,823	11,150	11,477	11,804	12,131	12,458	12,785	13,112	13,439	13,766	14,093
30	5,226	5,563	5,900	6,237	6,574	6,911	7,248	7,585	7,922	8,259	8,596	8,933	9,270	9,607	9,944	10,281	10,618	10,955	11,292	11,629	11,966	12,303	12,640	12,977	13,314	13,651	13,988	14,325	14,662
31	5,523	5,870	6,217	6,564	6,911	7,258	7,605	7,952	8,299	8,646	8,993	9,340	9,687	10,034	10,381	10,728	11,075	11,422	11,769	12,116	12,463	12,810	13,157	13,504	13,851	14,198	14,545	14,892	15,239
32	5,828	6,185	6,542	6,899	7,256	7,613	7,970	8,327	8,684	9,041	9,398	9,755	10,112	10,469	10,826	11,183	11,540	11,897	12,254	12,611	12,968	13,325	13,682	14,039	14,396	14,753	15,110	15,467	15,824
33	6,141	6,508	6,875	7,242	7,609	7,976	8,343	8,710	9,077	9,444	9,811	10,178	10,545	10,912	11,279	11,646	12,013	12,380	12,747	13,114	13,481	13,848	14,215	14,582	14,949	15,316	15,683	16,050	16,417
34	6,462	6,839	7,216	7,593	7,970	8,347	8,724	9,101	9,478	9,855	10,232	10,609	10,986	11,363	11,740	12,117	12,494	12,871	13,248	13,625	14,002	14,379	14,756	15,133	15,510	15,887	16,264	16,641	17,018
35	6,791	7,178	7,565	7,952	8,339	8,726	9,113	9,500	9,887	10,274	10,661	11,048	11,435	11,822	12,209	12,596	12,983	13,370	13,757	14,144	14,531	14,918	15,305	15,692	16,079	16,466	16,853	17,240	17,627
36	7,128	7,525	7,922	8,319	8,716	9,113	9,510	9,907	10,304	10,701	11,098	11,495	11,892	12,289	12,686	13,083	13,480	13,877	14,274	14,671	15,068	15,465	15,862	16,259	16,656	17,053	17,450	17,847	18,244
37	7,473	7,880	8,287	8,694	9,101	9,508	9,915	10,322	10,729	11,136	11,543	11,950	12,357	12,764	13,171	13,578	13,985	14,392	14,799	15,206	15,613	16,020	16,427	16,834	17,241	17,648	18,055	18,462	18,869
38	7,826	8,243	8,660	9,077	9,494	9,911	10,328	10,745	11,162	11,579	11,996	12,413	12,830	13,247	13,664	14,081	14,498	14,915	15,332	15,749	16,166	16,583	17,000	17,417	17,834	18,251	18,668	19,085	19,502
39	8,187	8,614	9,041	9,468	9,895	10,322	10,749	11,176	11,603	12,030	12,457	12,884	13,311	13,738	14,165	14,592	15,019	15,446	15,873	16,300	16,727	17,154							

Deutsche Edelstahlwerke<sup>1)</sup>.

Lf. N r.	Name des Werkes	Ort	Elektrostahl-öfen
1.	Bergische Stahl-Industrie, Kommandit-Gesellschaft . . . . .	Remscheid	E
2.	Bergische Stahl-, Walz- u. Hammerwerke, Julius Lindenberg . . . . .	Remscheid-Hasten	E
3.	Bismarckhütte . . . . .	Bismarckhütte, O.-S.	
4.	Gebrüder Bleckmann, Stahlwerke . . . . .	Düsseldorf, Postfach 417	
5.	„Bochumer Verein für Bergbau und Gußstahlfabrik“ und „Gesellschaft für Stahl-Industrie m. b. H.“ . . . . .	Bochum	
6.	Gebr. Böhler & Co., Akt.-Ges. . . . .	Düsseldorf-Oberkassel	
7.	Eicken & Co. . . . .	Hagen i. Westf.	
8.	Glockenstahlwerke, Akt.-Ges. vorm. Rich. Lindenberg . . . . .	Remscheid-Hasten	E
9.	Gußstahlfabrik Felix Bischoff, G. m. b. H. . . . .	Duisburg a. Rh.	
10.	J. A. Henckels Zwillingswerk . . . . .	Solingen	
11.	Carl Kind & Co. . . . .	Bielstein, Rhld.	
12.	Krefelder Stahlwerk, Akt.-Ges. . . . .	Krefeld	
13.	Friedr. Krupp, Akt.-Ges., Gußstahlfabrik . . . . .	Essen, Ruhr	E
14.	Oberschlesische Eisen-Industrie, Akt.-Ges. für Bergbau u. Hüttenbetrieb	Gleiwitz, O.-S.	
15.	Remy-Stahlwerke Stahlschmidt & Co	Hagen i. Westf.	
16.	Rheinische Metallwaren- u. Maschinenfabrik . . . . .	Düsseldorf-Derendorf	E
17.	Röchlingsche Eisen- und Stahlwerke, G. m. b. H. . . . .	Völklingen-Saar	E
18.	Gebrüder Röchling . . . . .	Ludwigshafen a. Rh.	E
19.	Schöntaler Stahl- und Eisenwerke Peter Harkort & Sohn, G. m. b. H.	Wetter, Ruhr	
20.	Siegen-Solinger Gußstahl-Aktien-Verein . . . . .	Solingen	
21.	J. C. Söding & Halbach . . . . .	Hagen i. Westf.	

<sup>1)</sup> Den Verfassern von der „Vereinigung Deutscher Edelstahlwerke“ Düsseldorf, Ludendorffstr. 27, freundlichst mitgeteilt.

## Literaturverzeichnis.

- Bach, C. und R. Baumann: Festigkeitseigenschaften und Gefügebilder der Konstruktionsmaterialien. Berlin: Julius Springer.
- Brearley-Schäfer: Die Werkzeugstähle und ihre Wärmebehandlung. Berlin: Julius Springer.
- Goerens, P.: Einführung in die Metallographie des Eisens.
- Hinrichsen, F. W.: Das Materialprüfungswesen.
- Mars, G.: Die Spezialstähle.
- Martens, A.: Handbuch der Materialienkunde für den Maschinenbau. Berlin: Julius Springer.
- Messerschmidt, A.: Die Einrichtung einer neuzeitlichen Härterei mit Vergütungsanlage.
- Oberhoffer, P.: Das technische Eisen. Berlin: Julius Springer.
- Preuß, E.: Die praktische Nutzenanwendung der Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskopes. Berlin: Julius Springer.
- Reiser, F.: Das Härten des Stahles in Theorie und Praxis.
- Thalner, O.: Werkzeugstahl.
- Verein Deutscher Eisenhüttenleute: Gemeinfaßliche Darstellung des Eisenhüttenwesens.

Abhandlungen und Berichte aus:

Der Betrieb, Technik für Alle, Stahl und Eisen, Werkstattstechnik, Zeitschrift für den praktischen Maschinenbau u. a. m.

## Sachverzeichnis.

- Abgase 113.  
Abgestandener Stahl 183.  
Abkühlen durch feste Körper 104.  
— — Luft 104, 111.  
— in Fetten 103, 104, 112.  
— — Metallen 104.  
— — Ölen 103.  
— — Wasser 102.  
— Vorrichtungen zum 108.  
Abkühlungsgeschwindigkeit 126.  
Abkühlungskurve 117, 118.  
Abschrecken der Werkstücke 100.  
Abschreckwirkung 102.  
Abszisse 118, 127.  
Affinität 2.  
Aggregatzustand 117.  
Alkoholzusatz zum Härtewasser 103.  
Allotrope Modifikation 117.  
— Zustände 117.  
Aluminiumstahl 176.  
Amorph 117.  
Anlassen 133, 149.  
— im Blaubrenner 150.  
— — Ölbad 150.  
— — Salpeterbad 150.  
— — Sandbad 150.  
— — Talgbad 150.  
Anlaßfarben 151.  
Anschlußkopf 85.  
Anschweißen 166.  
Anwärmvorrichtung 171.  
Ardometer 94.  
Asbset 198.  
Aufbrechen 15.  
Aufschweißen 166.  
Ausgleichsleitung 85.  
Austenit 133.  
Automatischer Härteofen 66.  
Bandsäge 170.  
Bertrand-Thiel-Prozeß 24.  
Beschickung 21.  
Bessemerbirne 19.  
Blasenstahl 16.  
Blaubrenner 150.  
Blaubruch 9.  
Blauöl 64.  
Bleche 197.  
Bleibad 68.  
Bleibadhärteofen 65.  
Bohrmesser 151.  
Bogensäge 170.  
Brennstoffe, flüssige 62.  
Brennstoffe, feste 47.  
Brennstoffe, gasförmige 55.  
Brenndüsen 61.  
Brunnenwasser 102.  
Chargiermaschine 21, 22.  
Chrom 12, 142.  
Chromstahl 12, 138, 144, 148, 175.  
Dachreiter 113.  
Dampfschicht 105.  
Diffusionsvorgang 129.  
Doppelkammeröfen 113, 114.  
Doppelmuffelofen 52.  
Döpfer 163.  
Drahtkörbe 155, 197.  
Drahtbürsten 198.  
Dreibein 155, 197.  
Duplexprozeß 25.  
Edelstähle 11, 140.  
Einsatzhärtung 184.  
Einsatzkasten 186.  
Einsatzmittel 186, 189.

- Einspannvorrichtung 171.  
 Einstoffsystem 119.  
 Eisen, chemisch rein 5.  
 — schmiedbares 7.  
 Eisenfeilspäne 198.  
 Eisenkarbid 126.  
 Eisenkohlenstofflegierung 126.  
 Eisenkohlenstoffdiagramm 127.  
 Element, chemisches 2.  
 Entlüftung des Härteraumes 112.  
 Erhitzungskurve 116, 125.  
 Erstarren 117.  
 Erstarrungsbilder der Wismut-Antimonlegierung 118.  
 Erstarrungsintervall 128.  
 Erstarrungsvorgang 122, 127.  
 Eutektikum 9, 122.  
 Eutektoid 131.  
  
 Fabrikmarke 30.  
 Fassonmesser 158.  
 Faulbruch 9.  
 Ferrit 5, 130.  
 Ferromangan 23.  
 Feste Lösung 120.  
 Festigkeitsprüfung 36.  
 Feuer, offenes 47.  
 Feuerungsanlagen 46.  
 Filardometer 99.  
 Flammofen 14.  
 Flammofenfrischen 14.  
 Flußeisen 13.  
 Flüssigkeitsbäder 100.  
 Flußwasser 102.  
 Fräser 154.  
 Fräsmaschine 169.  
 Frischen 13.  
 Frischfeuer 13.  
  
 Galvanometer 93.  
 Gärben 17.  
 Gärbstahl 16.  
 Gashärteöfen 55.  
 — Anzündfen von 55.  
 Gastiegelanlaßofen 150.  
 Gemenge, mechanisches 122.  
 Generator 21.  
  
 Generatorfeuerung, Härte-Einsatzofen mit 54.  
 Gewindebacken 153.  
 Gewindebohrer 153.  
 Gleichgewichtszustand 130.  
 Glühen 143.  
 Glühkasten 186.  
 Glühfarben 147.  
 Glühmaschine 201.  
 Glühöfen mit Ölfeuerung 62.  
 Glühspan 10, 172.  
 Graphit 7, 117.  
 Graviermeißeln 165.  
 Grundstoffe 2.  
 Grubenhacken 165.  
  
 Haltepunkt 117, 127.  
 Hämmer 162.  
 Hammergesenke 161.  
 Handmeißel 162.  
 Handpresse 172.  
 Handpyrometer 91.  
 Härten der Stahllegierungen 133, 145.  
 Härteflammpöfen 50.  
 Härtegrad 30.  
 Härtemaschine 200.  
 Härtemittel 190.  
 Härten von Döppern 163.  
 — — Matrizen 159.  
 — — Schnellstahl 149.  
 — — Spiralbohrern 152.  
 Härteöfen mit Gasfeuerung 55.  
 — — Ölfeuerung 62.  
 Härtepaste 190.  
 Härteprüfung 37.  
 Härterei, Ansicht einer vollständig eingerichteten 45.  
 Härteschlange 181.  
 Härtetemperaturen 149.  
 Härtungskohle 7.  
 Herdfrischen 13.  
 Hilfsselektrode 78.  
 Hilfsmittel der Härterei 196.  
 Hoerschverfahren 24.  
 Hohlfräser 156.  
 Holzfräser 156.  
 Hysterisis 126.

- Induktionsöfen 27.  
 Inbetriebsetzen des Ölbrenners 65.  
  
**Kaltbruch** 9.  
 Kaltwindschleier 56.  
 Kanonenbohrer 151.  
 Kantenrisse 35, 181.  
 Kapselgebläse 80.  
 Karbidkohle 7.  
 Kegeldruckverfahren 37.  
 Kisten, gemauerte 16.  
 Kochsalzzusatz zum Härtewasser 103.  
 Kohlenelektrode 26.  
 Kohlenstoff 6.  
 Kohlenstoffstähle 11, 126, 136, 141, 144.  
 Kompensationsleitung 85.  
 Komponenten 117, 120, 148.  
 Kontrollstück 187.  
 Konverter 19.  
 Koordinatensystem 117.  
 Korn 8.  
 Kreiskörner 163.  
 Kreissäge 169.  
 Kreisscherenmesser 157.  
 Kreuzhacken 165.  
 Kristallisationskern 135.  
 Kritischer Punkt 125.  
 Kugeldruckprobe 36.  
 — nach Brinell 37.  
 Kühlanlage 192.  
 Kühlgefäß 85.  
  
**Lancashire-Eisen** 13.  
 Legierter Stahl 11, 32.  
 Legierung 3, 6, 126.  
 Lichtbogenöfen 25.  
 Liquiduslinie 128.  
 Lochstempel 158.  
 Löten des Stahles 176.  
 Lötstelle, heiße 83.  
 — kalte 83.  
 Lufthärteapparat 111.  
 Luppenmachen 15.  
  
**Mangan** 6, 11.  
 Manganstähle 11, 137, 144, 148, 175.  
 Schiefer-Grün, Härtetechnik. 3. Aufl.
- Martensit 134.  
 Massut 64.  
 Matritzen 159.  
 Metallemulsion 122.  
 Metallographie 5.  
 Mikroskop 42.  
 Mischbarkeit 118, 123, 124.  
 Mischkristalle 117, 120.  
 Mischungsprodukt 3.  
 Modifikationen 117, 125.  
 Molybdän 12, 138, 142.  
 Molybdänstahl 148.  
 Muffel 48.  
 Muffelöfen 47, 48, 51.  
 Muffelofen, Elektro- 78.  
 Mushetstahl 141.  
  
**Nähte** 34.  
 Naturharter Stahl 33.  
 Nichtmetalle 2, 3.  
 Nickel 11, 139.  
 Nickelstähle 137, 145, 148, 176.  
 Nietquetscher 163.  
 Normalglühen 136.  
  
**Oberflächenhärtung** 184.  
 Öfen für Blei- und Salzbad 66.  
 — — elektr. geheiztes Salzbad 74.  
 — — feste Brennstoffe 47.  
 — — Gasfeuerung 55.  
 Ofen von Girod 26.  
 — — Heroult 26.  
 — — Kjellin 27.  
 — — Röchling-Rodenhauser 27.  
 — — Stassano 25, 28.  
 Ordinate 118.  
  
**Pendel-Härteprüfer** 39.  
 Perlit 131.  
 Phase 119, 125.  
 Phosphor 6.  
 Prägestempel 159.  
 Preis des Stahles 201.  
 Preßhärtung 105.  
 Primär-Mischkristall 132.  
 Primär-Zementit 132.  
 Probierbolzen 187.  
 Prüfung durch Ätzung 42.

- Puddeln 14.  
 Pyrometer 82.  
 — optische 91, 96.  
 — selbstschreibendes 92.  
 — Wanner- 97.  
 — Hohlborn-Kurlbaum 97.  
 — „Pyropto“ 98.  
 — Wedge- 99.
- Raffinierstahl 16, 165.  
 Reibahlen 157.  
 Regenerieren verdorbenen Stahles 179.  
 Regenwasser 102.  
 Richten von Papiermessern 178.  
 — — Reibahlen 179.  
 — — Scherenmessern 178.  
 — — Spiralbohrern 179.  
 — — Werkzeugen 176.
- Risse 34.  
 Roheisen 7.  
 Roheisenerzverfahren 23.  
 Rohöl 63.  
 Rohre 197.  
 Rohrfräser 156.  
 Rohrschneider 156.  
 Rohrschienen 15.  
 Rollenmesser 159.  
 Rotationsgebläse 80.  
 Rotbruch 9.  
 Rückprallprüfverfahren 38.  
 Rückkühlvorrichtung 191.
- Salmiakzusatz zum Härtewasser 103.  
 Salzbad 70.  
 Salzbadhärteofen 65, 66.  
 Sand 198.  
 Schachtofen 49.  
 Scherenmesser 157, 178.  
 Schlagnummern 159.  
 Schlißfläche 42.  
 Schmelzen 115, 117.  
 Schmelzwärme 116.  
 Schutzrohre 88, 89.  
 Schmiedefeuer 47.  
 Schmiedeeisen 7.  
 Schneidbacken 153.  
 Schneidhaltigkeit 10.
- Schnellstahl 32, 34, 140, 142, 145,  
 149, 176.  
 Schnitte 159.  
 Schrotmeißel 163.  
 Schrottschmelzverfahren 23.  
 Schuppen 35.  
 Schutzrohr 87.  
 Schwarzbruch 9.  
 Schwefel 6.  
 Schweißeisen 13.  
 Schweißen, des Stahles 166, 174.  
 Schweißhitze 167.  
 Schweißpulver 10, 174.  
 Schweißsand 167.  
 Schweißstahl 165.  
 Schweißtemperatur 173.  
 Sehnen 8.  
 Seitenstähle 173.  
 Seifenzusatz zum Härtewasser 103.  
 Selbsthärter 137.  
 Selbsthärtende Stähle 137.  
 Siemens-Martinverfahren 19.  
 Silizium 6.  
 Skleroskop 38.  
 Skleroskophärte 38.  
 Sodazusatz zum Härtewasser 103.  
 Soliduslinie 128.  
 Sorbit 134.  
 Spezialstahl 11.  
 Spezialstähle 32, 136.  
 Spindelpresse 174.  
 Spiralbohrer 152.  
 Spitze 15.  
 Stahlhalter 169.  
 Steinhauerwerkzeuge 165.  
 System 117.
- Talbotverfahren 24.  
 Tantalstahl 139.  
 Teeröl 64.  
 Temperaturbereich 127.  
 Temperaturfernschreiber 81.  
 Temperaturintervall 127.  
 Temperaturmessung, Einrichtungen  
 zur 81.  
 — elektrische 81.  
 Temperkohle 7.  
 Thermoelement 82.

- Thermische Analyse 117.  
 Tiegelstahl 17.  
 Titan 139.  
 Troostit 134.  
 Turboventilator 81.  
 Überpreise 201.  
 Überhitzter Stahl 181.  
 Umkristallisation 135.  
 Umsetzen 15.  
 Umwandlung, molekulare 116.  
 Umwandlungspunkte 125.  
 Umwandlungszone 144.  
 Unmischbarkeit 119, 120.  
 Uranstahl 139.  
 Vanadinstahl 139, 148, 176.  
 Vanadium 12, 139.  
 Ventilator 80.  
 Verbessern verdorbenen Stahles 179.  
 Verbesserungsmittel 182.  
 Verbindung, chemische 2.  
 Verbrannter Stahl 180.  
 Verbrennungsluft 80.  
 Verbundhärteofen 72.  
 Verdorbener Stahl 183.  
 Verglühter Stahl 183.  
 Verstählen 165.  
 Versuchsbolzen 187.  
 Vertikalöfen 57, 58.  
 Verwandtschaft, chemische 2.  
 Vorgänge, chemische 1.  
 — physikalische 1.  
 Vorrichtungen zum Abkühlen 108.  
 Wanderungsvorgang 129.  
 Wasser, kalkhaltiges 102.  
 Wasserstrahlvorrichtung 110.  
 Wärmewirtschaft 113.  
 Weichflecke 69.  
 Werkzeuge für Bergwerksbetrieb 164.  
 — — Steinbrüche 164.  
 Werkzeugstahl 10, 30.  
 Widerstandsöfen 28.  
 Widerstandsthermometer 82.  
 Wien-Plancksches Gesetz 97.  
 Windleitungen 81.  
 Wolfram 12, 138, 142.  
 Wolframstahl 138, 145, 148, 175.  
 Zangen 196.  
 Zangenständer 197.  
 Zementieren 16, 184.  
 Zementit 126, 130.  
 Zementstahl 16.  
 Zentrumsbohrer 151.  
 Ziehborne 164.  
 Zimmermannsche Kühlvorrichtung 191.  
 Zink-Aluminiumlegierung 123.  
 Zusatz von Salzen 103.  
 — — Säuren 103.  
 Zustandsdiagramm 118.  
 Zustandsform 125.  
 Zweistoffsystem 126.  
 Zyankalizusatz 73.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

---

**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. VII, 249 Seiten. 1926. Gebunden RM 19.50

---

**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.—

---

**Die Konstruktionsstähle und ihre Wärmebehandlung.** Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**. Mit 205 Textabbildungen und einer Tafel. VII, 370 Seiten. 1923. Gebunden RM 15.—

---

**Die Edelmstähle.** Ihre metallurgischen Grundlagen. Von Dr.-Ing. **F. Rapatz**, Leiter der Versuchsanstalt im Stahlwerk Düsseldorf, Gebr. Böhler & Co., A.-G. Mit 93 Abbildungen. VI, 219 Seiten. 1925. Gebunden RM 12.—

---

**Die Schneidstähle.** Ihre Mechanik, Konstruktion und Herstellung. Von Dipl.-Ing. **Eugen Simon**. Dritte, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit etwa 550 Textfiguren. In Vorbereitung.

---

**Das technische Eisen.** Konstitution und Eigenschaften. Von Prof. Dr.-Ing. **Paul Oberhoffer**, Aachen. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 610 Abbildungen im Text und 20 Tabellen. X, 598 Seiten. 1925. Gebunden RM 31.50

---

**Zeitsparende Vorrichtungen im Maschinen- und Apparatebau.** Von **O. M. Müller**, beratender Ingenieur, Berlin. Mit 987 Abbildungen. VIII, 357 Seiten. 1926. Gebunden RM 27.90

---

**Grundzüge der Zerspanungslehre.** Eine Einführung in die Theorie der spanabhebenden Formung und ihre Anwendung in der Praxis. Von Dr.-Ing. **Max Kronenberg**, beratender Ingenieur, Berlin. Mit 170 Abbildungen im Text und einer Übersichtstafel. XIV, 264 Seiten. 1927. Gebunden RM 22.50

**Härte-Praxis.** Von **Carl Scholz.** 42 Seiten. 1920. RM 1.—

---

**Schmieden und Pressen.** Von **P. H. Schweißguth,** Direktor der Teplitzer Eisenwerke. Mit 236 Textabbildungen. IV, 110 Seiten. 1923. RM 4.—

---

**Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik.** Von Prof. Dr.-Ing. **P. Schimpke,** Chemnitz und Oberingenieur **Hans A. Horn,** Oberfrohna i. S.

Erster Band: **Autogene Schweiß- und Schneidtechnik.** Mit 111 Textabbildungen und 3 Zahlentafeln. VI, 136 Seiten. 1924.  
Gebunden RM 7.50

Zweiter Band: **Elektrische Schweißtechnik.** Mit 255 Textabbildungen und 20 Zahlentafeln. VI, 202 Seiten. 1926.  
Gebunden RM 13.50

---

**Die moderne Stanzerlei.** Ein Buch für die Praxis mit Aufgaben und Lösungen. Von Ing. **Eugen Kaczmarek.** Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 116 Textabbildungen. VI, 154 Seiten. 1925. RM 7.20; gebunden RM 8.70

---

**Handbuch der Fräserei.** Kurzgefaßtes Lehr- und Nachschlagebuch für den allgemeinen Gebrauch. Gemeinverständlich bearbeitet von **Emil Jurthe** und **Otto Mietzschke,** Ingenieure. Sechste, durchgesehene und vermehrte Auflage. Mit 351 Abbildungen, 42 Tabellen und einem Anhang über Konstruktion der gebräuchlichsten Zahnformen an Stirn-, Spiralzahn-, Schnecken- und Kegelrädern. VIII, 334 Seiten. 1923. Gebunden RM 11.—

---

**Die Gewinde,** ihre Entwicklung, ihre Messung und ihre Toleranzen. Im Auftrage von Ludw. Loewe & Co. A.-G., Berlin, bearbeitet von Prof. Dr. **G. Berndt,** Dresden. Mit 395 Abbildungen im Text und 287 Tabellen. XVI, 657 Seiten. 1925. Gebunden RM 36.—

Erster Nachtrag. Mit 102 Abbildungen im Text und 79 Tabellen. X, 180 Seiten. 1926. Gebunden RM 15.75

Namen- und Sachverzeichnis. III, 16 Seiten. 1927. RM 1.—

---

**Einführung der genormten Fräserdorn- und Messerkopfbefestigungen in die Betriebe.** Einführungsmöglichkeit der Frässpindelkopfnormen an vorhandenen Maschinen. Von **K. Hegner,** Berlin und **J. G. Tapken,** Spandau. Mit 20 Textfiguren. 8 Seiten. 1926. (Sonderabdruck aus „Werkstattstechnik“, Zeitschrift für Fabrikbetrieb und Herstellungsverfahren, XX. Jahrgang 1926, Heft 3.) Einzelpreis RM —.50; 10 Expl. und mehr je RM —.40; 50 Expl. und mehr je RM —.35; 100 Expl. und mehr je RM —.30