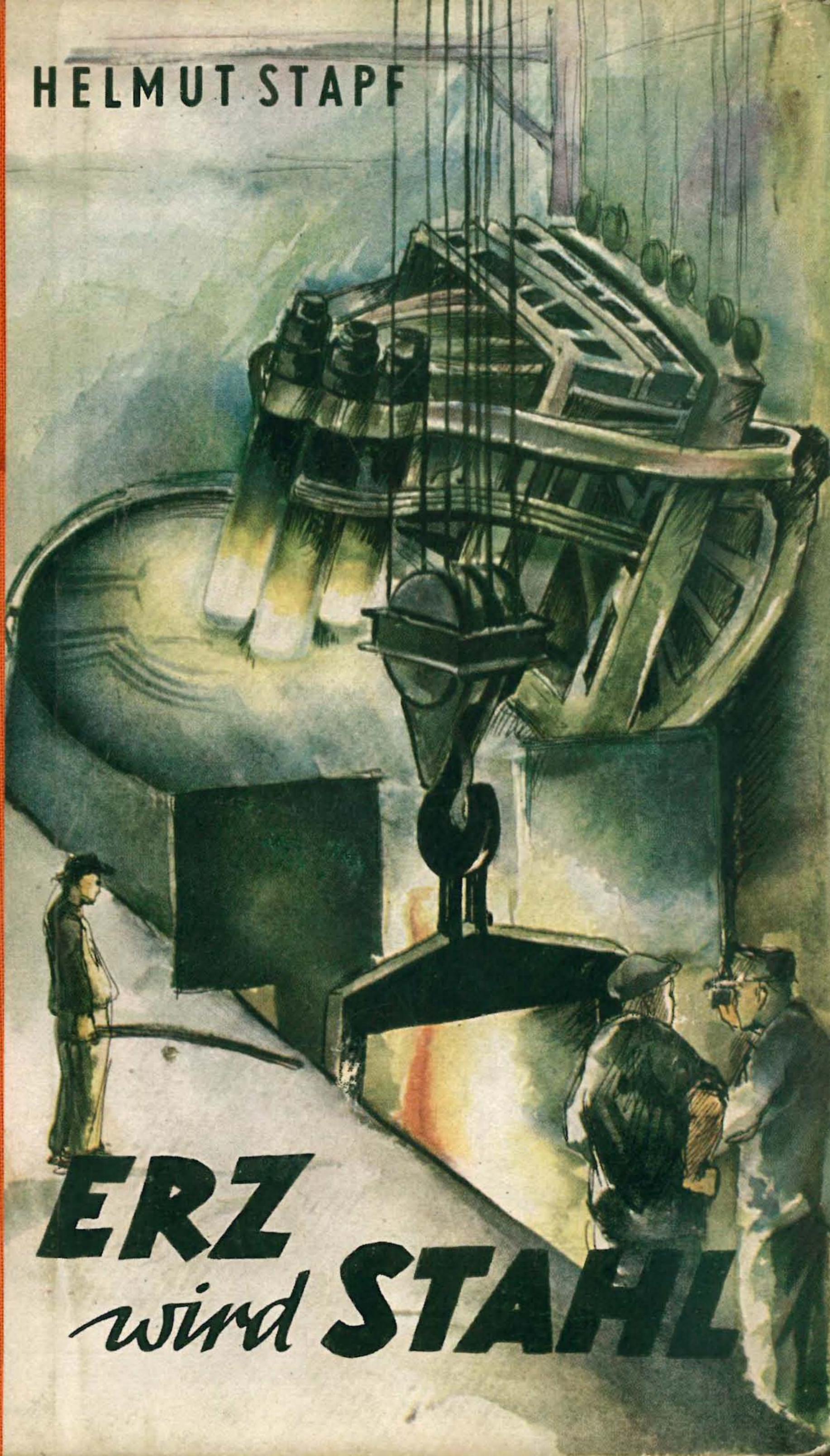


HELMUT STAPF



ERZ
wird **STAHL**

Erz-wi

Hüttenwerks-
hafen

Kohlenzeche

Kokerei

Hochof

1, Koks
2, Erz
3, Zuschläge

KOKS

Erz-
bergwerk



rd-Eisen

Eisengießerei

Kupol-
ofen

Grauguß



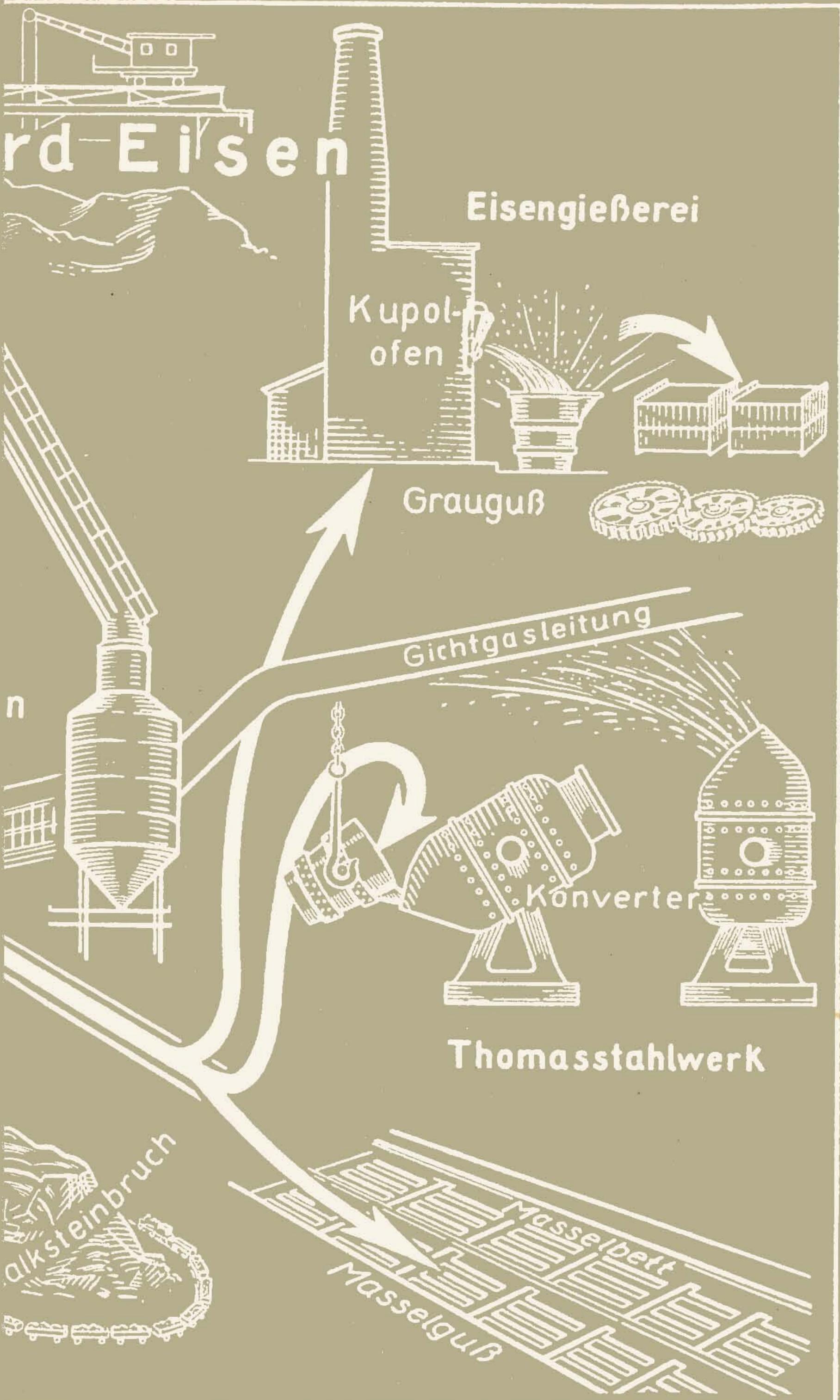
Gichtgasleitung

Konverter

Thomasstahlwerk

alksteinbruch

Masselbett
Masselguß





HELMUT STAPF
ERZ WIRD STAHL

JUGENDBUCHREIHE „ERLEBTE WELT“ BAND ~~24~~ 25

HELMUT STAPF

Erz wird Stahl

*Mit 72 Abbildungen
und 22 technischen Zeichnungen*

JUGENDBUCHVERLAG ERNST WUNDERLICH

Lizenznummer 359-425/17/53
1.-10. Tausend. Alle Rechte vorbehalten
Copyright by Jugendbuchverlag Ernst Wunderlich in Leipzig
Satz und Druck in Borgis Mediäval-Antiqua
IV/2/14 - VEB Werkdruck Gräfenhainichen - 217
Druck der Tafeln Förster und Borries in Zwickau

INHALT

	Seite
<i>Gewinnung und Aufbereitung der Rohstoffe</i>	
Wie ein Eisenerzlager entsteht	11
Die Eisenerze	16
Vom Erzbergwerk zum Hochofen	22
In der Erzaufbereitung	24
In einer modernen Großkokerei	30
 <i>Aus Erz wird Roheisen</i>	
Ein Besuch in der Maxhütte	41
Was im Hochofen vor sich geht	49
Der Hochofenabstich	54
Bei Formern und Gießern	56
Moderne Probleme der Verhüttung	63
 <i>Aus Roheisen wird Stahl</i>	
Was ist Stahl?	69
Im Thomasstahlwerk	70
Schrott wird Stahl	74
Die Veredlung des Stahls im Elektrostahlwerk	81
Ein Blick durchs Mikroskop ins Stoffgefüge	85
 <i>Die Weiterverarbeitung des Stahls</i>	
In der Stahlgießerei	93
Schmieden und Pressen	94
Auf der Blockstraße	97
Verformung der Stahlblöcke im Walzwerk	99
Spanabhebende Verformung	103
Die Pulvermetallurgie	105
Rosten und Rostschutz	112
Stahl, ein Werkstoff unserer Zeit	115
<i>Stichwortverzeichnis</i>	120
<i>Herkunft der Bilder</i>	124

ERZ WIRD STAHL

Hammer und Zange, Maurerkelle und Schraubstock, Nadel und Messerklinge, Sichel und Pflugschar sowie unzählige Gebrauchsgegenstände des täglichen Lebens, Werkzeugmaschinen und Werkzeuge bestehen aus Stahl. Brücken aus Stahl überspannen die Flußläufe. Auf stählernen Schienen brausen die Züge dahin; sie verbinden Stadt und Land; sie verbinden die Völker. Überall, wohin wir blicken, begegnen wir dem Stahl. Überall, wo wir aufbauen, brauchen wir Stahl in verschiedensten Formen, zu verschiedensten Zwecken. Kein Wunder, daß der Entwicklung unserer Eisen- und Stahlindustrie im Fünfjahrplan ganz besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird:

„Die Produktion der metallurgischen Industrie während des Jahrfünfts ist auf 253 0/0 zu steigern, wobei der Produktionsstand im Jahre 1955 betragen muß:

Roheisen	2	Millionen Tonnen,
Rohstahl in Blöcken	3,1	Millionen Tonnen,
Walzstahl	2,2	Millionen Tonnen.“

(Aus dem Gesetz über den Fünfjahrplan)

Der Fünfjahrplan bestimmt weiter, daß die vorhandenen Erzvorkommen beschleunigt abgebaut und durch geologische Erkundung des Heimatbodens neue Bodenschätze erschlossen werden, die in Zukunft unsere metallurgische Industrie zusätzlich mit Rohstoffen versorgen. Um die im Fünfjahrplan niedergelegten Forderungen unverzüglich in die Tat umzusetzen, wurden unsere Hüttenwerke beschleunigt ausgebaut, und schon am 3. Januar 1951 wurde der Grundstein zum ersten Hochofen des neuen Eisenhüttenkombinats „J. W. Stalin“ in Stalinstadt an der Oder gelegt:

„Die heutige Grundsteinlegung für das Eisenhüttenkombinat Ost ist ein Symbol für die Entwicklung unserer gesamten Volkswirtschaft. Das Ziel der Politik unserer

Regierung ist die Sicherung des Lebens in Frieden und Wohlstand. Um das zu schaffen, brauchen wir neue Maschinen für die Metallurgie, für den Bergbau, für die Landwirtschaft, für den Export. Und dafür ist die Entwicklung der metallurgischen Industrie eine der wichtigsten Voraussetzungen. Der Bedarf an Eisen und Stahl muß, wie Walter Ulbricht auf dem dritten Parteitag der SED forderte, aus der eigenen Produktion gedeckt werden. Heute arbeitet die Maxhütte im Vier-Ofenbetrieb. In Riesa wurde ein modernes Stahlwerk aufgebaut, das jährlich 300 000 t Stahl liefert. Die Werke Hennigsdorf, Kirchmöser und Ilsenburg haben wir wieder errichtet. In Brandenburg ist es gelungen, fünf hochmoderne Siemens-Martin-Öfen vorfristig zu vollenden. Im Fünfjahrplan werden wir die Produktion in Riesa auf 600 000 t Stahl jährlich steigern. Das Stahlwerk Brandenburg wird jährlich 700 000 t erzeugen und ein neues Walzwerk erhalten. In Döhlen bauen wir im Fünfjahrplan ein modernes großes Elektrostahlwerk.

Hier aber entsteht die erste große Gesamtanlage der metallurgischen Industrie unserer Republik. Der zweite Hochofen wird bereits im Juli 1952, der dritte im Dezember 1952 Roheisen produzieren. Im gleichen Jahre wird das Kombinat 250 000 t Roheisen und 1955, nach Fertigstellung der Gesamtanlage, 500 000 t liefern. Nach dem Bau des Siemens-Martin-Stahlwerks im Jahre 1952 wird das Kombinat 1953 außerdem 320 000 t Rohstahl und 1955 520 000 t erzeugen. Der Bau der Walzwerkanlage beginnt 1953. Nach ihrer Vollendung sollen auf der Blockstraße 600 000 t Walzstahl jährlich produziert werden. Gleichzeitig wird der Aufbau einer neuen Wohnstadt für 25 000 Menschen für die Werktätigen des Kombinats erfolgen.

Hier entsteht kein neues Werk, hier entsteht ein neues Industriezentrum. 1955 werden hier drei Hochöfen

stehen, und dann wird die entstehende Anlage noch einmal verdoppelt. Hier an der Oder-Neiße-Friedensgrenze werden wir, dank der Hilfe unserer Nachbarn und ihrer reichen Erfahrungen, aus sowjetischen Erzen und polnischer Kohle Eisen und Stahl für den Frieden produzieren.“

(Tägliche Rundschau vom 3. Januar 1951.)

Dieser Überblick ist zugleich die Bilanz unserer Aufbau-erfolge der Jahre 1946 bis 1950. Heute rauchen bereits vier Hochöfen des Eisenhüttenkombinats „J. W. Stalin“ (Bild 1 und 2), und das Elektrostahlwerk Döhlen versorgt unsere Industrie mit hochwertigen Edelstählen (Bild 46 und 47). Innerbetriebliche Wettbewerbe der Aktivisten und Arbeitsbrigaden, der große Wettbewerb aller Stahl- und Walzwerker der Deutschen Demokratischen Republik und die größtmögliche Steigerung der Produktion über das im Fünfjahrplan gesteckte Ziel hinaus zeigen, daß es dem deutschen Arbeiter ernst ist mit der Erfüllung des Plans, der zur höheren Arbeitsleistung führen und damit zur Hebung des Lebensstandards der gesamten Bevölkerung beitragen soll.

Gleichzeitig gelangten im Rahmen des überstaatlichen wissenschaftlich-technischen Erfahrungsaustausches neue fortschrittliche Arbeitsmethoden zur Anwendung. Dahin gehören das Stahlschnellschmelzen der sowjetischen Stachanowarbeiter Shurawljew und Subbotin, das zuerst im Stahlwerk Gröditz eingeführt wurde, und die Wettbewerbe zur persönlichen Maschinenpflege (Nina Nasarowa) und zur Einsparung von Rohstoffen für zusätzliche Produktion (Lydia Korabelnikowa). Und endlich wird durch laufende Schrottsammlungen in den Betrieben und Haushalten die Rohstoffbasis erweitert und die Produktion erhöht.

Zwangsläufig wendet sich das allgemeine Interesse dem Schwerpunkt Nummer Eins zu, der Eisen- und Stahlindustrie, und wir wollen nun den Weg verfolgen, der in lang-

wieriger und mühevoller Arbeit vom bergmännisch gewonnenen Erz zum Werkstoff Stahl führt. Er beginnt bei der schwierigen Arbeit der Kumpels, die das Erz aus dem tauben Gestein lösen und führt über die mannigfachen Aufbereitungsverfahren der Erze zum Kernstück der Verhütung, dem Hochofen. Das Roheisen, das den Hochofen verläßt, wird dann in Stahlwerken veredelt und schließlich in Gießereien, Schmieden und Walzwerken zu Fertigwaren verformt. Das eherne Lied der Arbeit begleitet uns auf diesem Wege; es erfüllt uns mit Achtung vor dem Schaffen unserer Ingenieure und Techniker, vor der schweren Arbeit der Stahl- und Walzwerker und den hervorragenden Leistungen der Kumpels unserer Deutschen Demokratischen Republik.

Leipzig, den 18. Mai 1953

Im Zuge der Maßnahmen, die unsere Regierung zur Durchführung des Neuen Kurses getroffen hat, haben sich laut Ministerratsbeschluß vom 11. und 25. Juni 1953 die Planziffern des Fünfjahresplanes für die Schwerindustrie zugunsten der Leichtindustrie verändert. Die Bedeutung der Eisen- und Stahlproduktion im ganzen bleibt dadurch unberührt.

Leipzig, den 26. Oktober 1953

Helmut Stapf

GEWINNUNG UND AUFBEREITUNG DER ROHSTOFFE

Wie ein Eisenerzlager entsteht

In den Gesteinen unserer Erdrinde ist das Eisen fast allgegenwärtig. Die braune Farbe des Sandes ist auf Eisenverbindungen zurückzuführen; Ton und Lehm sind durch Eisenverbindungen gelblich bis braun gefärbt, und Eisenverbindungen bewirken die charakteristische Farbe des Ziegelsteins. In Sandsteinbrüchen sehen wir, wie eisenarme, lichtgelbe Lagen mit eisenreicheren, rotbraun gefärbten Schichten abwechseln, und im Buntsandstein steigt der Eisengehalt auf sieben bis zehn Prozent. Doch genügt auch diese Anreicherung bei weitem noch nicht, um das Eisen aus dem Gestein zu gewinnen, in dem es in feinster Verteilung enthalten ist. Zur wirtschaftlichen Nutzung muß es in bestimmten Schichten so konzentriert sein, daß man nicht mehr von Gesteinen, sondern von **E r z e n** spricht.

Die hohe Dichte des Erdkerns und die Ergebnisse sorgfältiger wissenschaftlicher Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß größere Eisenmengen im Erdinneren vorkommen. Sie sind uns aber nicht zugänglich, da wir nur in sehr bescheidene Tiefen vordringen können. Mit der Tiefe steigt die Temperatur an, und zwar bei dreiunddreißig Metern jedesmal um etwa einen Grad Celsius. So erreichen wir bereits in einer Tiefe von etwa 3000 Metern Temperaturen, bei denen das Wasser siedet. Da sich außerdem die Bohrkronen der Bohrgeräte bei ihren flinken Umdrehungen im harten Gestein zusätzlich erwärmen, wird beim Eindringen in die Erde schließlich eine Tiefe erreicht, in der sie erweichen und aufschmelzen. Deshalb sind der Erforschung der Erdrinde und ihrer Bodenschätze durch Tiefbohrung natürliche Grenzen gezogen. Das zur Zeit tiefste Bohrloch der Welt im Staat Wyoming erreicht eine Tiefe von 6254,8 Metern; der tiefste bekannte Grubenbau ist die

Robinson Deep Mine in Transvaal mit 2554 Metern Tiefe. Aus noch größeren Erdtiefen stammen die Tiefengesteine, die durch Auffaltungen der Erdrinde und nachträgliche Abtragung der Faltensättel durch Verwitterung freigelegt worden sind, und das Magma, das durch vulkanische Tätigkeit glutflüssig ausgestoßen wird und an der Erdoberfläche erstarrt. In beiden finden sich zahlreiche eisenhaltige Mineralien. Sie fallen durch ihre dunkle Färbung auf, so zum Beispiel der dunkle Glimmer und die grün bis schwarz aussehenden Mineralien Hornblende und Augit. Je schwärzer eine Lava ist, desto eisenreicher ist sie. So weist sie das östliche Sizilien auf. Wild zerklüftete, samtschwarze Lavaströme geben der Landschaft ein eigenartiges Gepräge; und das satte Schwarz steht in schroffem Gegensatz zum glitzernden Firn des Ätnagipfels und der Lichtfülle der Mittelmeerküste (Bild 3). Allmählich verwittert die Lava; sie wird heller und rötlich, und in Spalten und Rissen keimen kleine, anspruchslose Pflanzen als erste Vorboten einer neuen Vegetation (Bild 4).

Auch die Massengesteine verwittern. Zunächst löst das Wasser die am leichtesten angreifbaren Bestandteile heraus. Im Winter gefriert es dann in den Rissen und Spalten, die entstanden sind, und treibt das Gestein auseinander. So bilden sich Trümmerfelder rings um die Felsen. Neben vielen anderen Stoffen gelangen die eisenhaltigen Mineralien der Gesteine in den Verwitterungsschutt und schließlich in den Erdboden. Dort fließen die Grundwässer. Sie nehmen das beim Verwesen von Pflanzen- und Tierresten entstehende Kohlendioxyd CO_2 auf, und es bildet sich Kohlensäure. Nunmehr mit dieser Kohlensäure beladen, verwandeln sie das von Natur unlösliche Eisenkarbonat FeCO_3 in wasserlösliches Eisenhydrogenkarbonat



und führen es mit sich fort. Solche Mineralwässer, die größere Mengen hiervon enthalten, sind allgemein bekannt.

Man nennt sie Eisensäuerlinge oder Stahlwässer. In Alexisbad am Harz und in Bad Doberan bei Rostock werden sie als Heilwässer zu Kuren bei Blutkrankheiten und Blutarmut verwendet. Aber beachtliche Mengen gelöster Eisensalze enthalten meist auch schon das gewöhnliche Grund- und Flußwasser.

Wenn das gelöste Eisenhydrogenkarbonat mit Luftsauerstoff zusammentrifft, verwandelt es sich in unlösliches,



Stromartiges Raseneisenerzlager in Hannover

braunes Eisenhydroxyd $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Dieses setzt sich in Wassergräben und Tümpeln als rostbrauner Belag ab. Unter der Grasnarbe sumpfiger Wiesen, in Mooren und in stehenden Gewässern bilden sich zusammenhängende Schichten von Eisenocker, die allmählich verstärkt und von unten her verfestigt und entwässert werden. Oder es bilden sich unter der Rasendecke zusammenhanglose Klumpen und Fladen; sie setzen sich besonders um pflanzliche und tierische Reste und enthalten dann auch Phosphorsäure, die bei deren Verwesung frei wird.

Auf diese Weise haben sich in der Norddeutschen Tiefebene in Sümpfen und Morästen, in Auen und Flußniederungen und unter der Grasnarbe feuchter Wiesen die **Raseneisenerze** gebildet. Sie begleiten, oft mit vielfachen Unterbrechungen, die Uferlinien träge dahinfließender Gewässer und markieren dann auf diese Weise bisweilen auch ausgetrocknete Flußbetten früherer Zeiten. Durch Einstechen von Eisenstäben in die Humusdecke stellt man die Ausdehnung der Lagerstätten fest und baut die Erze nach Abheben der Rasendecke mit Haue, Spaten und Kratze ab. Da die Raseneisenerze nur eine geringe Mächtigkeit, bis zu einem Meter, haben und keine zusammenhängenden Decken bilden, lohnt sich meist die Anwendung moderner mechanischer Abbaumethoden nicht. Weil sie aber leicht im Tagebau gewonnen und zu Eisen verarbeitet werden können, bildeten sie bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts die wichtigsten Erze der Eisenverhüttung. Wo sie in größeren Lagerstätten auftreten, wie im deutsch-dänischen Grenzgebiet, haben sie vereinzelt auch heute noch örtliche Bedeutung.

An der Abscheidung des Eisenhydroxyds aus dem Wasser sind oft Bakterien maßgeblich beteiligt. In Leitungen werden sie uns nicht selten lästig; sie verstopfen allmählich die Röhren. Die Bakterien nehmen gelöste Eisensalze aus dem Wasser auf und gewinnen aus ihnen die Energie für ihren Lebensprozeß, genau wie wir die Energie aus den aufgenommenen Nahrungsmitteln beziehen. In beiden Fällen wird die Energie durch langsam ablaufende Verbrennungen freigemacht. Die Chemiker bezeichnen sie als Oxydationen. In beiden Fällen bleiben auch Endprodukte des Stoffwechsels zurück. Bei den Eisenbakterien entsteht als Endprodukt Eisenhydroxyd; es wird teils in den Fadenscheiden der fadenförmigen Bakterienkolonien abgelagert und teils in die Umgebung abgeschieden. So bilden sich auf sumpfigen Wässern irisierende Häutchen und auf dem Grunde der Gewässer schleimige, rotbraune Massen. In Gegenden, in

denen das Wasser stark eisenhaltig ist, wie zum Beispiel im Naunhofer Revier und in der Lindhardt östlich von Leipzig, kann man die Bildung dieser Schleimmassen überall in den Wassergräben am Straßenrande beobachten. Und wenn man das Grundwasser kostet, das in den Pumpstationen aus dem Urstromtal der Mulde emporgeholt wird, so empfindet man deutlich einen metallischen Geschmack, der von den gelösten Eisenverbindungen herrührt. Das Wasser muß darum auch erst enteisent werden, das heißt, es muß von den Eisenverbindungen befreit werden, ehe es vom Wasserwerk in das Verteilungsnetz der Stadt Leipzig geleitet wird.

Die Flüsse transportieren beträchtliche Mengen gelöster Eisensalze ins Meer. Beim Amazonas allein entsprechen sie jährlich elf Millionen Tonnen Eisen. Das sind, wenn man sie vereinigt, etwa 1 400 000 Kubikmeter, die einen Eisenwürfel von etwa 112 Metern Kantenlänge ergeben. In dem durch Wellenschlag kräftig bewegten Wasser des Meeres kommen die gelösten Salze mit genügend Sauerstoff in Berührung und werden ausgeflockt. Die Eisenhydroxydflockchen setzen sich um winzige Kerne konzentrisch an und bilden kleine Kugeln. In diesen wechseln häufig Schichten aus Erz mit Schichten aus Kieselsäure und Tonerde. So wachsen die Kügelchen heran und werden schließlich so schwer, daß sie nach unten sinken. Auf dem Meeresboden lagern sie sich ab und bilden mehr oder weniger mächtige Schichten, die oft nachträglich durch tonigen Schlamm, Kieselsäure oder Kalk verfestigt werden. So entstehen im Laufe geologischer Zeiträume die oolithischen¹⁾ Eisenerze (Bild 6), die nach der Größe der einzelnen Körnchen als Eisenrogenstein, Erbsenstein und Bohnerz unterschieden werden. Zu den oolithischen Erzen gehört auch die *Minette*²⁾, die mit einer Mächtigkeit

¹⁾ *oön* (griech.) = Ei; *lithòs* (griech.) = Stein; Oolith = Rogenstein.

²⁾ *minette* (frz.) = kleine Erzader. Das Eisen ist in kleinen Linsen und Lagern angehäuft.

von 20 bis 60 Metern in einem 60 Kilometer breiten Gürtel in Lothringen und Luxemburg abgelagert wurde und eine Fläche von mehr als 1000 Quadratkilometern bedeckt. Damit ist das Minette-Lager eine der größten zusammenhängenden Lagerstätten abbauwürdiger Eisenerze, die wir kennen. Da die Minette teils im Tagebau, teils in sehr geringer Tiefe in Stollen gewonnen wird, ist sie zugleich eines der billigsten Eisenerze der Welt.

Die Eisenerze

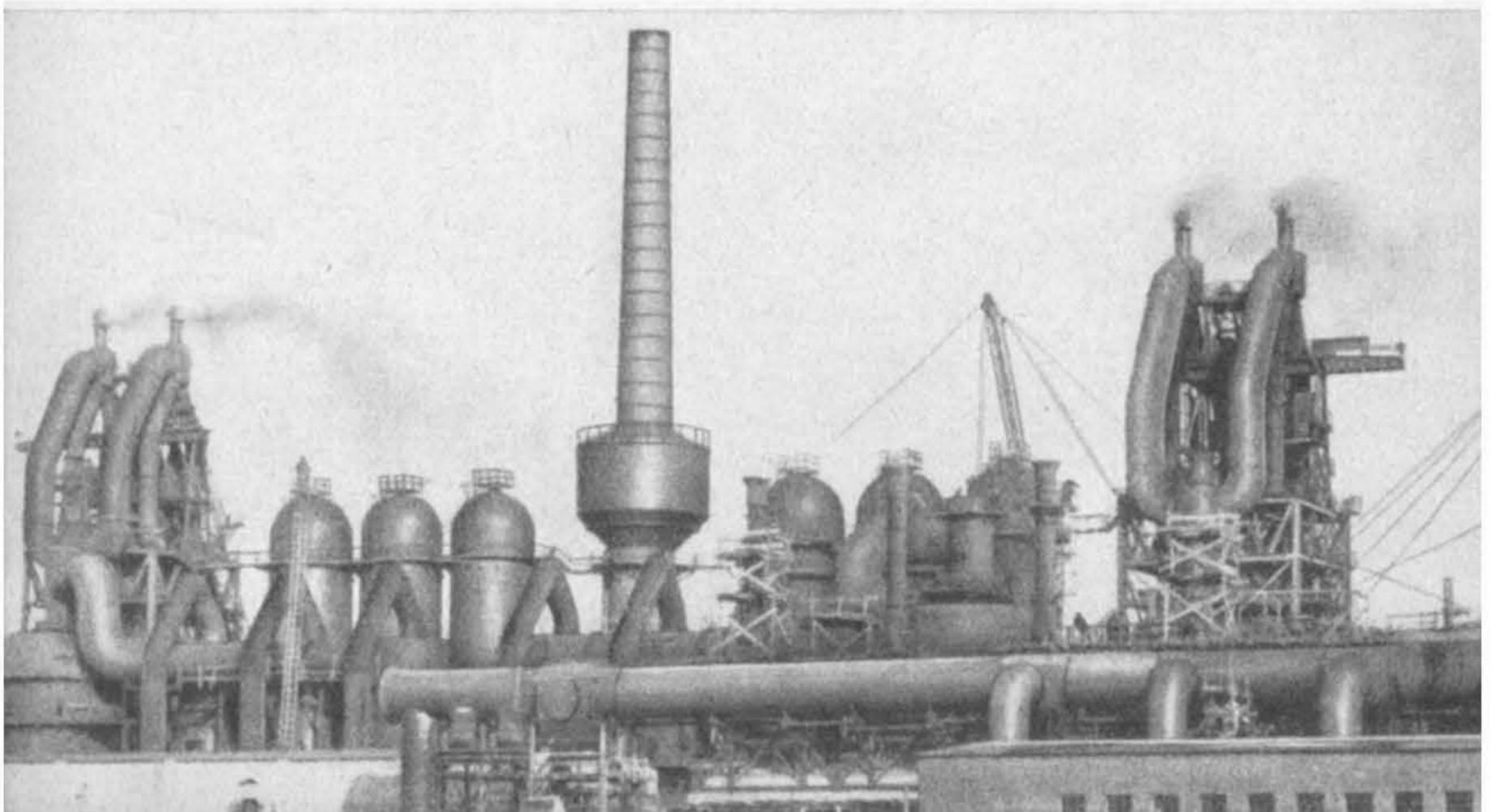
Zahlreiche Eisenerze sind also in Meeren nahe der Küste entstanden. Bisweilen liegen sie in der Nähe von Steinkohlenlagern, den Überbleibseln einer üppigen Sumpfvegetation, die sich im subtropischen Klima der Karbonzeit in Niederungen und Küstensümpfen entwickelt hatte. Dort, wo nun Erz und Kohle nahe beieinanderliegen, entstanden die wichtigsten Zentren der modernen Schwerindustrie. Zu ihnen gehören das Ruhrgebiet, in dem die Eisenerze von Lahn und Dill mit der Ruhrkohle verhüttet werden, das Saargebiet, in dem die französischen und luxemburgischen Minetteerze unmittelbar neben der Saarkohle liegen, die Ukraine, in der die Eisenerze von Kertsch und Kriwoi Rog an die Donezkohle grenzen, das Kusnezker Industriezentrum, in dem sich die Eisenerze von Tashtagol mit der Steinkohle von Stalinsk und Leninsk-Kusnezsk treffen, und auch die Schwerindustrie von Wales und Schottland verdankt ihren Ursprung dem räumlichen Beieinander von Kohle und Erz.

Die Eisenerzablagerungen der Meere erlitten im Laufe der geologischen Perioden mannigfache Umwandlungen. Mit zunehmendem Alter und unter hohem Gebirgsdruck wurden sie weitgehend entwässert und allmählich relativ reicher an Eisen und ärmer an Sauerstoff. Nun sind aber nicht alle Eisenerze marinen Ursprungs. Ein Teil entstammt dem glutflüssigen Magma, das bei vulkanischen Eruptionen den



Bild 1 Eisenhüttenkombinat J. W. Stalin im Aufbau.

Bild 2 Eisenhüttenkombinat J. W. Stalin. Hochofen 1 und 2 in Betrieb. In den großen Rohrleitungen wird das Gichtgas aus den Hochöfen abgezogen.



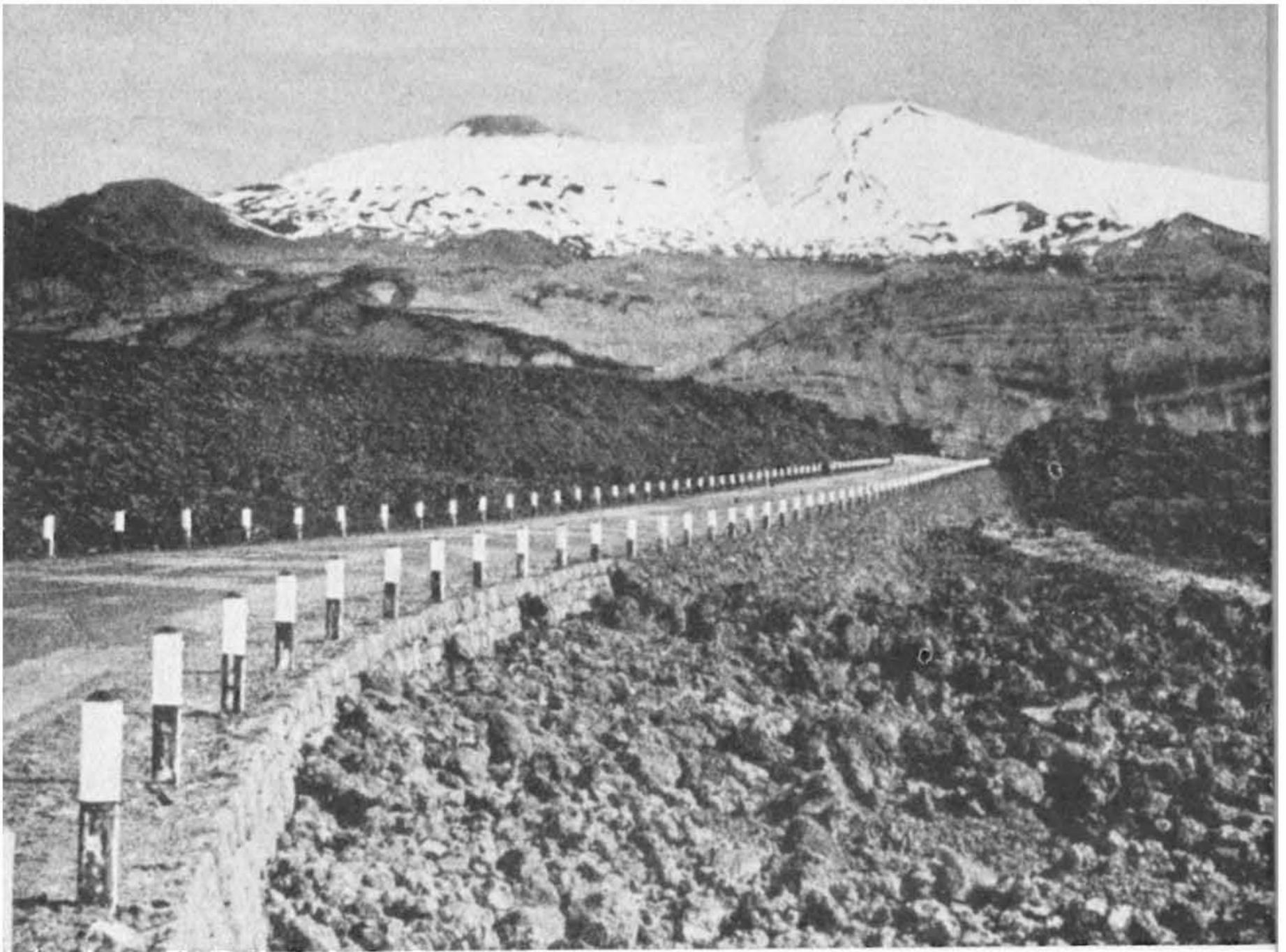


Bild 3 Wild zerklüftete Lavamassen am Hange des Ätna.

Bild 4 Auf den älteren Lavaströmen siedeln sich die ersten Pflanzen an.



Bild 5

Roter Glaskopf,
ein Roteisenerz
mit traubig-nie-
rigem Aufbau.

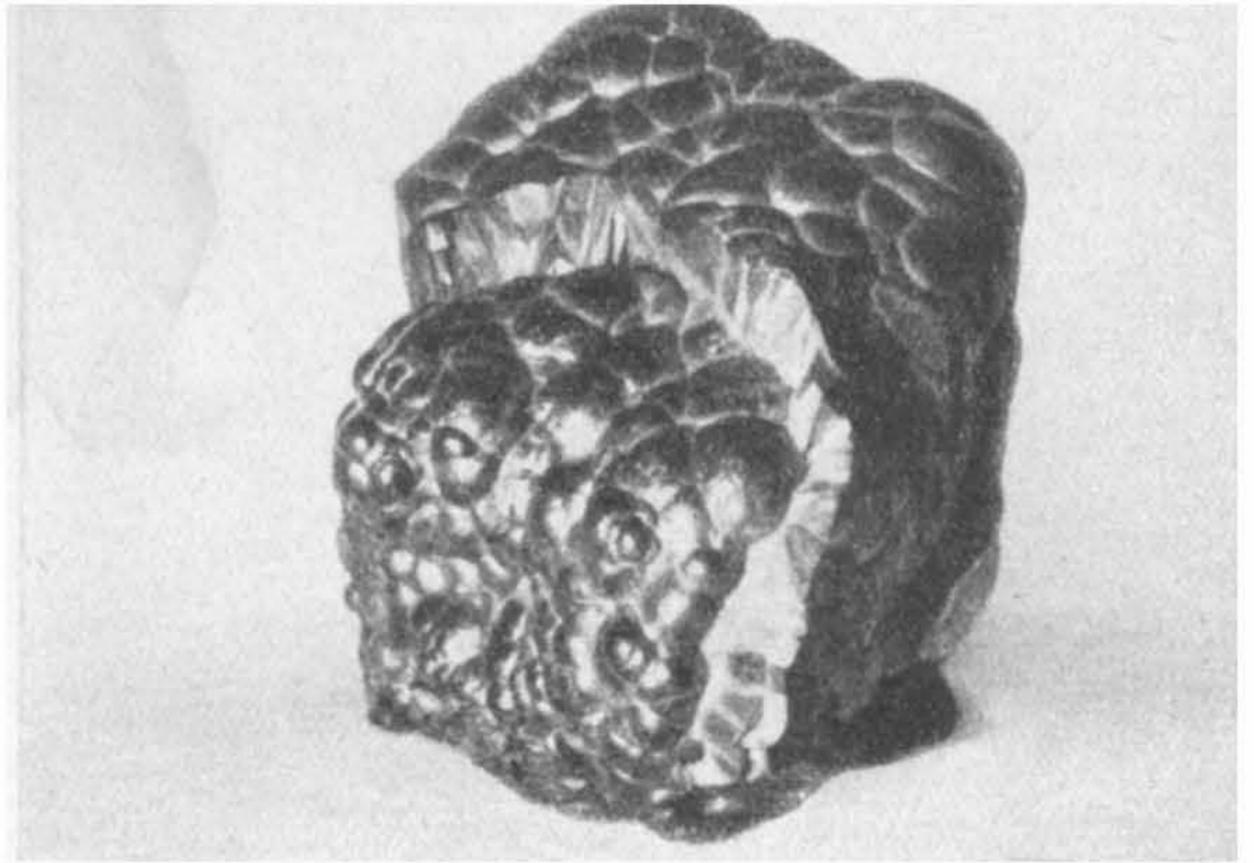


Bild 6

Oolithisches
Brauneisenerz
aus dem Kreis
Altenkirchen/
Rhld.

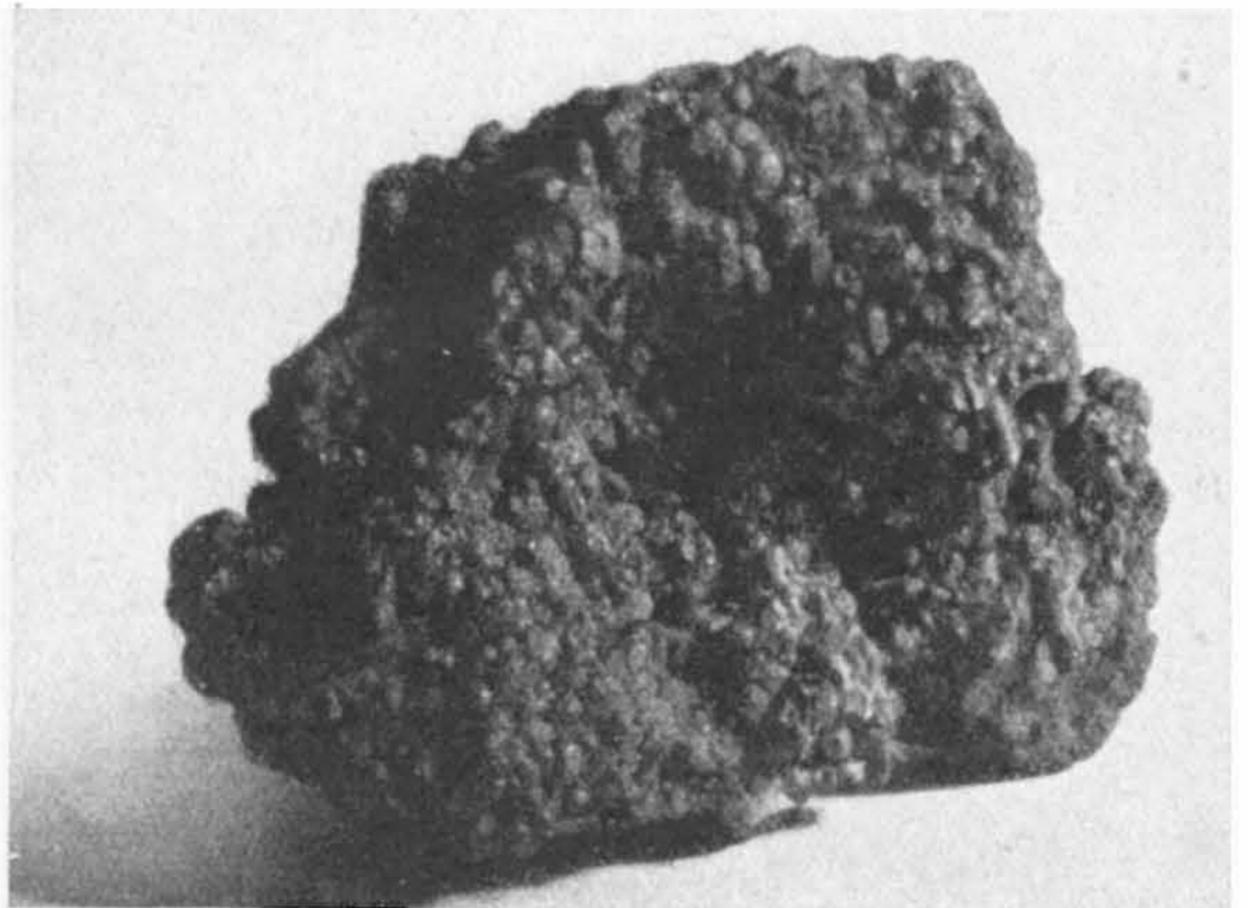


Bild 7

Messingfarbene
Pyritkristalle,
die von zwölf
Fünfecken be-
grenzt sind.



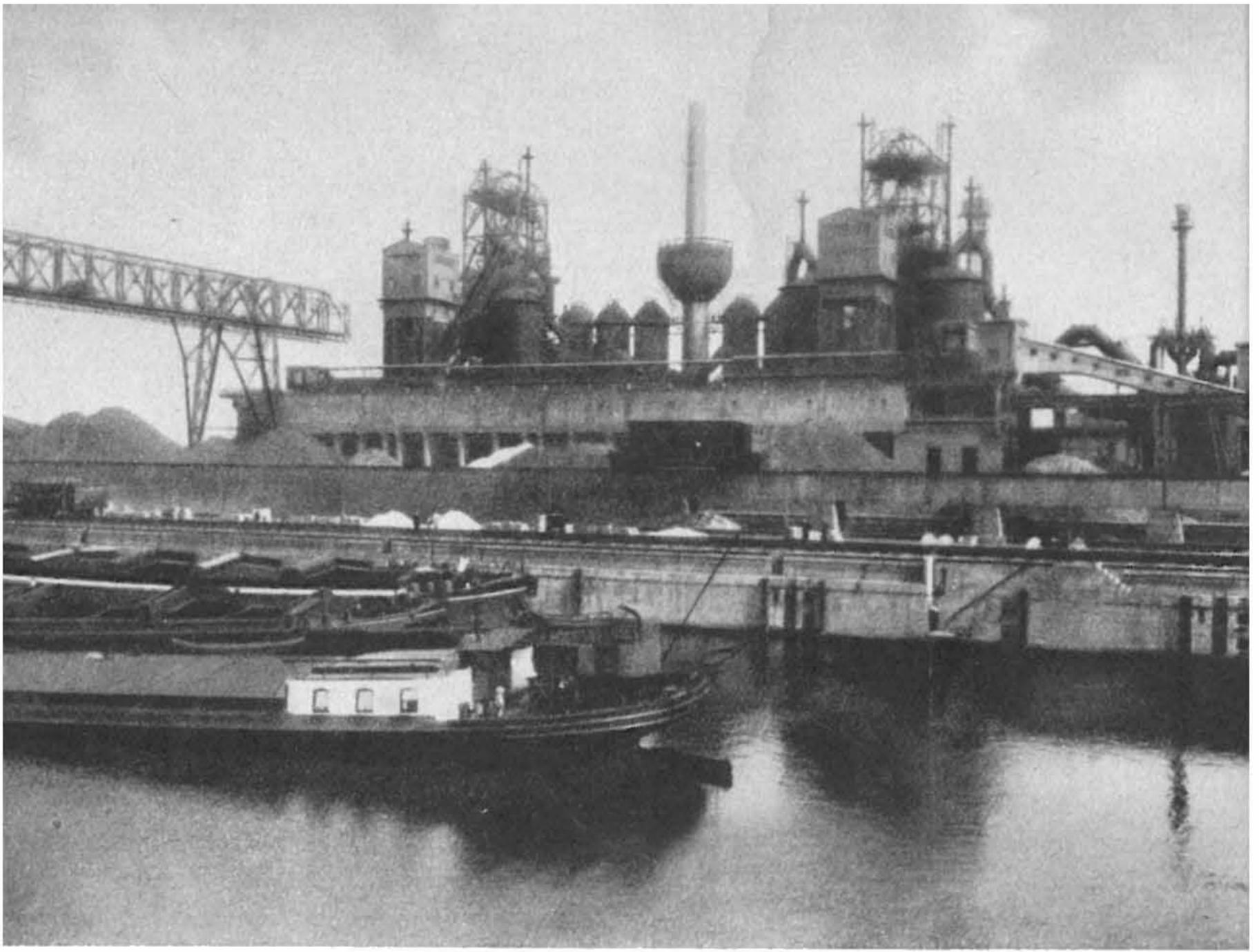


Bild 8 Hüttenwerkshafen mit Lagerplatz, Verladebrücke und Bunkeranlage vor den Hochöfen.

Bild 9 Hochofenanlage. Rechts der Lagerplatz für Erze, Zuschläge und Koks.

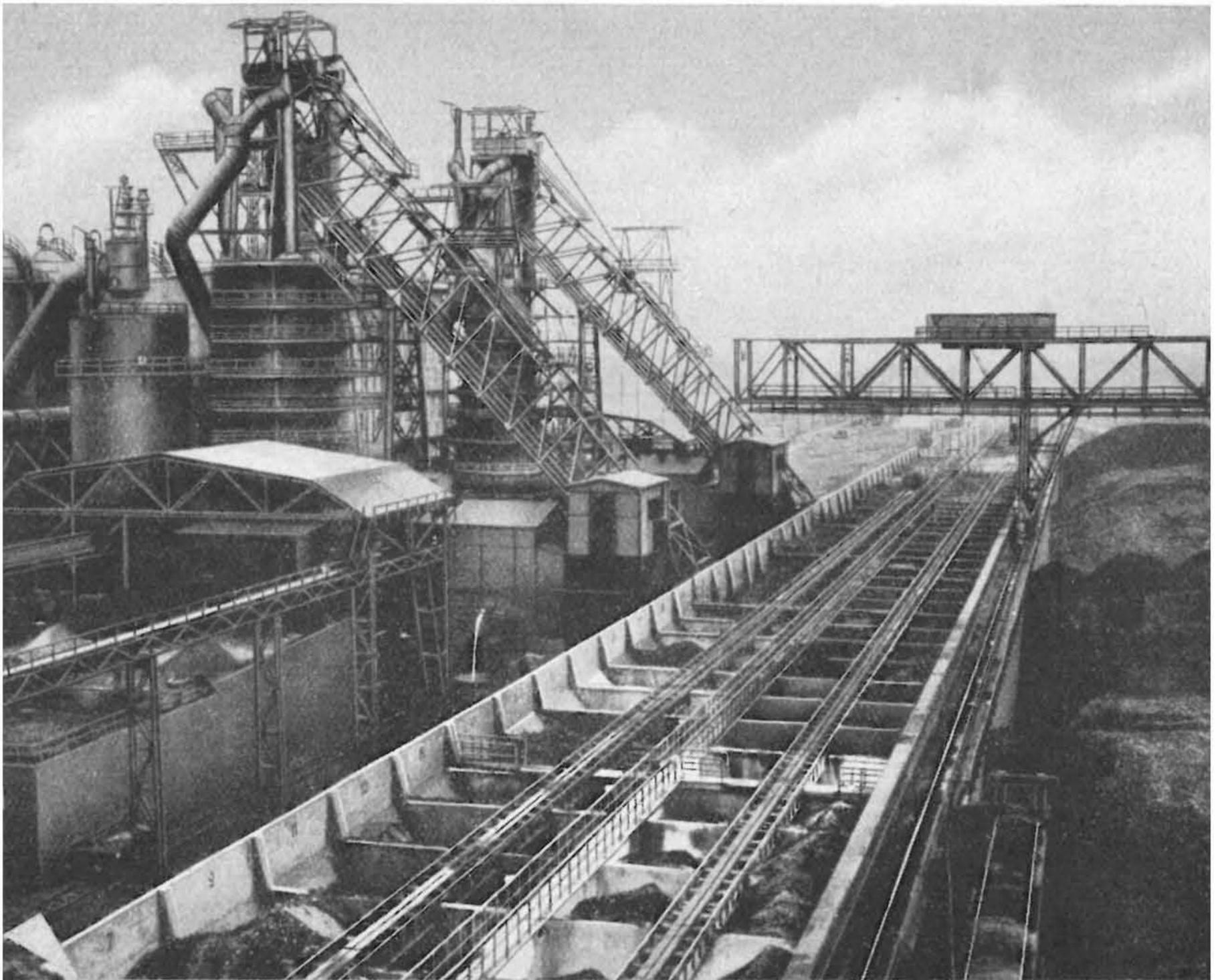
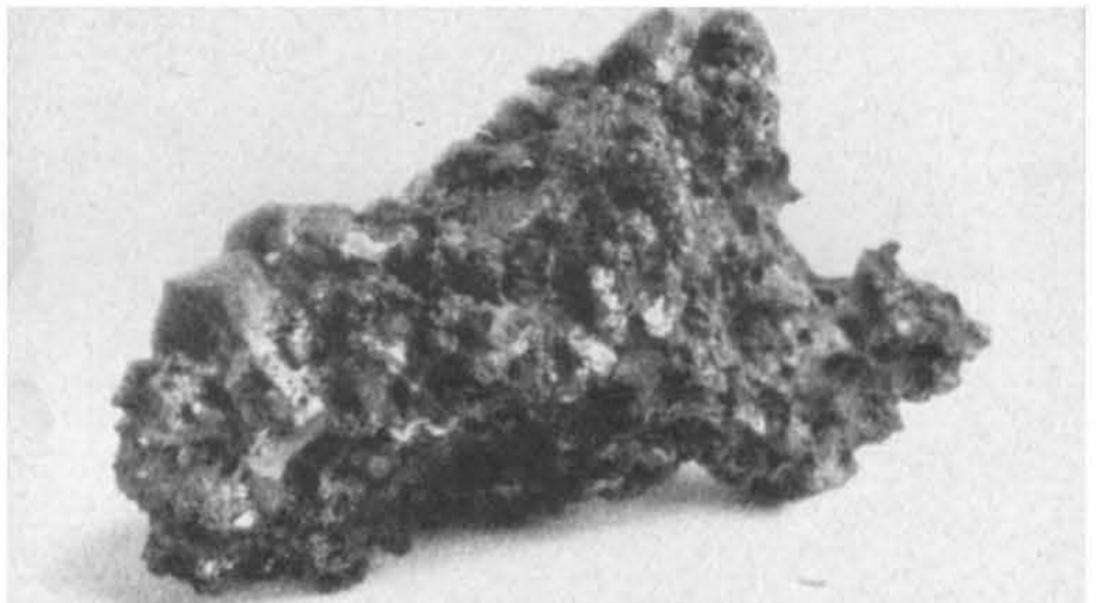


Bild 10

Sintererzbrocken

a) von oben

gesintertes poröses Feinerz



b) von unten

mit den Kamsdorfer Eisen-
kalksteinen



Bild 11 Einfüllen von Kohle aus dem Füllwagen in einen Koksofen.
Im Hintergrunde der Kohlenturm.



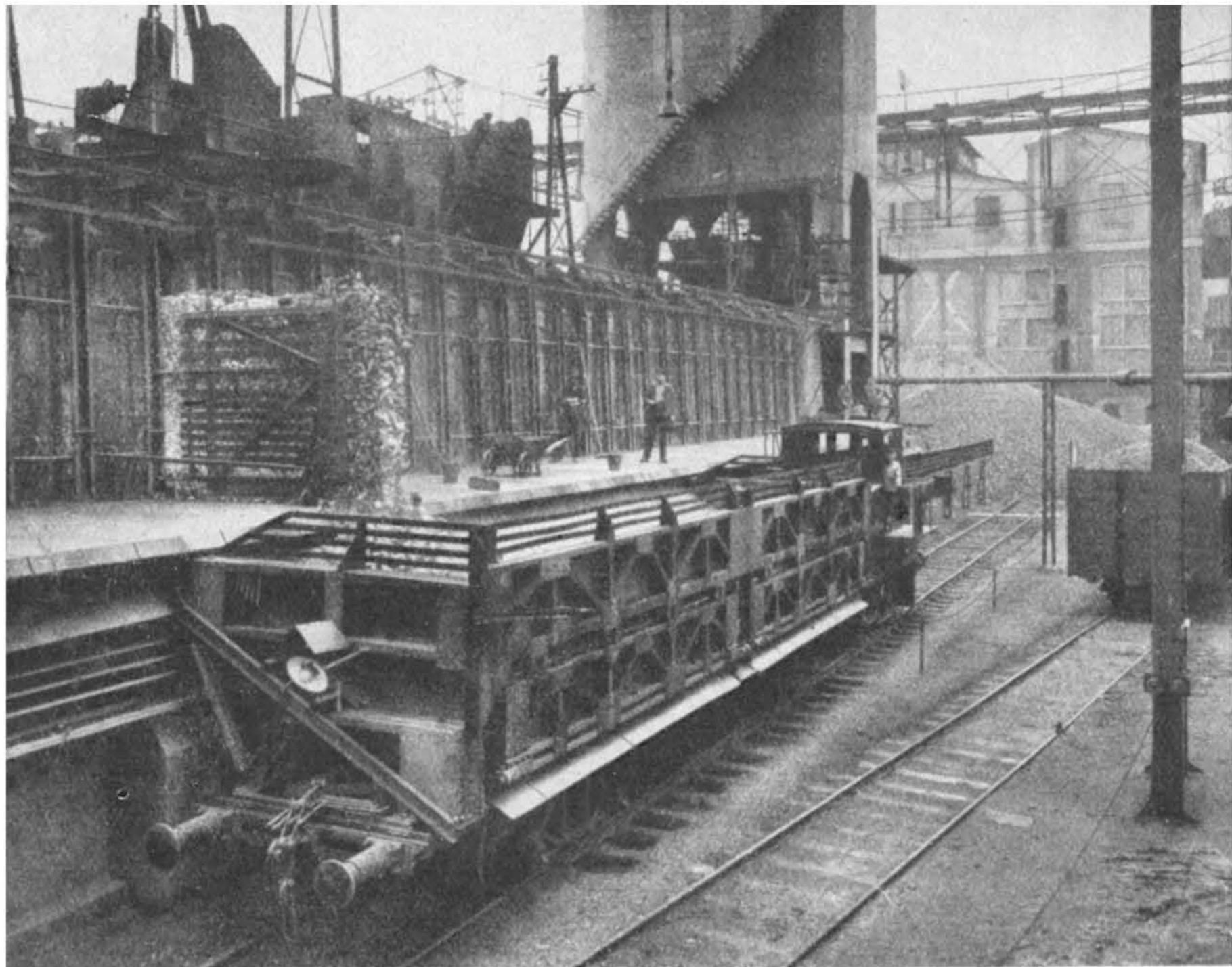


Bild 12 Ausdrücken des Kokskuchens in einen Löschwagen. Durch Führungsgatter wird ein seitliches Herabfallen des Kokses verhindert.

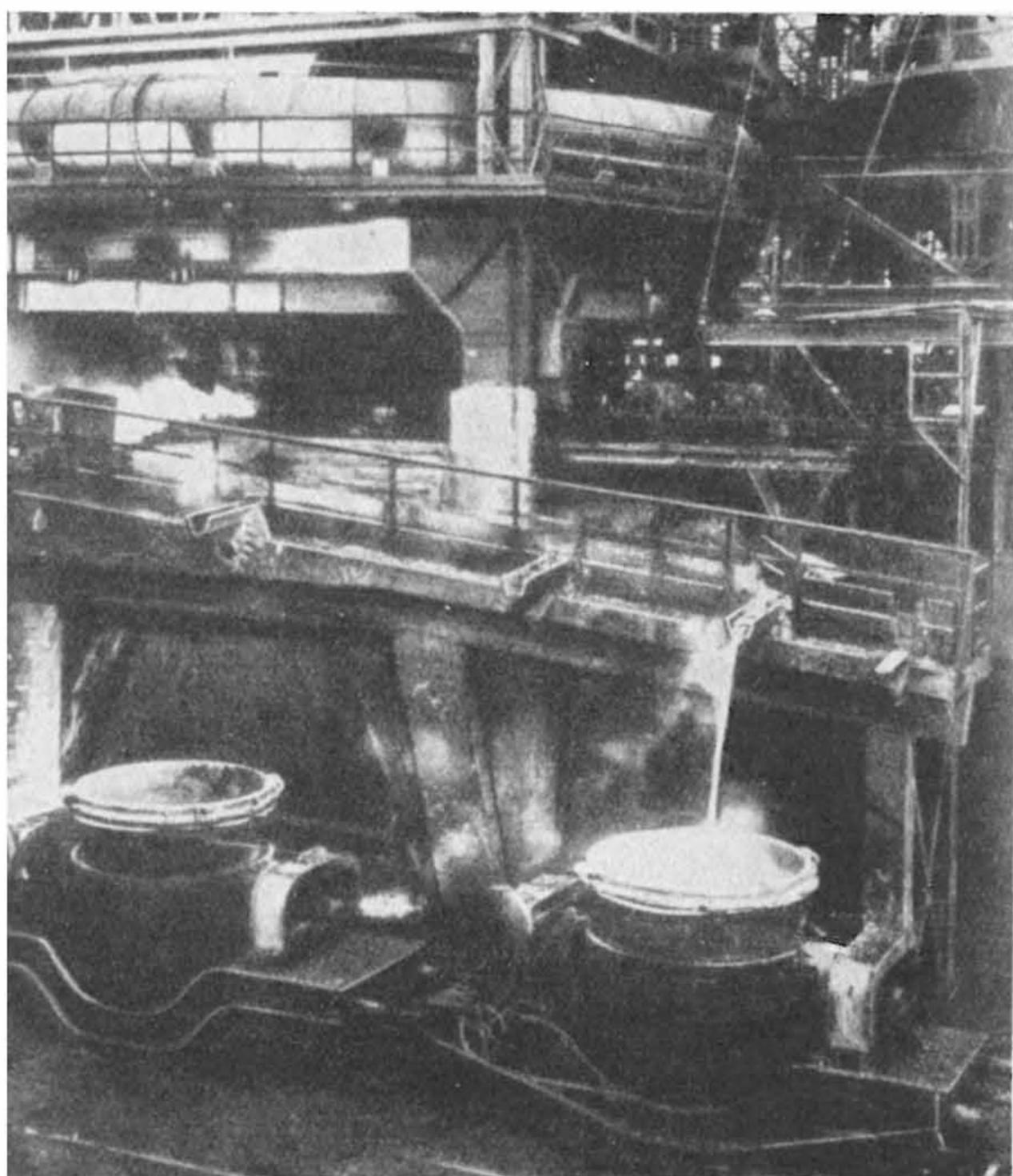


Bild 13 Schlackenabfluß aus dem Hochofen in die Kübel der Schlackewagen. Über dem Abstichloch die Windleitungen für den Gebläsewind.



Bild 14 Blick auf die Hochofenbegichtung über den Winderhitzern.

Bild 15 Hochofenbegichtung in der Maxhütte in Unterwellenborn. Die erzbeladenen Kippkübel werden in den Begichtungstrichter entleert. Im Vordergrund das Feinerz zum Abdichten der Glocke.

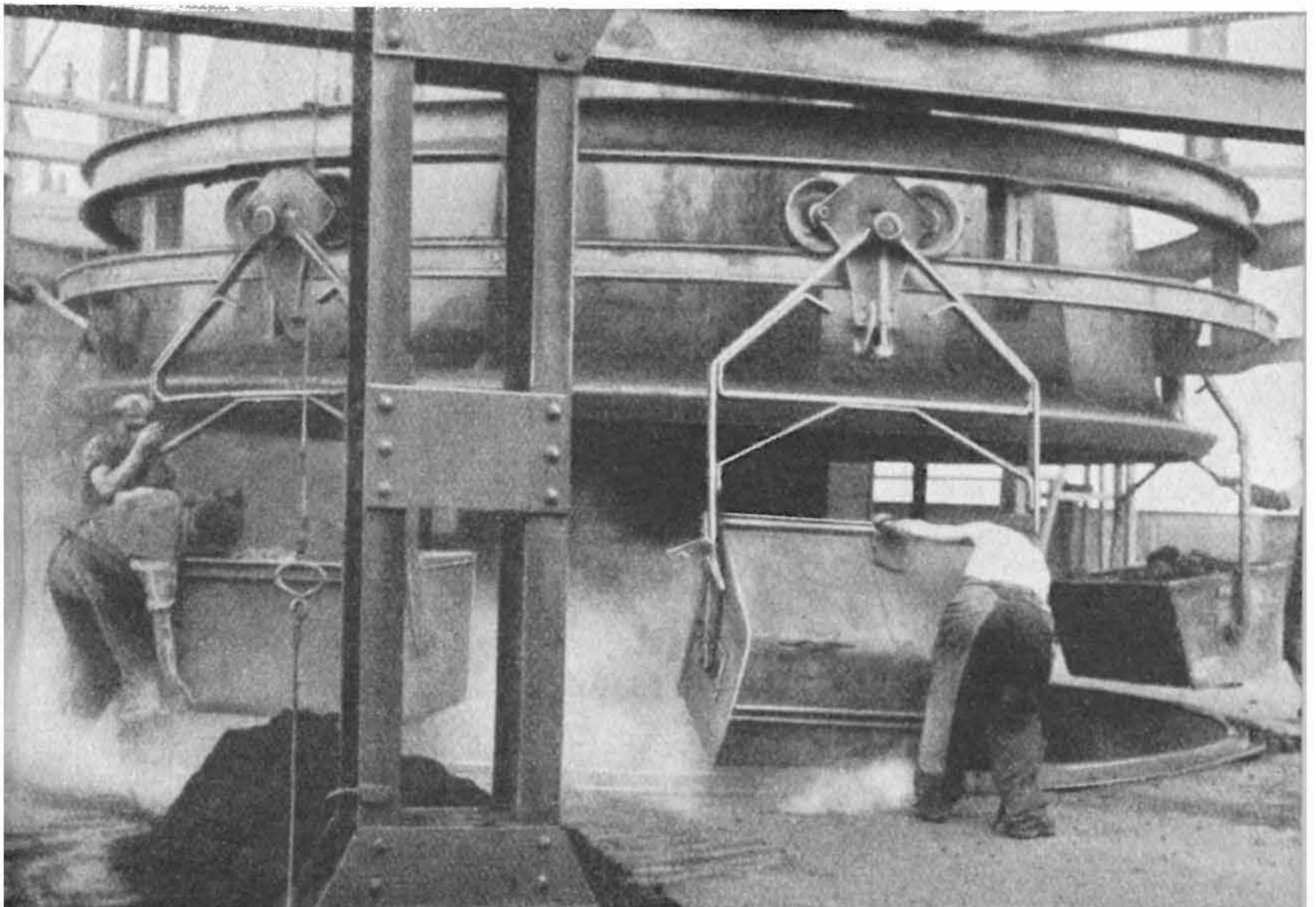




Bild 16 Die Gießgrube wird mit Formblechen ausgelegt.

Bild 17 Gießen von Schlackenpflastersteinen. Schlackenwagen bringen die flüssige Schlacke heran.



Gesteinsmantel der Erde durchbrach und sich beim Abkühlen entmischte. Dahin gehören zum Beispiel die Magnetisenerze Nordschwedens bei Kiruna.

Nach ihrer Zusammensetzung teilt man die Eisenerze ein in
oxydische Erze, das sind Eisen-Sauerstoff-Verbindungen,
karbonatische Erze, das sind Salze der Kohlensäure,
und sulfidische Erze, das sind Salze des Schwefelwasserstoffs.

Die Übersicht der Erzanalysen Seite 18 gibt ein Bild der Eisenerze und ihrer Zusammensetzung.

Das sulfidische Eisenerz ist der Eisenkies, Schwefelkies oder Pyrit FeS_2 (Bild 7). Er ist der wichtigste Rohstoff für die Gewinnung von Schwefelsäure. Man erhitzt den Pyrit und treibt dabei den Schwefel aus, der mit Luftsauerstoff ein stechend riechendes Gas, Schwefeldioxyd SO_2 , bildet. Die zurückbleibenden entgasten Erze, die Kiesabbrände, werden im Hochofen weiter auf Eisen verarbeitet. Eisen wird also hier als Nebenprodukt aus den Abfällen der Schwefelsäureherstellung gewonnen.

Doch ersehen wir aus der Tabelle, daß die Kiesabbrände 57 bis 63 Prozent Eisen enthalten und im Vergleich zu den übrigen ein sehr hochwertiges Eisenerz sind. Die größte Schwierigkeit ihrer Verarbeitung ist in dem noch relativ hohen Schwefelgehalt von 0,3 bis 0,4 Prozent zu sehen. Der Hauptteil des Schwefels muß im Hochofen von der Schlacke aufgenommen, und der letzte Rest muß beim Umschmelzen des Roheisens beseitigt werden, denn Schwefel verleiht dem Eisen recht ungünstige Eigenschaften.

Eisenspat oder Siderit FeCO_3 ist das karbonatische Erz. Bei einem flüchtigen Blick auf die Tabelle könnte es scheinen, als ob Spateisenstein für die Verhüttung wenig geeignet sei. Er enthält doppelt soviel Schwefel wie die Kiesabbrände, und der Eisengehalt ist wesentlich geringer.

Erzanalysen in Prozenten

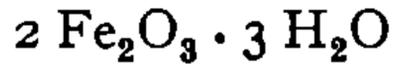
	Eisen Fe	Mangan Mn	Phosphor P	Schwefel S	Kieselsäure SiO ₂	Tonerde Al ₂ O ₃	Kalk CaO	Magnesit MgO
I. Sulfidische Eisenerze								
1. Pyrit (Kiesabbrände)	57-63	0,05-0,15	0,02-0,03	0,3-0,4	5-8	2,5-4	0,3-0,5	0,1-0,2
II. Karbonatische Eisenerze								
2. Spateisenstein Sieg	33-38	6,5-7,5	0,05	0,6	7-10	—	0,5-0,8	0,5-2,0
III. Oxydische Eisenerze								
3. Brauneisenstein Lahn u. Dill	21-40	4-18	0,06-1,0	0,1	12-15	3,5-4,5	0,4-1,0	—
Salzgitter	29-34	0,1-0,14	0,35-0,45	0,1-1,0	24-31	8-9	3-5	0,5-2,0
Amberg	43-53	0,2-1,6	0,4-1,5	0,1	8-12	1-2,5	0,4-2,3	—
4. Roteisenstein	30-50	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1	15-25	2-3	0,5-2,2	—
5. Magnetit Schweden	59-67	0,04-0,2	0,02-2,5	0,01-0,2	0,1-7,0	—	1,7-8,5	0,9-1,6

Aber die Kiesabbrände sind nicht das natürliche Erz; sie sind erst durch Entgasen von Pyrit entstanden. Auch der Spateisenstein wird vor der Verhüttung erhitzt oder, wie man sagt, gebrannt. In der Hitze zersetzt er sich, und es entweichen große Mengen Kohlendioxyd. Dabei nimmt das Gewicht des Roherzes entsprechend ab und sein Eisengehalt in bezug auf die Gesamtmasse zu; der Prozentgehalt an Eisen steigt dabei in der reinen Verbindung von 48 auf 78 Prozent! Außerdem enthält der Spateisenstein größere Mengen Kalk und Magnesit oder, wie der Hüttenmann sagt, basische Gangart, und diese erleichtert im Hochofen den Übergang des Schwefels in die Schlacke, so daß sich keine Schwierigkeiten der Verhüttung ergeben.

Der Spateisenstein zeichnet sich des weiteren durch einen hohen Mangangehalt aus. Sieben Prozent enthält der Siegerländer Spateisenstein. Das macht ihn für die deutsche Hüttenindustrie sehr wertvoll, denn das Schwermetall Mangan ist ein wichtiger Stahlveredler. Es wird in beträchtlichen Mengen dem Roheisen zugesetzt. Wir brauchen um so mehr, je weniger im Erz enthalten ist, und da wir in Deutschland nicht über Manganerzlager verfügen, müssen wir es einführen. Hauptlieferant für Manganerze ist die Sowjetunion.

Am wichtigsten für die Eisenverhüttung sind die oxydischen Erze, die uns recht mannigfaltig entgegentreten. Das eisenreichste und wasserärmste unter ihnen ist der Magnetit Fe_3O_4 , der beim Reiben auf einem unglasierten Tonscherben einen schwarzen Strich hinterläßt; er findet sich in großen Lagern in Schweden. Am kirschroten Strich erkennt man das Roteisenerz Fe_2O_3 . Als Eisenglanz bildet es rosettenförmige Ablagerungen, als roter Glaskopfnieren- und traubenförmige Stücke (Bild 5); als Hämatit oder Blutstein sieht es blutrot aus; mit Ton verunreinigt bildet es den roten Toneisenstein und schließlich auch erdige Massen als Rötel, wie zum Beispiel im Erzgebirge.

Der wasserhaltige Brauneisenstein



ist in Deutschland am meisten verbreitet. Er lagert sich aus eisenhaltigen Lösungen als Raseneisenerz, Sumpf- und See-Erz ab. Bisweilen bildet er als brauner Glaskopfnierenförmige Aggregate, dann wieder als Bohnerz und Rogenstein Kügelchen verschiedener Größe (Bild 6) und schließlich als gelber Ocker erdige Massen. Die Tabelle der Erzanalysen zeigt uns, daß auch die Brauneisenerze des Lahn- und Dillgebietes einen hohen Mangangehalt besitzen. Die Brauneisenerze von Amberg und Salzgitter enthalten dagegen viel Schwefel und zugleich viel Kieselsäure, das heißt saure Gangart; sie lassen sich daher schwer verhütten.

Relativ selten liegen die Erze frei zutage, so daß sie im Tagebau gewonnen werden können, wie das vielfach in Schweden geschieht. Das bekannteste Beispiel eines großen Erztagebaus ist der Erzberg in der Steiermark. Dort wird das Erz in 58 Stockwerken von je 9 bis 13 Metern Höhe gebrochen. Unablässig dröhnen die Preßluftbohrer der Kumpels und wühlen sich knatternd und kreischend in das Erz. Unzählige Sprenglöcher werden in die Wandstufen vorgetrieben und mit Sprengladungen gefüllt. Dann gellen Warnungssignale die Strecke entlang. Sie leert sich in Sekundenschnelle. Und nun bellen dumpf die Sprengserien auf. Ihr Donnern und Grollen mischt sich mit dem hundertfältigen Echo, das von den Felswänden zurückgeworfen wird. Staubpilze wachsen empor; die Erzwand stürzt in sich zusammen. Wieder ertönen die Signalhörner; die Strecke wird freigegeben und belebt sich wieder. Auf ihren Raupenketten kriechen lärmend Bagger heran. Damit sie der großen Beanspruchung bei der Arbeit standhalten, sind sie vollkommen aus Baustahl zusammengeschweißt. Ihre Löffel wühlen sich in die Trümmer. Mit jedem Hub nehmen sie mehrere Kubikmeter Erz auf und füllen es in

vorfahrende Loren. Es mutet seltsam an, den Baggerführer auf bequemem, verstellbarem Sitz im Bagger zu sehen, wie er spielend mit zwei Hand- und zwei Fußhebeln dem stählernen Giganten seinen Willen aufzwingt. Und während die Bagger das lose Erz forträumen, beginnen über ihnen schon wieder die Preßluftbohrer zu rattern, und neue Sprenglöcher werden in die Erzwand vorgetrieben. Schwerer ist die Arbeit in der ewigen Nacht unter Tage und in der stauberfüllten Luft der Stollen. Auch dort treibt man mit Preßluftbohrmaschinen Sprenglöcher in die Wände vor, und Schaufellader, die ebenfalls mit Preßluft betrieben werden, heben das losgelöste Erz in Loren. Meist wird wechselweise in einer Strecke gebohrt und geschossen und in der Nachbarstrecke das losgelöste Erz weggeräumt. So entstehen unter Tage große, weite Hallen, die nur von einzelnen stehengebliebenen Pfeilern getragen werden. Förderloks schleppen die gefüllten Wagenzüge vom Füllort zu den Förderschächten. Während ein Förderkorb am Füllort steht, befindet sich der andere an der Hängebank über Tage. Jeder von ihnen besitzt drei bis vier Stockwerke. Durch elektrische oder mit Preßluft betriebene Anlagen werden die Loren mit Blitzesschnelle ausgewechselt. Unter Tage stoßen die gefüllten Loren die leeren heraus, und über Tage werden die gefüllten Loren von den leeren herausgepufft. Nachdem die Loren des ersten Stockwerkes ausgewechselt sind, wird der Förderkorb automatisch auf das nächste Stockwerk umgesetzt, und das lärmende Spiel beginnt von neuem. Der Maschinist steht über Tage am Schaltbrett und bedient mit wenigen Handgriffen den Fördermechanismus, ohne daß er die Förderkörbe selbst sehen kann. Glocken- und Lichtsignale geben ihm die nötigen Hinweise für die Bedienung. Am Teufenzeiger verfolgt er die Bewegungen des Förderkorbes, der in die Tiefe saust, und aufmerksam beobachtet er die Marken am Förderseil. Doch auch an menschliche Unzulänglichkeit ist gedacht. Die Fördermaschine würde selbsttätig aussetzen,

wenn der Maschinist aus Unachtsamkeit die Haltestelle überfahren ließe, und versagt einmal die Bremse, so tritt automatisch eine Sicherheitsbremse in Tätigkeit. Sicherheit des Lebens ist oberstes Gebot! Und die Förderkörbe nehmen nicht nur Erze auf, sondern in ihnen fahren auch die Kumpels ein und zum Schichtwechsel nach anstrengender Arbeit wieder herauf ans Licht des Tages.

Über Tage gelangen die gefüllten Wagenzüge mit ihrer schweren Last in den Kreiselwipper. Der Name sagt, was in der Maschine vor sich geht. Sie dreht sich um ihre waagerechte Achse und entleert das Erz aus der Lore in die darunter befindlichen Wagenzüge der Eisenbahn.

Unter und über Tage werden dem Kumpel durch neuzeitliche Abbaugeräte und durch die mechanischen Einrichtungen zum Beladen und Entladen der Loren unzählige Handgriffe abgenommen. Mechanisierung des Arbeitsprozesses macht menschliche Arbeitskraft für den eigentlichen Abbau frei und vervielfacht die Förderleistung.

Vom Erzbergwerk zum Hochofen

Der Weg des Erzes zum Hochofen ist oft weit, und das Erz ist eine schwere Fracht. Man muß daher bestrebt sein, Fracht- und Verladespesen auf ein Mindestmaß herabzusetzen. Darum nehmen mechanische Verladeeinrichtungen häufig ungewöhnliche Ausmaße an. Unablässig rollen auf den „Erzbahnen“ die schwer beladenen Züge zum Meere. Dort nehmen Wagenkipper die mit Erz beladenen Loren auf und heben sie in die Höhe. Sie schwenken die Wagen über die am Kai liegenden Seeschiffe ein und kippen sie über dem Schiff. Prasselnd und krachend entleert sich das Erz durch die Schütt-Trichter und die offenstehenden Luken in den Schiffsrumpf. Bis zwanzig Loren Erz verlädt ein neuzeitlicher Wagenkipper in einer Stunde, ohne daß eines Menschen Hand das Erz berührt. Nun beginnt die Fahrt übers Meer zu den großen Umschlaghäfen unseres

Kontinents. Dort wird die Fracht auf Flußschiffe oder Eisenbahnwagen umgeschlagen.

Verladebrücken, deren Eisenkonstruktionen eine Länge von zweihundert Metern erreichen, ragen am Kai auf und strecken ihre dürren Gerüste über die Wasserfläche. Sie reichen über ein Seeschiff und mehrere Flußschiffe hinweg. Die großen Greifer der Brücken nehmen mit einem Hub bis zu fünfzehn Tonnen Erz auf, heben es aus dem Schiffsrumpf und füllen es in die Flußschiffe oder in Eisenbahnloren oder schütten es auf riesige Lagerplätze, die sich unmittelbar unter der Verladebrücke befinden. Hier können bis zu 1,5 Millionen Tonnen Erze bis zum Abtransport gelagert werden. Mit einer modernen Verladebrücke schlägt man in einer Stunde bis zu eintausend Tonnen Eisenerz aus den Seeschiffen in Flußschiffe um. Und diese komplizierte Verladeeinrichtung wird im wesentlichen von einem Manne bedient, der mit einigen Hand- und Fußhebeln alle Bewegungen der Verladebrücke steuert und beherrscht.

Es ist das eigentliche Charakteristikum der modernen Häfen, daß die Verladerampen menschenleer sind. Wir sehen nur die Bewegungen der Verladebrücke, der Kräne und Greifer. Und wir denken zurück an die Schilderungen des bunt bewegten Lebens in den Seehäfen vor wenigen Jahrzehnten. Die Zeit liegt noch nicht sehr weit zurück, in der Menschen keuchend die schweren Lasten von den Schiffen über schwankende Bohlen zum Ufer trugen und dann rasch wieder auf wippenden Laufstegen zum Schiff zurückkehrten, um die nächste Last auf die Schulter zu nehmen. Tagelang dauerte das Beladen und Entladen der Schiffe. Tagelang seufzten die Träger unter ihren Lasten, bis die Maschine an ihre Stelle trat und ihnen die schwersten und dabei auch unproduktivsten Arbeiten abnahm.

Die Frachtkosten des Wasserwegs sind wesentlich geringer als die des Schienenstranges. Darum werden die modernen Hochofenwerke nach Möglichkeit an Flußläufen oder Kanälen errichtet. So sind die großen Hüttenwerke des

Ruhrgebiets vom Umschlagshafen Rotterdam rheinauf und durch den Rhein-Herne-Kanal unmittelbar auf dem Wasserweg zu erreichen, oder man fährt vom Umschlagshafen Emden emsaufwärts und durch den Dortmund-Ems-Kanal. Das Eisenhüttenkombinat „J. W. Stalin“ ist durch den Oder-Spree-Kanal an das mitteldeutsche Wasserstraßennetz angeschlossen und durch die Oder mit der Ostsee verbunden. Die Brauneisenerze der Krim gelangen von Kertsch direkt übers Asowsche Meer in die Hüttenwerke von Shdanow.

Die erzbeladenen Frachter legen am Kai des Hüttenwerkhafens an (Bild 8). Entladekräne heben mit Greifern das Erz aus dem Schiffsrumpf und schütten es auf den Lagerplatz, der eine Ausdehnung von 25 000 Quadratmetern erreicht. Er wird von einer Verladebrücke überspannt, die auf Schienen fahrbar angeordnet ist. Mit ihrer Hilfe werden Erze, Zuschläge und Koks in die Bunkertaschen vor den Hochöfen gebracht (Bild 9). Schrägaufzüge befördern die Rohstoffe auf die Gichtbühne des Hochofens. Auch hier wird eine der schwersten und anstrengendsten Arbeiten, das Umladen und Verladen der Rohstoffe, nicht mehr von Menschenhand sondern maschinell bewältigt. Zugleich ergibt sich daraus eine erhebliche Kostensenkung und Intensivierung des Arbeitsprozesses. Von den Ausmaßen der Transportarbeiten kann man sich erst ein Bild machen, wenn man bedenkt, daß ein einziger Hochofen mit einer Tagesleistung von 1500 Tonnen Roheisen täglich 6000 Tonnen Rohstoffe verbraucht. Das sind dreihundert Eisenbahnwagen zu je zwanzig Tonnen!

In der Erzaufbereitung

Im Hochofen können die Erze häufig nicht in der Form verarbeitet werden, in der man sie bergmännisch gewinnt. Unter den Eisenerzen lassen sich nur stückige oxydische Erze mit einem Mindestgehalt von 30 Prozent Eisen un-

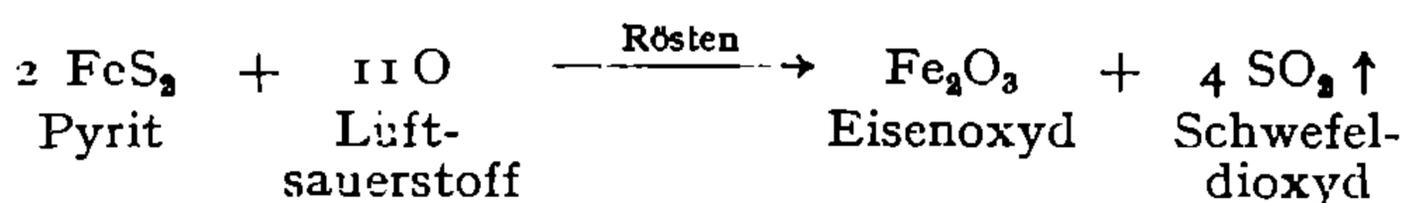
mittelbar verhütten. Die übrigen Erze werden vorher aufbereitet. In den geringwertigen Erzen reichert man das Metall an. Die Feinerze werden gesintert und brikettiert. Die karbonatischen Erze müssen gebrannt und die sulfidischen geröstet werden.

Von der Verhüttung führt uns der Röstprozeß der sulfidischen Erze am weitesten ab. Bei ihm ist, erinnern wir uns, das Hauptprodukt Schwefel, die Eisengewinnung ist zweitrangig. Der Schwefel muß zunächst im Röstprozeß aus dem Erz entfernt werden, da er dem Eisen sehr ungünstige Eigenschaften verleiht. Gußeisen wird durch Schwefel dickflüssig und damit für den Guß ungeeignet; denn es füllt die Formen nicht mehr genau aus; Stahl wird „rotbrüchig“, das heißt brüchig bei Rotglut; dann kann er in glühendem Zustande weder durch Pressen oder Walzen noch durch Schmieden verarbeitet werden. Wir besitzen in Deutschland im südlichen Westfalen bei Meggen und an der Lenne größere Schwefelkieslager. Kleinere Lagerstätten bei Waldsassen und Pfaffenreuth in Bayern, bei Helmstedt und bei Elbingerode im Harz haben nur lokale Bedeutung.

Häufig kommt Schwefelkies gemeinsam mit andern sulfidischen Erzen vor, oder er bildet Einsprenglinge im Gestein. Sein Name „Pyrit“ leitet sich vom griechischen „pyr“ ab und bedeutet „Feuer“; man benutzte ihn früher zum Feuerschlagen. Wenn man mit ihm gegen Feuerstein oder Stahl schlägt, entstehen Funken. Seine messinggelben Kristalle, die von zwölf Fünfecken begrenzt sind (Bild 7), erregten noch vor wenigen Jahrzehnten die Phantasie so mancher Goldsucher. Der Pyrit täuschte ihnen in Farbe und Glanz das gesuchte Edelmetall vor. „Katzgold“ nennen in daher noch heute die Arbeiter in den Schieferbrüchen des Frankenwaldes, wo die Pyritkristalle auf dem dunklen Grunde des Griffelschiefers so verführerisch leuchten.

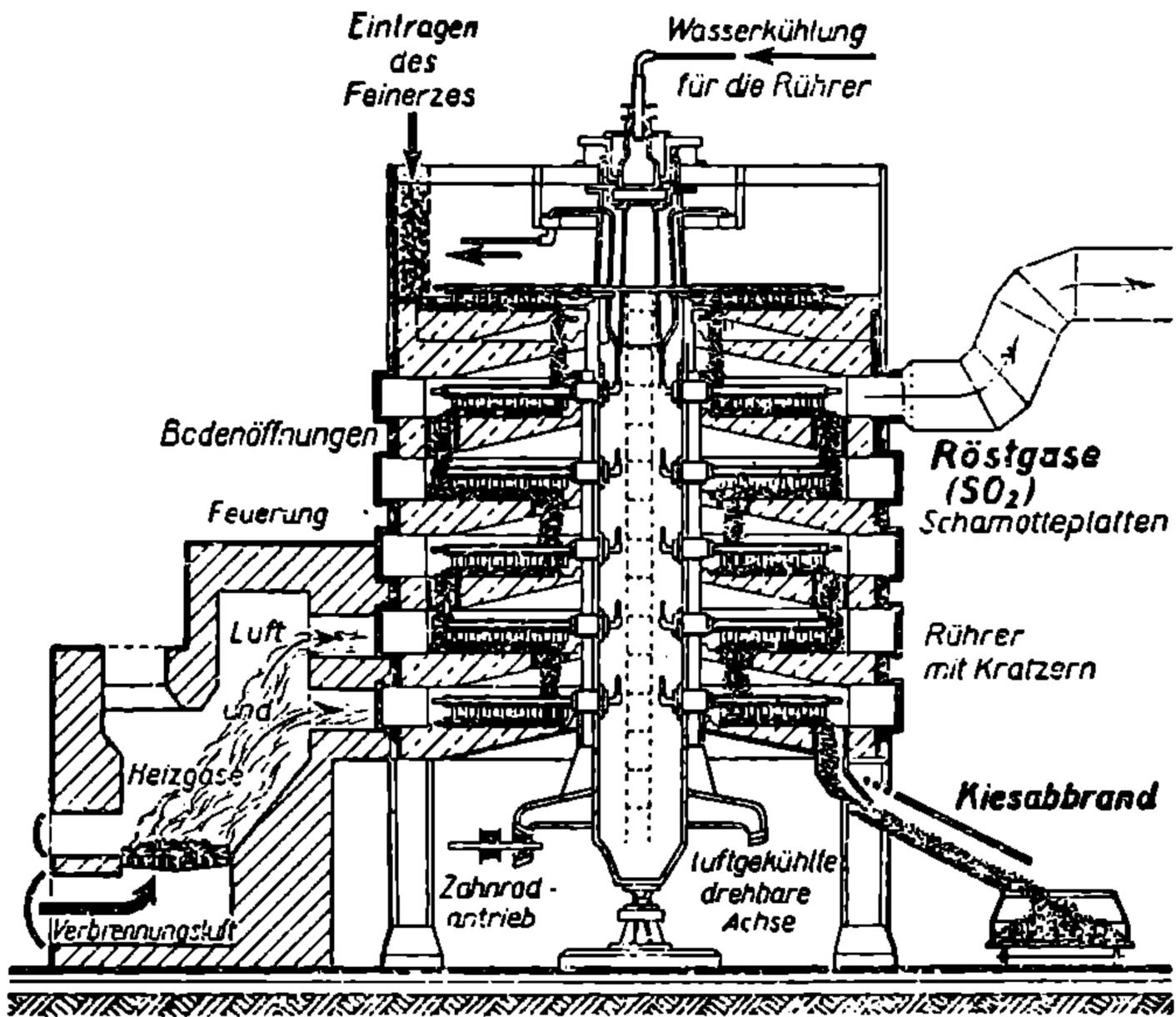
R ö s t e n bedeutet Erhitzen unter Luftzufuhr. Der Schwefelkies wird zerkleinert und in den Fülltrichter des Röstofens gebracht. In dem Ofen laufen rechenartige Rührer,

die Krählarne, um eine zentrale Achse. Die Krählarne verteilen und bewegen das Erz auf den übereinander angeordneten Herdplatten. Es wird in den obersten Stockwerken vorgewärmt und getrocknet. Dann fällt es von Platte zu Platte und gelangt in immer heißere Zonen des Ofens. Anfangs wird der Schwefelkies befeuert; da aber bei der eingeleiteten chemischen Reaktion sehr viel Wärme frei wird, ist später eine Zusatzheizung nicht mehr erforderlich. Sowohl der Schwefel als auch das Eisen des Pyrits vereinigen sich mit dem Sauerstoff der im Überschuß zugeführten Luft, und es entstehen Sauerstoff-Verbindungen oder Oxyde:



Schwefeldioxyd ist ein Gas. Man leitet es aus dem oberen Teile des Ofens ab und setzt es nach sorgfältiger Reinigung in modernen Anlagen mit Sauerstoff zu Schwefeltrioxyd SO_3 um. Dieses bildet mit Wasser die Schwefelsäure, einen wichtigen Grundrohstoff unserer chemischen Industrie.

Die abgerösteten Erze fallen als Kiesabbrände aus dem Ofen. Sie enthalten das Eisenoxyd, das nach der Reaktionsgleichung entstanden ist. Bei der Verarbeitung reiner Erze bestehen sie zu 57 bis 63% aus Eisen und enthalten außerdem wertvolle Buntmetalle. Die Meggener Erze liefern Kiesabbrände mit 8,8% Zink und 0,5% Blei, die Erze von Cypern solche mit 4% und die norwegischen Erze Abbrände mit 2,5% Kupfer. Die Kiesabbrände der finnischen Pyrite von Outukumpu aber enthalten 0,5% Kobalt. In Kupferhütten werden diese wertvollen Nebenprodukte gewonnen und der Wirtschaft zugeführt. Das übrigbleibende Eisenoxyd wird zu einem geringen Teile als Malerfarbe, genannt „Englischrot“, und als Polier-



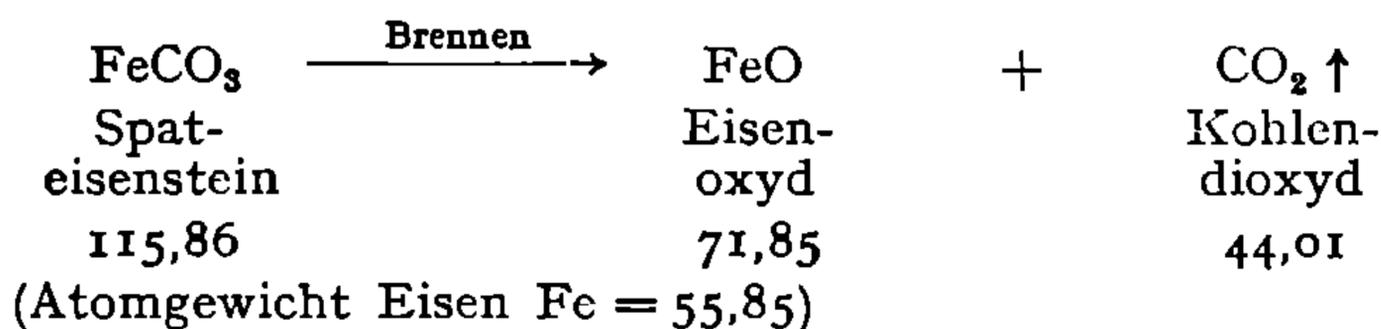
Lurgi-Tellerofen zum Abrösten sulfidischer Erze
(schematisch)

mittel unter der Bezeichnung „Polierrot“ verwendet; der größte Teil aber wird im Hochofen verhüttet.

Während sich die Bestandteile des Pyrits in der Hitze mit Luftsauerstoff zu Oxyden verbinden, werden die Salze der Kohlensäure, zu denen auch der Spateisenstein gehört, beim Erwärmen zersetzt. Sie zerfallen in Metalloxyd und Kohlendioxyd. Diese thermische Zersetzung bezeichnet man als „Brennen“. Beim Brennen des Kalkes (überwiegend Kalziumkarbonat CaCO_3) erhalten wir Branntkalk CaO und Kohlendioxyd CO_2 . In der gleichen Weise zerfällt der Spateisenstein in der Hitze in Eisenoxyd und Kohlendioxyd.

Die Zersetzung würde auch in der Hitze des Hochofens stattfinden. Aber dort ist sie unerwünscht. Die aus dem Hochofen abströmenden Gichtgase sind Heizgase. Ihr

Heizwert würde durch den Zustrom von unbrennbarem Kohlendioxyd wesentlich herabgesetzt. Die großen Mengen der entstehenden Gase müßten sich den Weg durch die Erzsäule des Hochofens bahnen und würden den normalen Hochofengang stark belasten. Daher brennt man den Spat vor der Verhüttung. Man erhitzt ihn wie den Kalkstein in Schachtöfen; er zerfällt in seine Bestandteile:



Setzen wir unter die chemische Gleichung des Brennprozesses die Molekulargewichte der Ausgangsstoffe und Endprodukte, so erkennen wir, daß aus 116 Tonnen Rohmaterial 72 Tonnen Eisenoxyd entstehen. In beiden ist die gleiche Menge Eisen, nämlich 56 Tonnen, enthalten. Durch das Brennen wird also nicht nur das unerwünschte Kohlendioxyd ausgetrieben, sondern gleichzeitig das Metall im Erz konzentriert. Der Eisengehalt steigt von 48 0/0 auf 78 0/0, und die Frachtkosten werden um 38 0/0 gesenkt. Daher brennt man den Spateisenstein zweckmäßigerweise dort, wo er gewonnen wird.

Nicht ganz so günstig liegen die Verhältnisse bei den Chamositerzen Thüringens, die zum Beispiel von der Maxhütte bei Wittmannsgereuth abgebaut werden. Bei ihnen erwirkt das Rösten nur eine Gewichtsabnahme um 20 0/0. So wird die Frachtkostenersparnis bei den geringen Entfernungen durch den Kohlenverbrauch beim Brennen wieder ausgeglichen. Trotzdem röstet man die Erze. Ihr Metallgehalt wird auf 42 0/0 konzentriert. Wie im Backprozeß der fest zusammenliegende Teig durch die in ihm aufsteigenden Gasblasen des Gärprozesses zu einem leicht verdaulichen Gebäck aufgelockert wird, so entsteht hier beim Entweichen des Kohlendioxyds ein sehr poröses

Röstgut, das den chemischen Umsetzungen im Hochofen viel leichter zugänglich ist als ein kompaktes festes Erz. Bei der Verwendung von gebranntem Erz wird daher der Koksverbrauch im Hochofen wesentlich verringert.

Die Verhüttung der Feinerze, das heißt, des anfallenden Erzstaubes, bietet wieder eine andere Schwierigkeit. Der Staub würde den Gasdurchtritt durch die Erzsäule behindern und damit den Hochofen verlagern. Daher bringt man ihn zunächst durch Brikettieren oder Sintern in eine grobstückige Form. Das Brikettieren ist uns allen vorstellbar. Wie wir die getrocknete Feinkohle unter hohem Druck in den Brikettpressen zum Brikett formen, so wird auch der Erzstaub unter hohem Druck brikettiert. Wir wissen, daß wir mit dem stückigen Brikett besser heizen können als mit Feinkohle, die den Gas- und Flammendurchtritt im Ofen erschwert. Das gleiche gilt für den Hochofen in erhöhtem Maße. Denn dort drückt eine hohe Erzsäule mit ihrem riesigen Gewicht nach unten. Daher müssen die Formlinge sehr druckfest sein, und am günstigsten ist der Rohstoff, wenn er druckfest und zugleich porös ist. Man erhitzt daher die Feinerze, bis sie an ihrer Oberfläche erweichen. An ihren Berührungsstellen verschweißen die benachbarten Teilchen, und es bilden sich durch Zusammenballen kleinerer Teilchen stückige Massen. Sie schließen zahlreiche Hohlräume ein und weisen damit auch eine gewisse Porosität auf. Es entstehen Sinterkörper von hoher Druckfestigkeit.

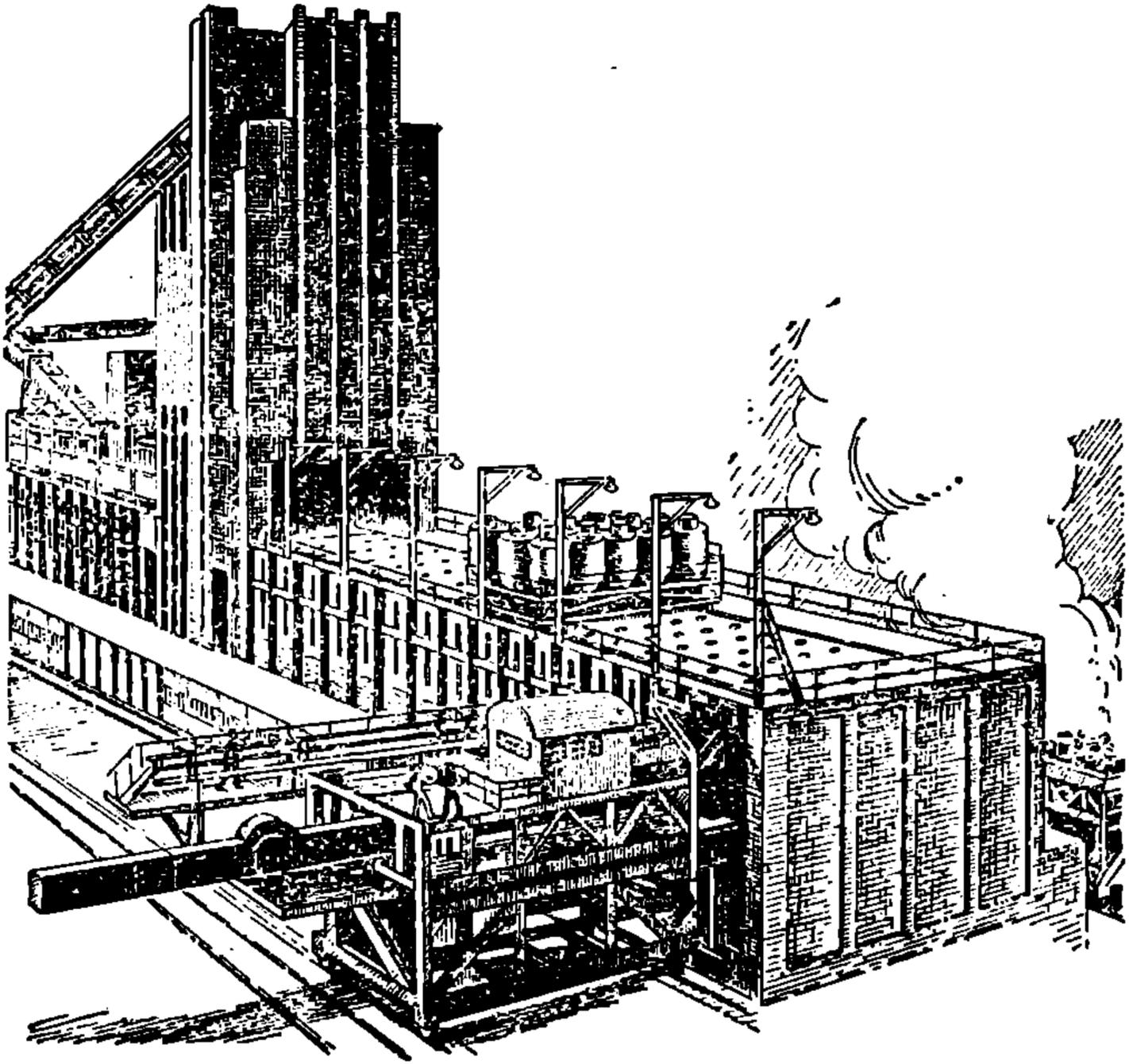
Besuchen wir einmal eine solche Sinteranlage! Wir stehen im Erdgeschoß des großen Sinterhauses. Maschinen stampfen. Unablässig rasseln die Ketten in den Elevatoren, in denen die Rohstoffe nach oben befördert werden. Krachend füllen sich unten Becherwerke mit Feinerz und Zuschlägen und entleeren polternd ihre Last im Obergeschoß. Dort sehen wir die flachen Sinterbecken. Sie werden nach unten durch einen Rost aus beweglichen Stäben abgeschlossen. Beim Einschütten würde viel Fein-

erz durch die Roste nach unten fallen. Da hilft man sich zum Beispiel in der Maxhütte auf ebenso sinnreiche wie praktische Art. Die fünf Kilometer von der Hütte entfernte Kamsdorfer Erzgrube lieferte Erze mit einem Eisengehalt bis zu 46 0/0. Doch diese hochwertigen Erzlager sind längst erschöpft. Sie gehen nach den Seiten in einen mit Eisen durchsetzten Kalkstein über, wie man ihn als Zuschlagstoff zur Verhüttung der sauren Chamositerze im Hochofen braucht. Warum reinen Kalk verwenden, wenn Eisenkalk mit einem Metallgehalt von 15 bis 6 0/0 zur Verfügung steht? So liefert das Gestein, das als Eisenerz nicht abbauwürdig wäre, als Zuschlagstoff noch zusätzlich Eisen.

Man belegt also in der Sinteranlage den Rost zunächst mit flachen Kamsdorfer Eisenkalksteinen und gibt darauf das mit Feinkoks gemischte Feinerz. Nun wird der Koks entzündet. Bei seiner Verbrennung liefert er die Wärme, die für den Sinterprozeß erforderlich ist. Zunächst entweichen Wasserdämpfe, und das Sintergut wird getrocknet. Dann meldet unsere Nase ein stechend riechendes Gas: Schwefeldioxyd; also verbrennt Schwefel. Schließlich entsteht beim teilweisen Zersetzen des Kalkes auch Kohlendioxyd, das als schweres Gas rasch nach unten sinkt. Da es geruchlos ist, bemerken wir es nicht. Die entstehenden Gase lockern das Sintergut auf. In der Hitze verschweißen die einzelnen Teilchen des Feinerzes zu größeren Teilen. Und das Feinerz backt mit dem Erzstaub, der aus den Gichtgasen abgezogen wird, und mit den Kalksteinblättchen zu groben und dabei porösen Sinterbrocken zusammen (Bild 10). Sie können im Hochofen leicht verhüttet werden.

In einer modernen Großkokerei

Rohkohle kann nicht im Hochofen gefeuert werden, wie sie aus dem Bergwerk kommt. Sie würde in der Hitze zusammenbacken und den Ofen versetzen. Daher verwendet



Koksofenbatterie einer Kokerei; über der Mitte der Füllwagen; vorn der Ausdrückwagen an der Rückseite einer Kokskammer

man an ihrer Stelle den harten und porösen Hüttenkoks. Mit der Koksfeuerung erzielt man außerdem wesentlich höhere Ofentemperaturen und gewinnt bei der Umwandlung von Kohle in Koks zahlreiche wertvolle Nebenprodukte, darunter den Treibstoff Benzin.

Da man einen Koks von möglichst gleichmäßiger Beschaffenheit braucht, wird die Rohkohle zunächst gemahlen und gesiebt. In der Kohlen„wäsche“ schwemmt man die Kohle durch fließendes Wasser in Rinnen entlang. Dabei bleiben die spezifisch schwereren Steine, die beim Abbau mit unter die Kohle gekommen sind, in der Rinne liegen, und die leichtere Kohle wird weggeschwemmt. In großen Siebanlagen wird sie nach der Korngröße sortiert. Durch

feinmaschige Siebe wird zunächst der Kohlenstaub abgeseibt und sammelt sich in einem Bunker als Feinkohle.

Der nächste Bunker wird mit „Perlkohle“, der übernächste mit „Nußkohle“ gefüllt; aus den Bezeichnungen erkennt man schon die Korngröße. Zuletzt wird die „Würfelkohle“ abgeseibt, und die groben Brocken der „Stückkohle“ rutschen über alle Siebe und werden am Ende der Anlage aufgefangen.

Auf langen Förderbändern rutscht die Kohle nun zum Obergeschoß des Kohlenturmes aufwärts. Dabei fällt sie am Ende des ersten auf ein zweites Band und rollt wieder empor, und so geht es weiter, bis sie nach mehrmaligem Wechsel des Förderbandes endlich oben ankommt. Dort sammelt sie sich in weiträumigen Bunkern.

Der Kohlenturm erhebt sich beherrschend über der langen Front der Koksöfen, von denen siebzig und mehr zu einer Koksofenbatterie vereinigt sind. Auch hier ist der Arbeitsprozeß vollkommen mechanisiert. Maschinen bewegen das Material in Flammenglut, in Staub und Gas. Eben gleitet der Füllwagen über die Ofenbatterie dahin und verschwindet in der Einfahrt des Kohlenturms. Unter dessen Bunkern bleibt er stehen. Die Fülltrichter öffnen sich, und unter Poltern und Krachen stürzt eine abgemessene Kohlenmenge in den Wagen. Dann schiebt sich der Wagen wieder auf den Gleisen heran und hält über einem geleerten Kammerofen.

Ein Arbeiter, der Schutzkleidung und Asbesthandschuhe trägt, hebt mit einer Eisenstange den Deckel der Kokskammer ab (Bild 11). Die Kohle stürzt durch den Fülltrichter in die Kammer. Flammen der an der Luft abbrennenden Gase schlagen ihr entgegen. Stangen, die mit Maschinenkraft bewegt werden, verteilen die Kohle gleichmäßig in der glühheißen Kammer. Dann wird der Deckel wieder aufgesetzt und der Ofen damit luftdicht geschlossen. Die Entgasung der Kohle beginnt.



Bild 18 Hochofenabstich. Öffnen des Stichlochs mit dem Stichlochhammer.

Bild 19 Ausfluß des Roheisens in die Abstichrinne.





Bild 20 Masselguß. Arbeiter mit Schutzmasken überwachen den Eisenfluß.

Bild 21 Abstich des Gußeisens aus dem Vorherd des Kupolofens.

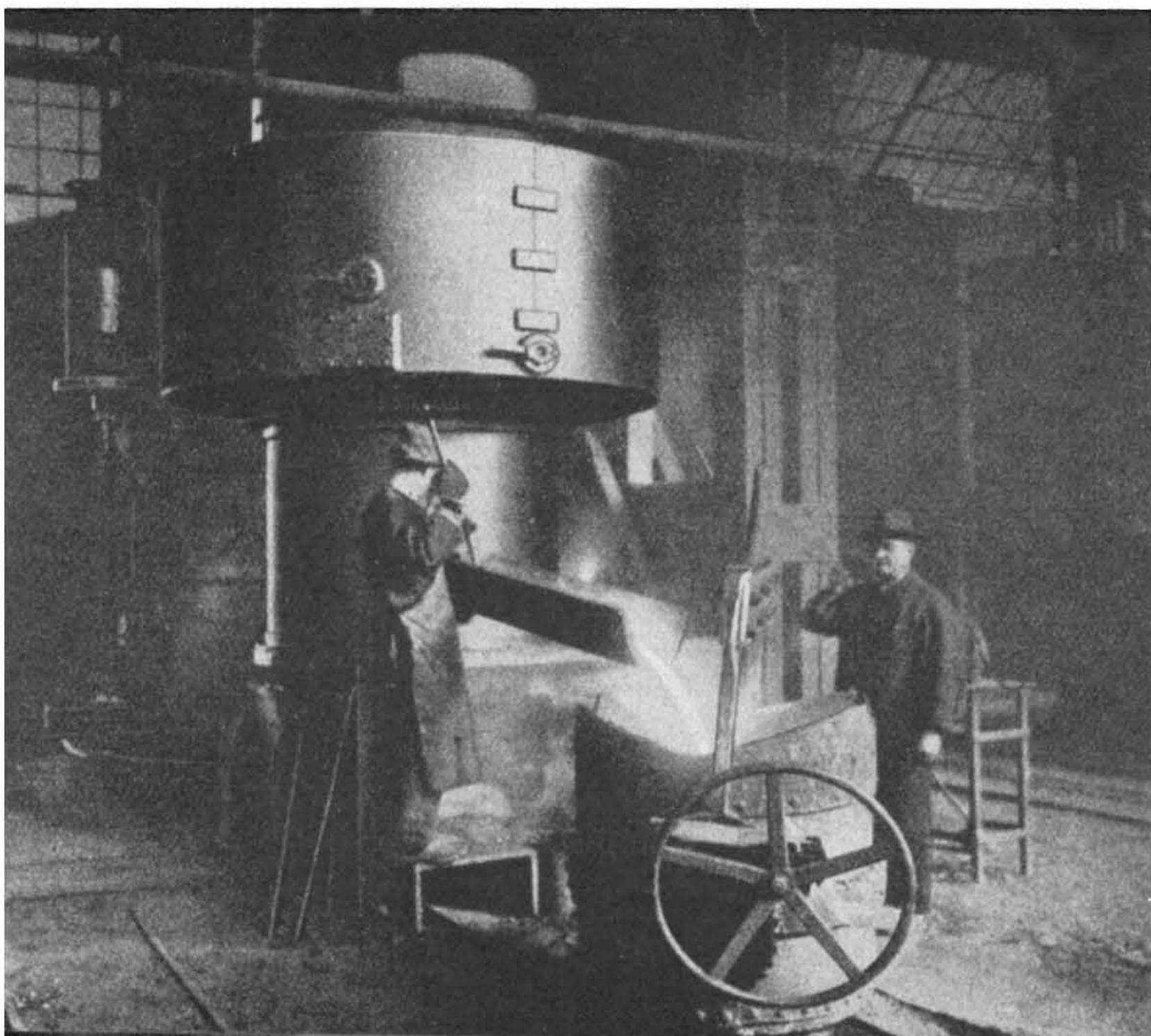


Bild 22

Fertigstellen der Form.
Feststampfen des Form-
sandtes.

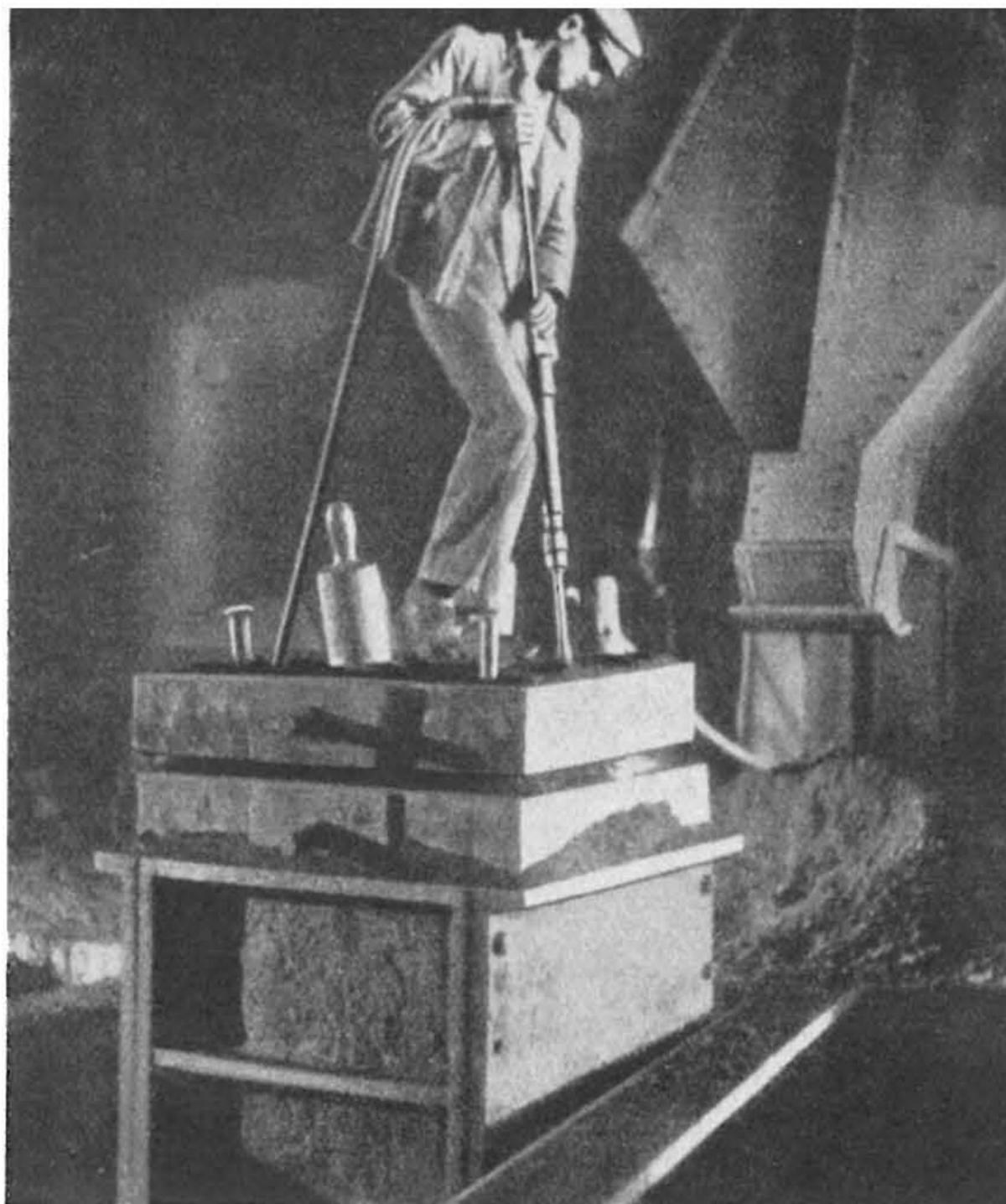


Bild 23 Einpassen der Kerne in die Form.

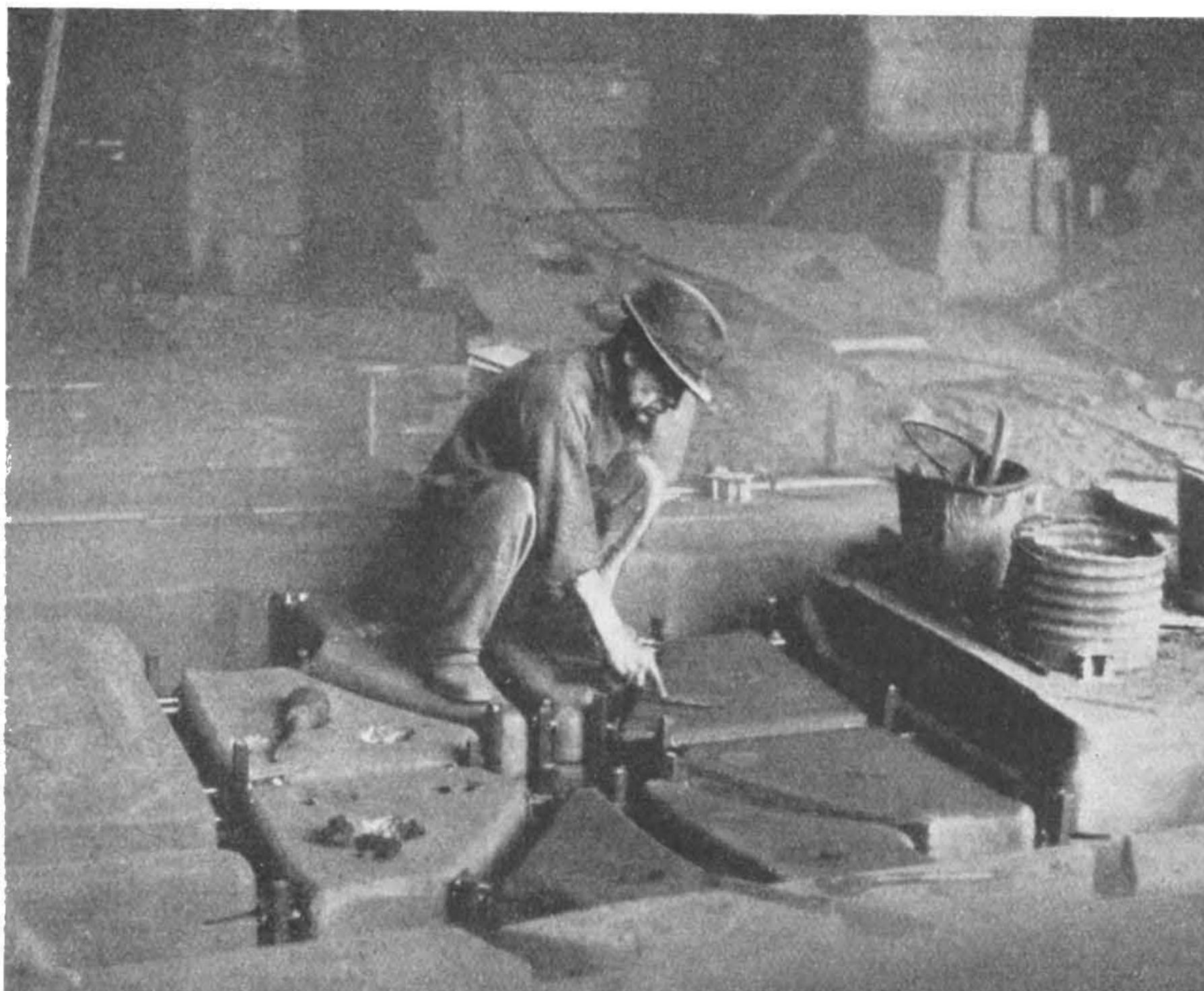
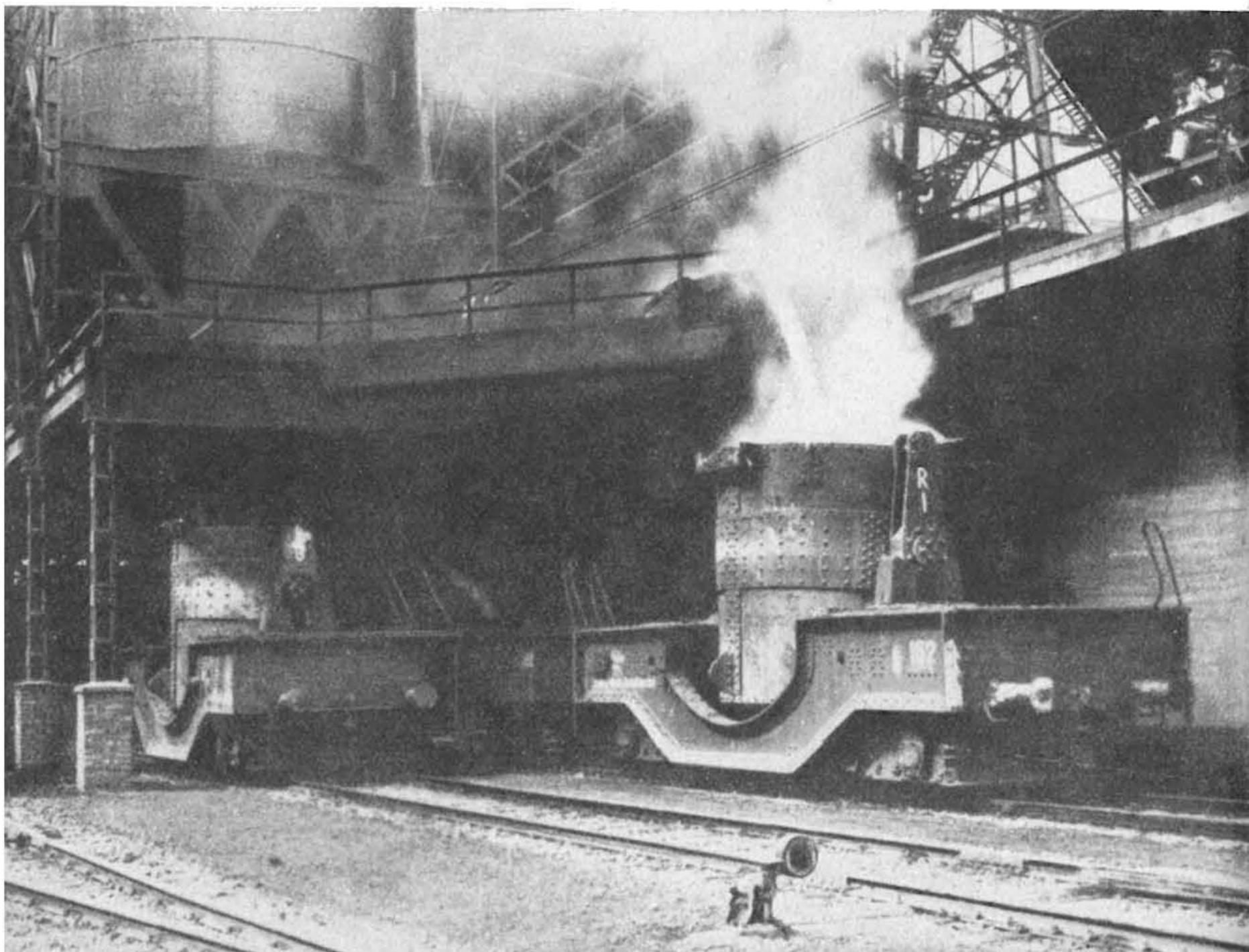




Bild 24 Vergießen von Grauguß im Stahl- und Walzwerk „Wilhelm Florin“ VEB, Hennigsdorf.

Bild 25 Hochofenabstich. Das Roheisen fließt in den Transportwagen.



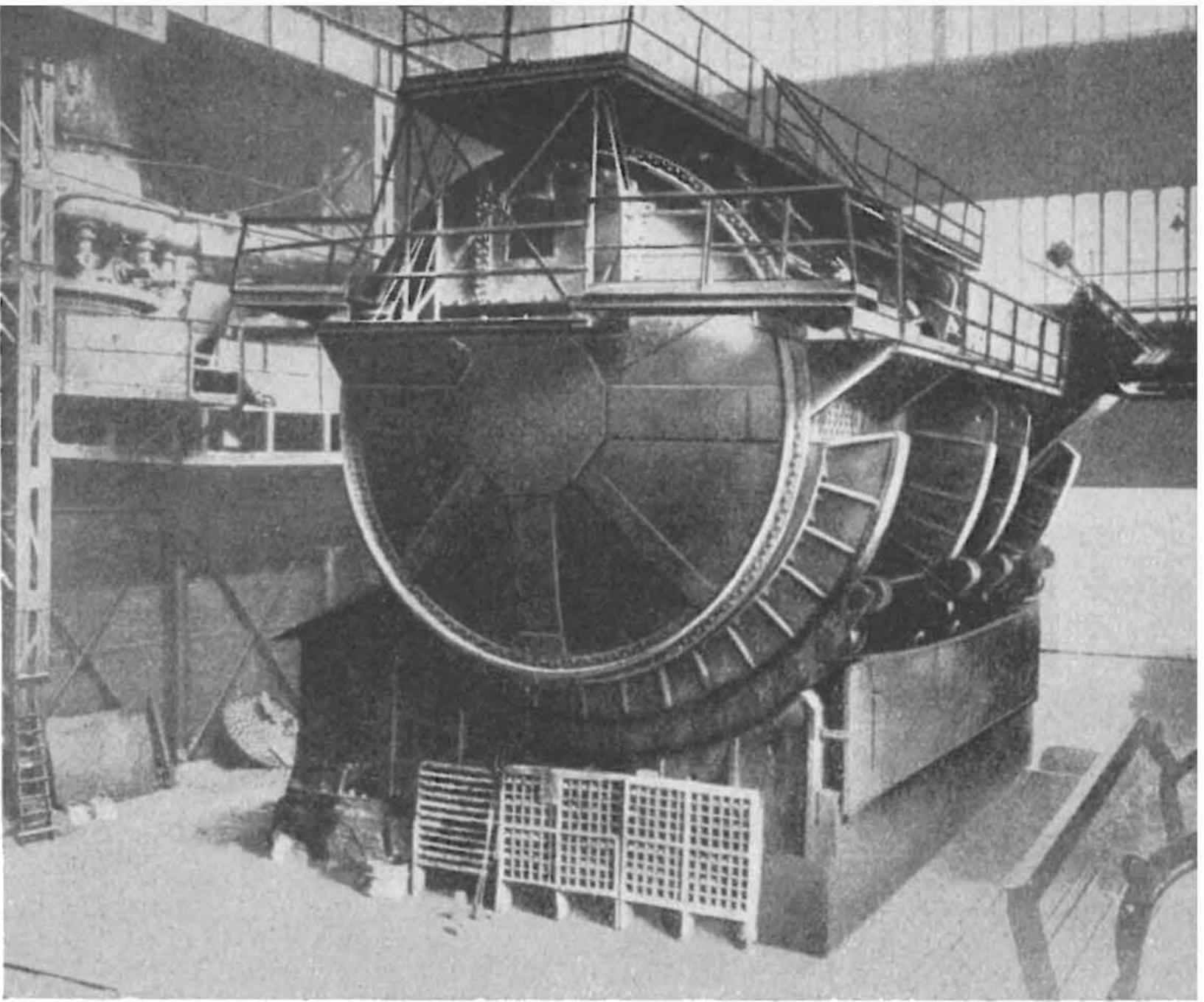
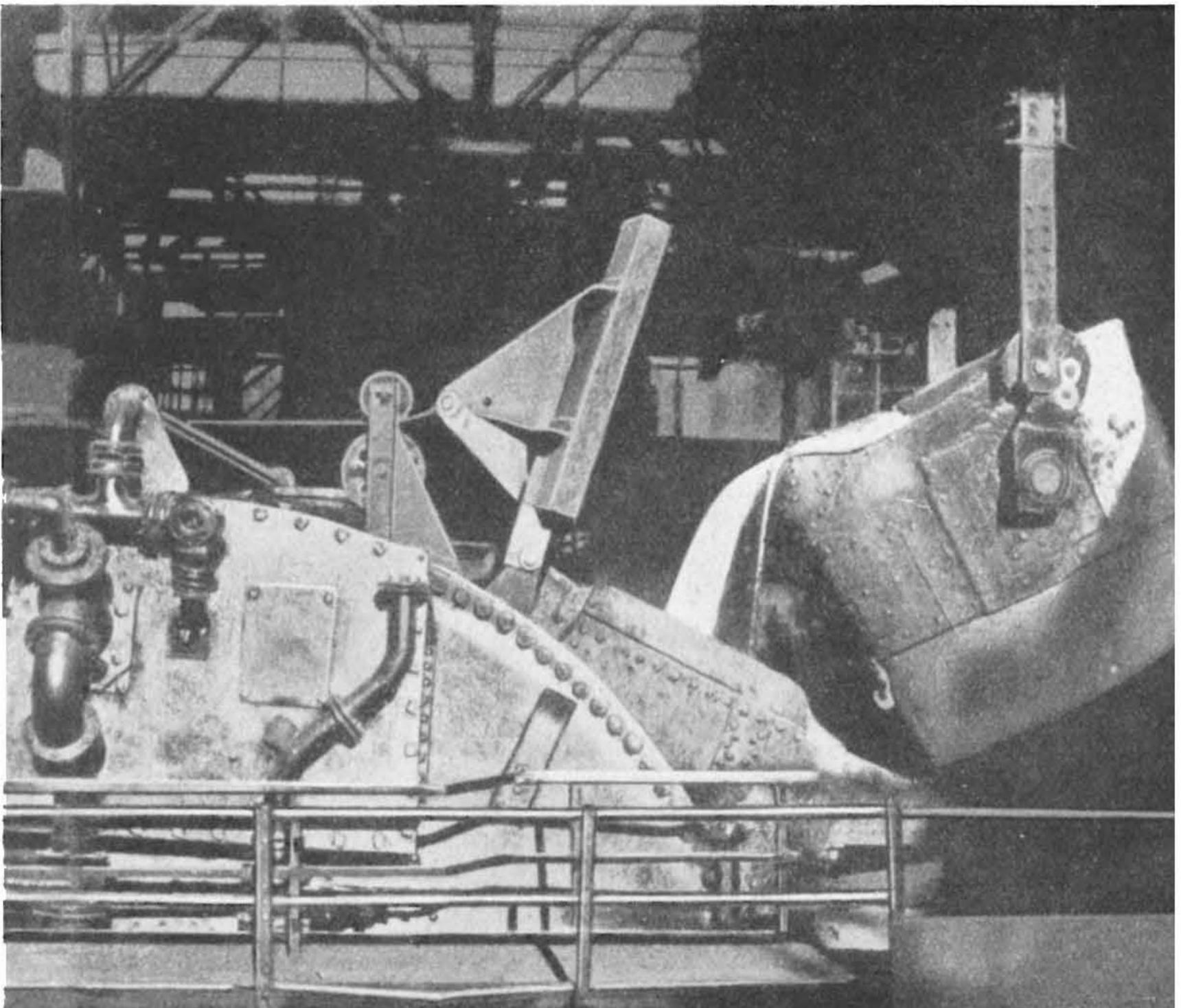


Bild 26 Roheisenmischer im Stahlwerk.

Bild 27 Füllen des Mixers.



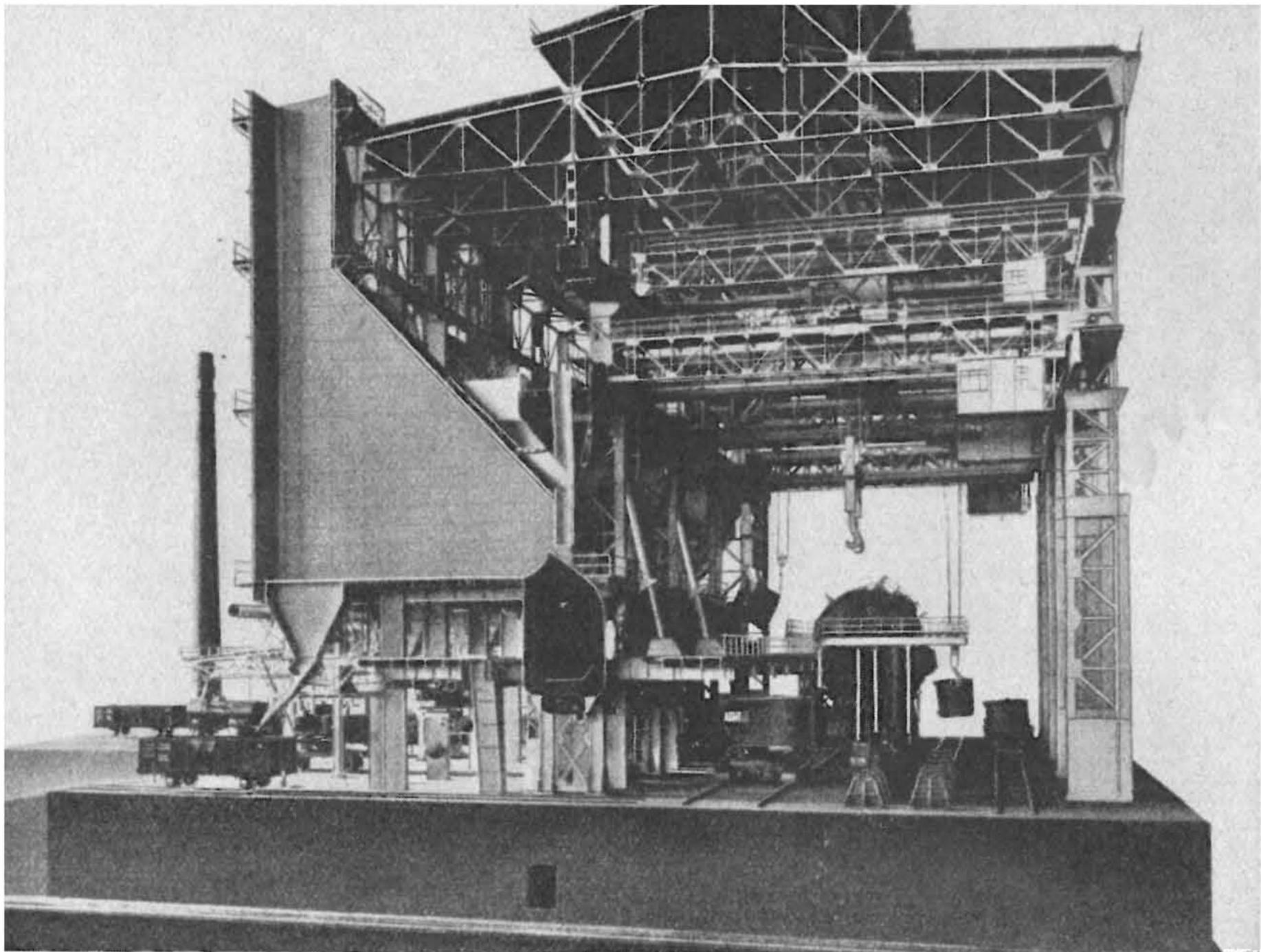


Bild 28 Thomasstahlwerk im Schnitt. In der Mitte der Halle der Roheisenmischer. Links Konverter in Blasstellung.

Bild 29 Auf der Beschickungsbühne des Thomasstahlwerkes.

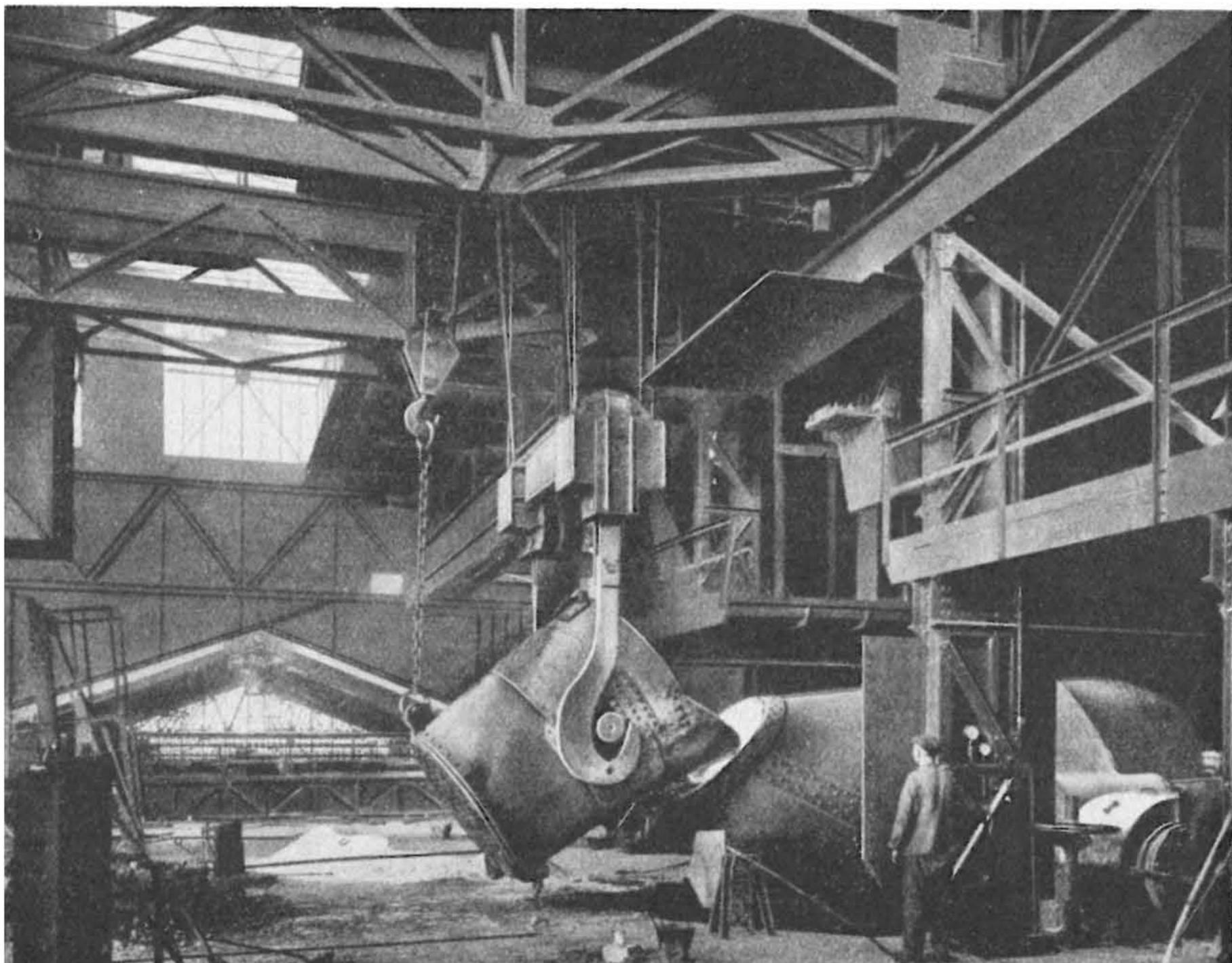


Bild 30
Ein blasender Kon-
verter wird gekippt.

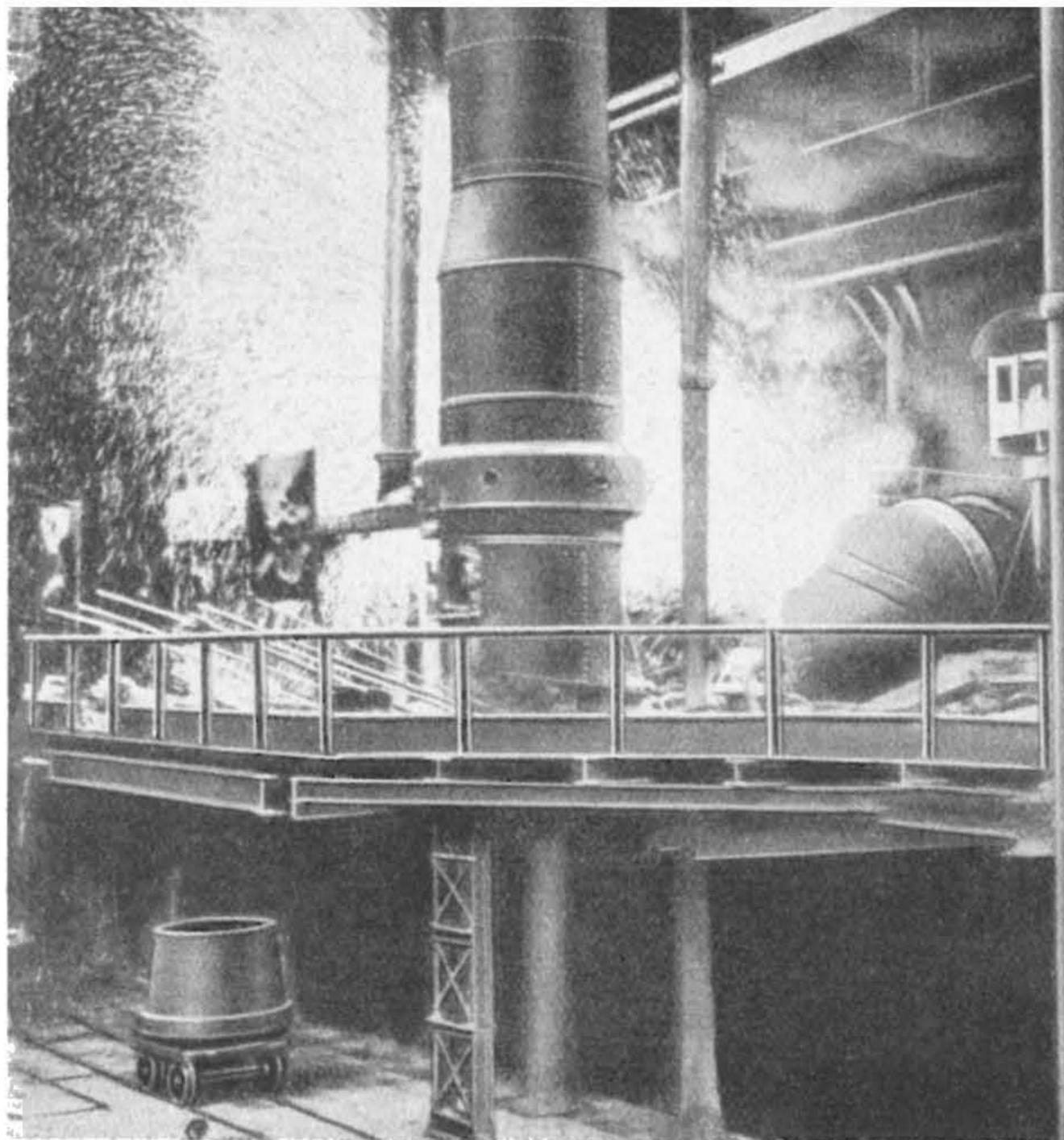
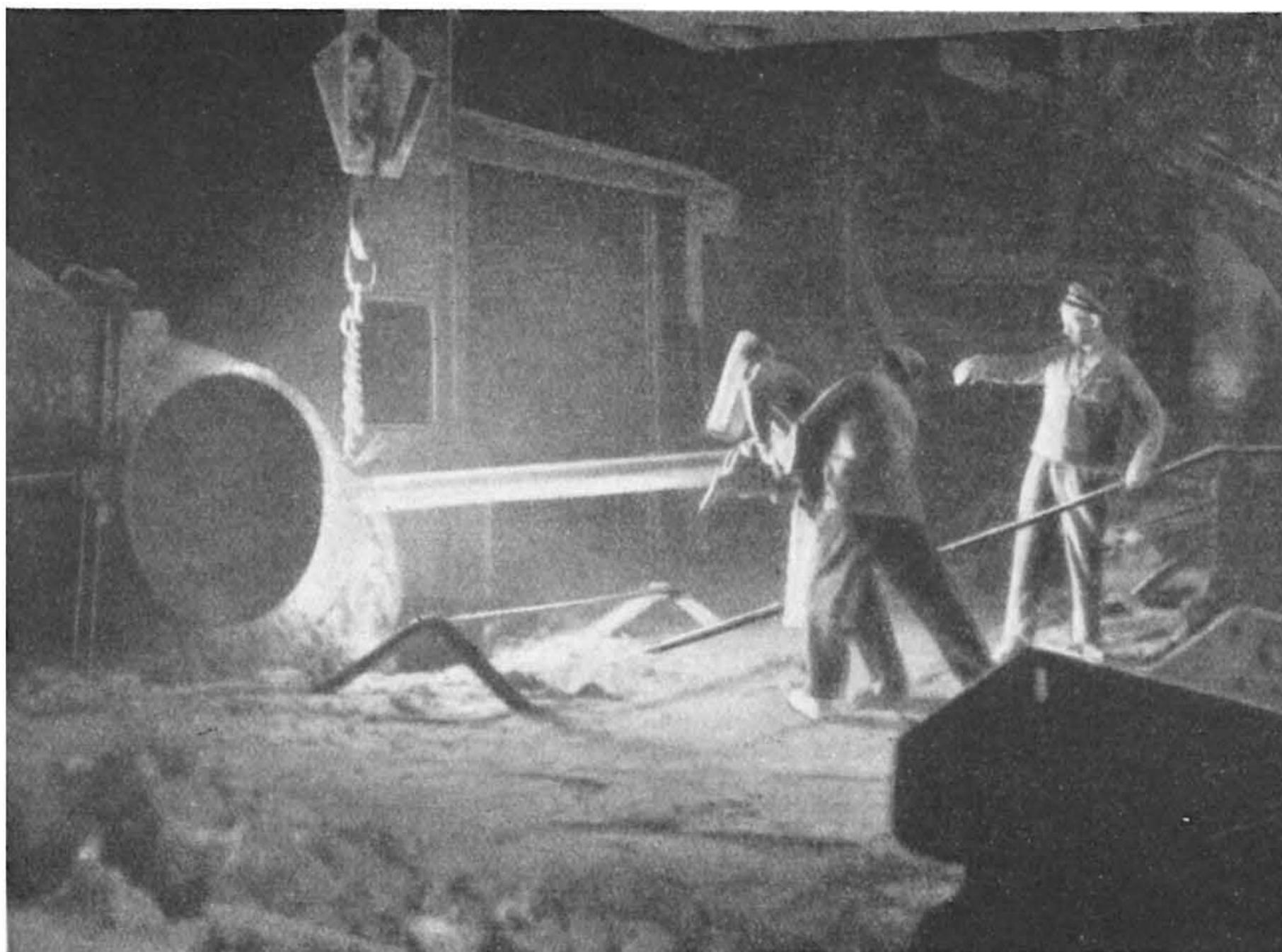


Bild 31 Einführen von Zusatzschrott in den Konverter.



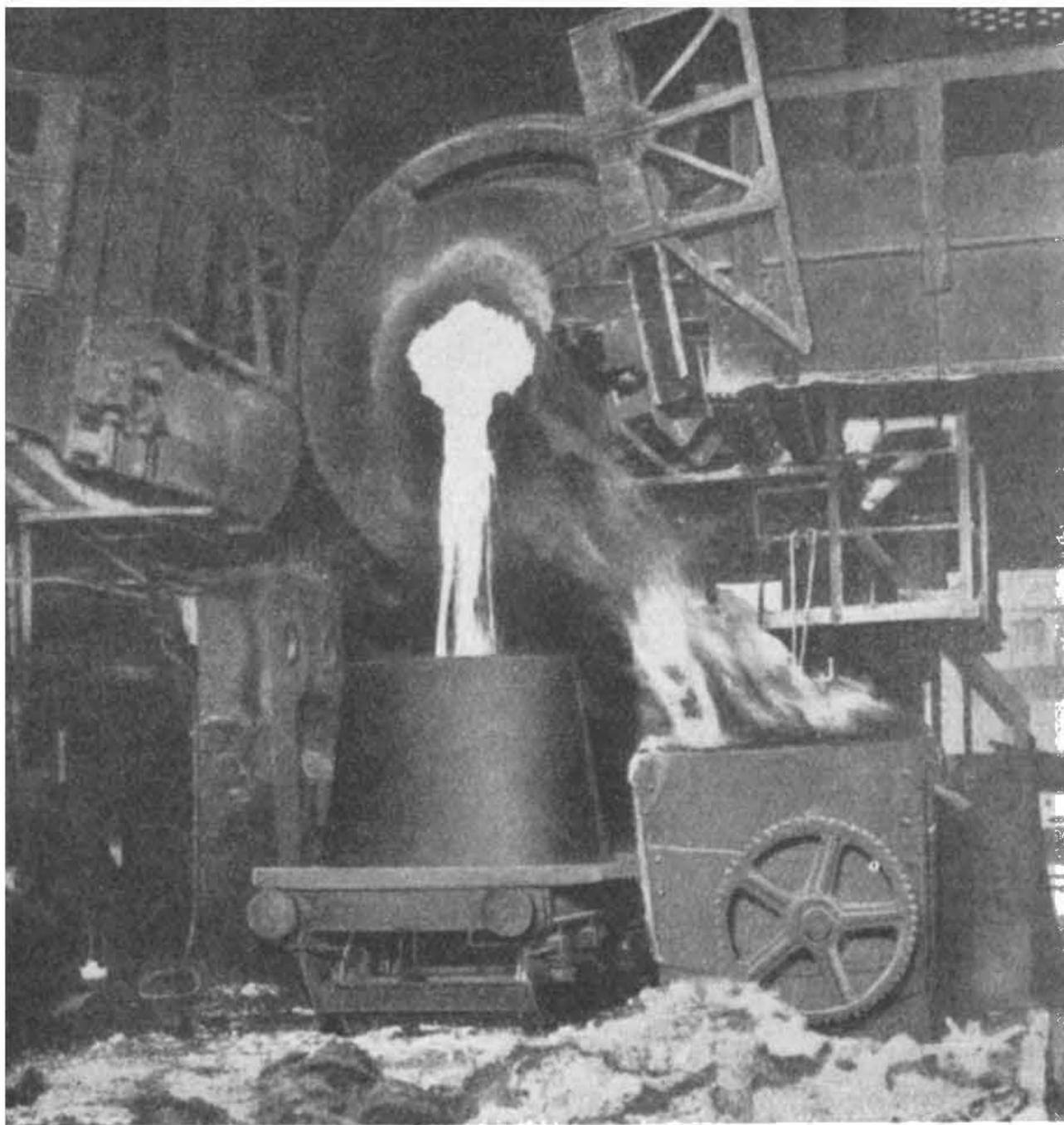
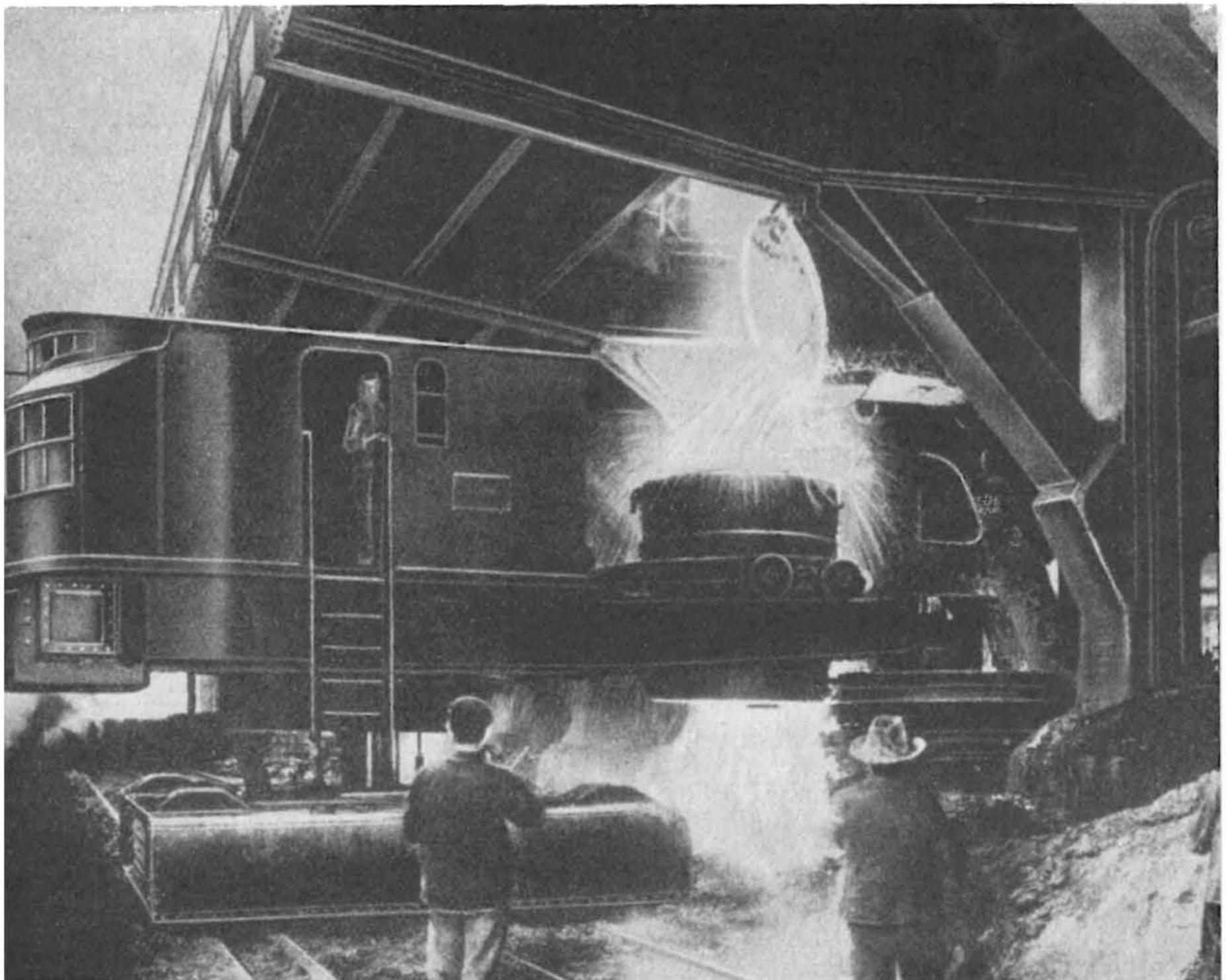
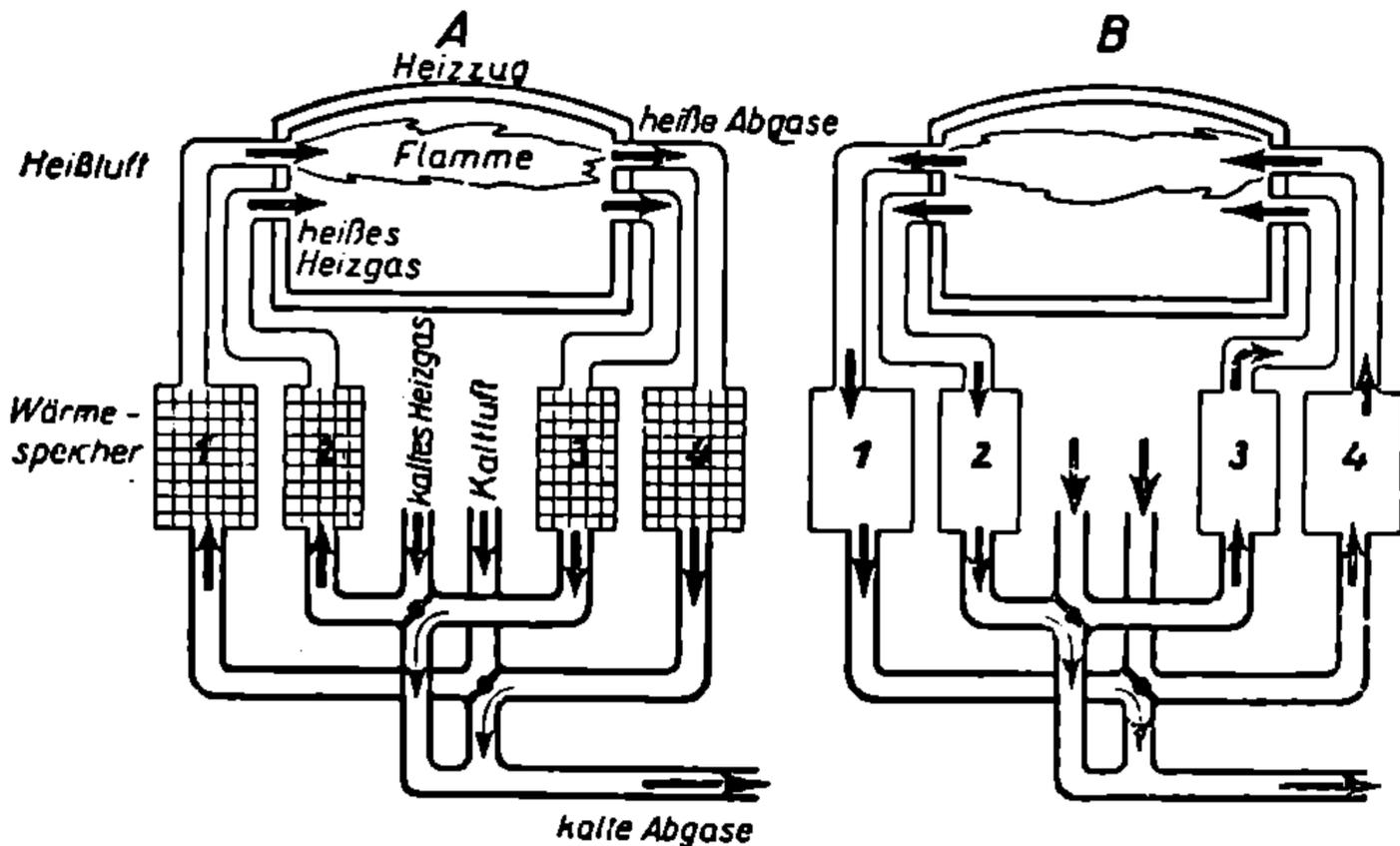


Bild 32
Abschlacken
des Konverters.

Bild 33 Entleeren des Konverters. Der Thomasstahl fließt in den Kübel
des Gießwagens.



Erhitzt man die Kohle bei Luftzutritt, so verbrennt der Kohlenstoff, wie dies zum Beispiel in unseren Zimmeröfen geschieht. Hier aber soll er als Koks übrigbleiben. Man trennt daher den Heizraum von der Kohle und läßt in der Koksofenbatterie breite Kokskammern mit schmalen Heizzügen abwechseln. Diese werden mit Gasen befeuert. Nichts läge näher, als daß man das Kokereigas, das beim

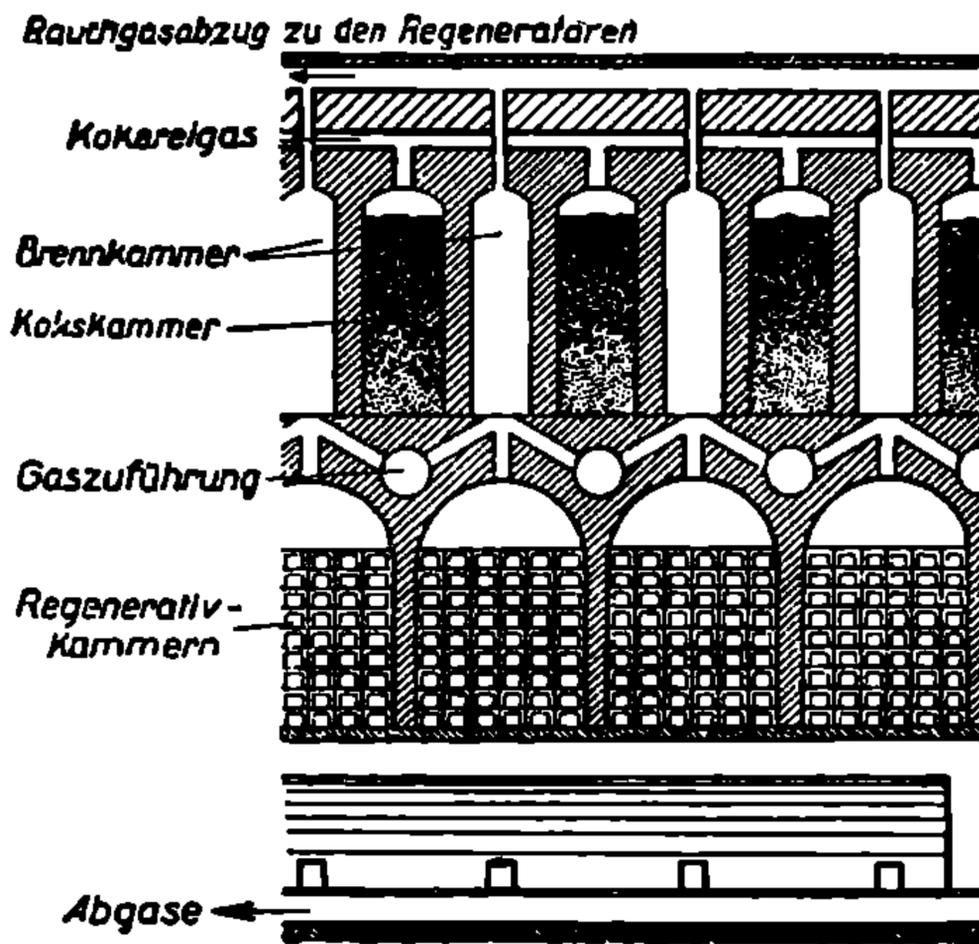


Die Wirkungsweise der Wärmespeicher

Entgasen der Kohle entsteht, zum Heizen verwendet, und so war es auch früher. Heute allerdings denkt und handelt man wirtschaftlicher. Das Kokereigas ist ein sehr wertvolles Heizgas. Es wird in großen Fernleitungen den Großstädten und Industriewerken zugeführt und in der Industrie und den Haushalten als „Gas“ verbraucht. Zum Beheizen der Koksöfen genügt ein weniger wertvolles Gas, wie es zum Beispiel bei der Verhüttung der Eisenerze im Hochofen entsteht. Dieses zieht man aus dem oberen Teile des Hochofens, der Gicht, ab und nennt es daher Gichtgas. Man leitet es als Heizgas zurück in die Kokerei, während das wertvollere Kokereigas verkauft wird.

Die Verwendung des wenig wertvollen Gichtgases setzt allerdings voraus, daß man die Hitze der Abgase als zu-

sätzliche Wärmequelle ausnutzt. Diese „Abgase“, die sonst einfach durch den Schornstein in die Luft entweichen, strömen nun zunächst durch Wärmespeicher, von denen unter jeder Kokskammer vier liegen. Sie sind mit einem Gitterwerk feuerfester Steine ausgesetzt. Zunächst strömen die Abgase durch die Wärmespeicher 1 und 2, geben ihre Hitze an die Steine ab und erhitzen sie auf Rotglut.

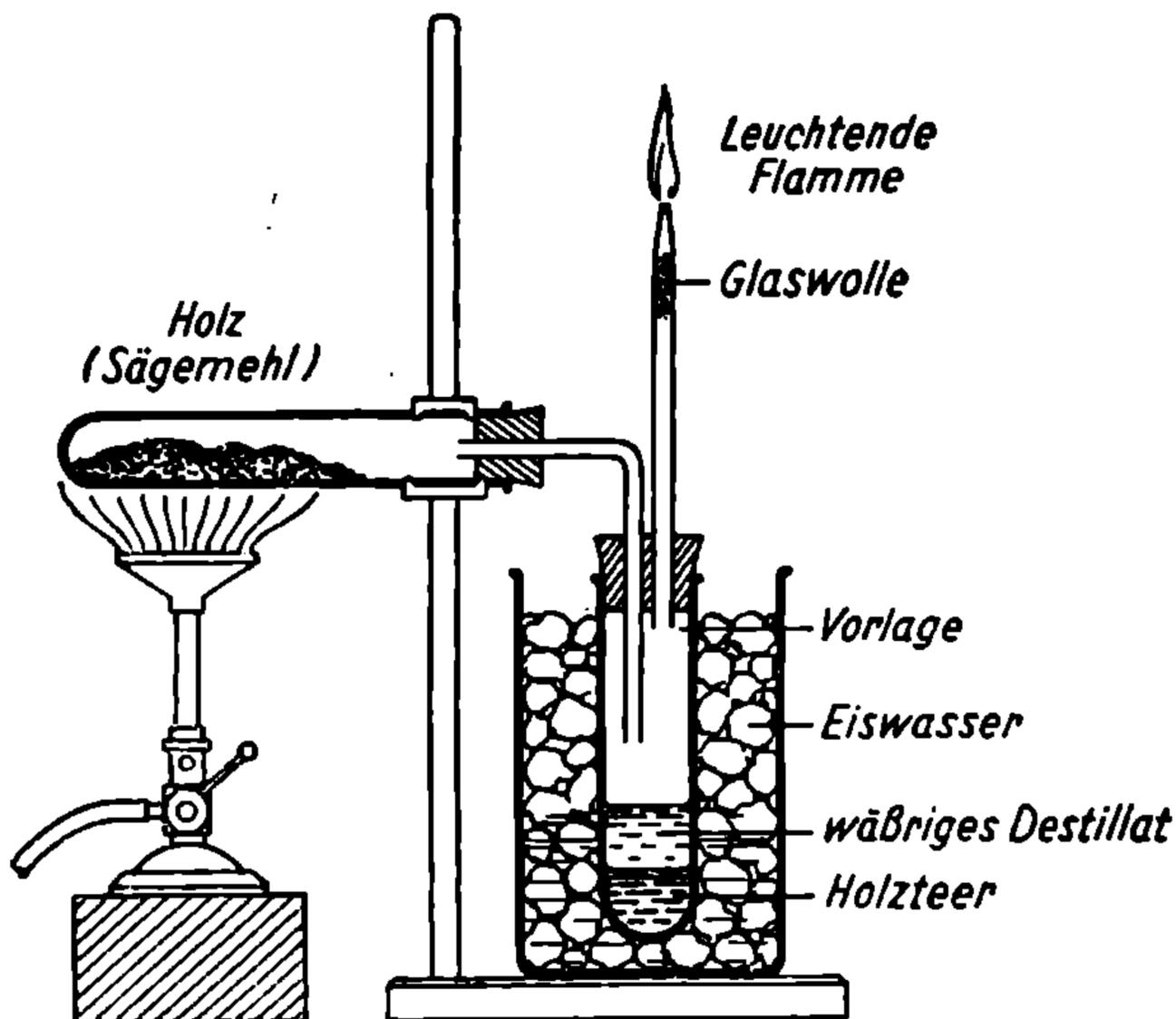


Koksofenbatterie im Längsschnitt; unter den Kokskammern die Wärmespeicher oder Regenerationskammern

Dann läßt man durch das heiße Gitterwerk die neu hinzutretenden Gase strömen, also zum Beispiel durch Speicher 1 die Frischluft und durch Speicher 2 das Gichtgas. Beide nehmen die Hitze des Steingitters auf und kommen erhitzt in die Heizzüge, in denen sie abbrennen. So spart man die Energie, die zum Erhitzen auf Verbrennungstemperatur notwendig ist, und die Ofentemperatur steigt um mehrere hundert Grad an. Das Steingitter der Speicher 1 und 2 kühlt sich dabei ab. In der Zwischenzeit aber sind die Speicher 3 und 4 durch heiße Abgase vorgewärmt worden. Nun werden Ventile in den Zuleitungsrohren umgeschaltet, und Frischluft und Gichtgas strömen durch

die erhitzten Räume 3 und 4 in die Heizzüge, während die Wärmespeicher 1 und 2 wieder vorgewärmt werden. So wird ständig gewechselt.

Beim Befeuern der Heizzüge beginnen die Wände der Kokskammern, die aus feuerfesten Silikasteinen erbaut



Modellversuch einer kleinen Kokerei
Das waagrechte Prüfglas entspricht der Kokskammer

sind, zu glühen. Ihre Hitze überträgt sich auf die Kohle in den Kammern. Zunächst beginnt sie zu schwitzen, und die Feuchtigkeit entweicht als Wasserdampf. Schließlich nimmt die Kohle eine Temperatur von mehr als 1000°C an.

Wer Lust hat, kann die chemischen Vorgänge, die sich in der Glühhitze der Kokskammer abspielen, an Hand eines kleinen Versuches studieren. Wir besorgen uns dazu zwei Prüfgläser, ein Wasserglas, ein gewinkeltes und ein zur Spitze ausgezogenes Glasröhrchen und zwei Stopfen. Ein Prüfglas füllen wir mit Sägemehl oder Holzspänen, ver-

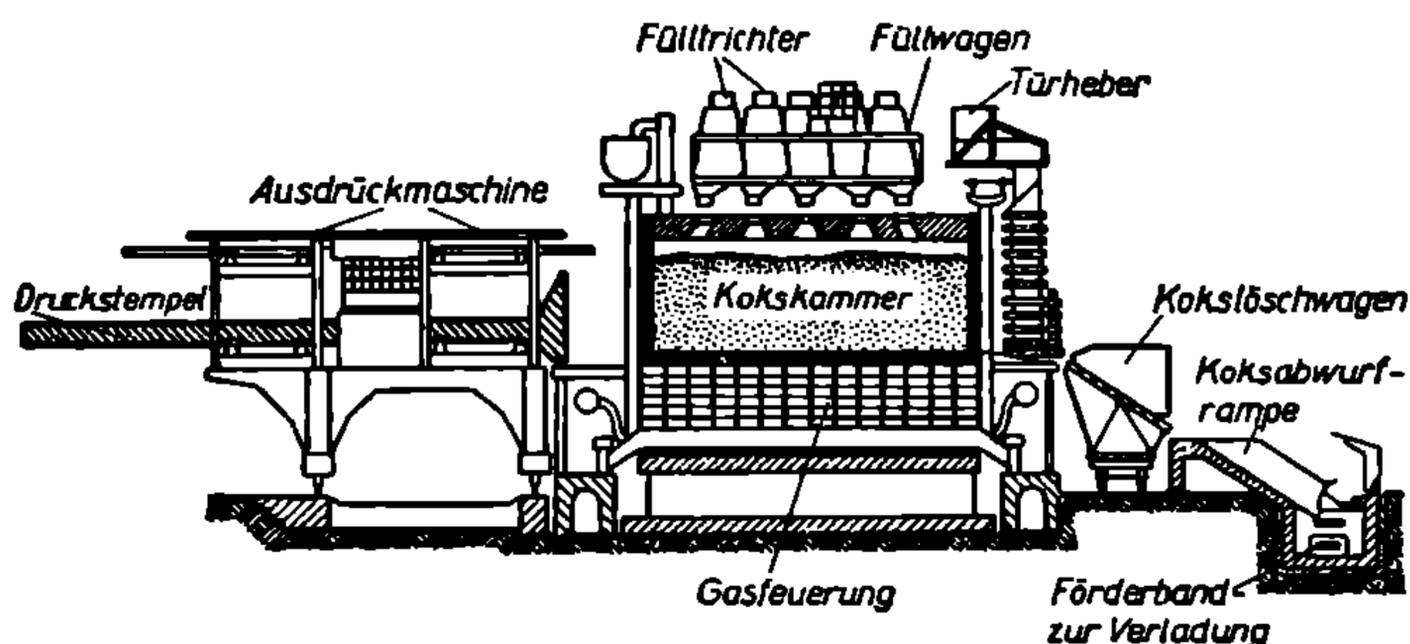
schließen es mit einem durchbohrten Stopfen, durch den ein gewinkeltes Glasröhrchen geführt ist, und befestigen es in waagerechter Lage. Das Röhrchen mündet durch einen doppelt durchbohrten Stopfen in ein senkrecht gestelltes Prüfglas, das in einem Glase mit Kühlwasser steht. Durch die zweite Bohrung des Stopfens ragt ein zur Spitze ausgezogenes Glasröhrchen heraus.

Das Holz wird erhitzt; es zersetzt sich. Gasförmige Destillationsprodukte entweichen, die sich zum Teil in der wassergekühlten Vorlage zu Flüssigkeiten verdichten. Bald scheiden sich diese in zwei Schichten. Über einer Bodenschicht aus Teer setzt sich eine wässerige Oberschicht ab. Prüfen wir diese am Ende des Versuchs mit rotem Lackmuspapier, so wird es blau gefärbt. Es ist also eine basisch reagierende Flüssigkeit. Ihr Geruch gleicht dem des Salmiakgeistes. Tatsächlich handelt es sich auch um einen verdünnten Salmiakgeist; es ist Ammoniakwasser. Während des Versuches können wir die entweichenden Gase am Endröhrchen entzünden; sie brennen mit leuchtender Flamme ab. (Die Glaswolle im Röhrchen soll Teertröpfchen und Wassertröpfchen zurückhalten.) Im ersten Prüfglas bleibt reiner Kohlenstoff übrig, in diesem Falle Holzkohle. Gleiche Vorgänge spielen sich in der Kokerei beim Erhitzen von Kohlen unter Luftabschluß ab, denn die Kohlen sind einst aus Pflanzenteilen entstanden, die in Sümpfen unter Luftabschluß gerieten und nicht verfaulen konnten. Wenn auch im Laufe geologischer Zeiträume diese Pflanzenteile bei erhöhter Temperatur und hohem Gebirgsdruck in großen Erdtiefen allmählich in Kohle verwandelt wurden, so bestehen doch Holz und Kohle aus den gleichen Elementen, nämlich überwiegend aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. So ist es erklärlich, daß bei der Zersetzung von Holz und Kohle auch ähnliche Zersetzungsprodukte entstehen.

In der Hitze des Koksofens zersetzen sich die Stoffe, aus denen die Kohle besteht. Ihre Zersetzungsprodukte ent-

weichen im gasförmigen Zustand, und in der Kammer bleibt als fester Rückstand der Entgasung weißglühender Koks.

Nach der Entgasung wird durch den Türheber die Vordertür und durch die Ausdrückmaschine die hintere Tür der Kammer geöffnet. Der Stempel der rückwärtigen Ausdrückmaschine stößt mit großer Kraft in den Kammerofen und schiebt den Koks nach vorn aus der Kammer



Längsschnitt durch einen Kammerofen mit Koksfüllwagen, Ausdrückwagen und Löschwagen

(Bild 12). Nun stürzt die glühende Masse in den Löschwagen, der langsam vorüberfährt und den fallenden Koks aufnimmt. Führungswände am Türheber sorgen dafür, daß der Koks nicht neben den Wagen fällt. Und während die Türen der leeren Kammer nach dem Zurückziehen des Ausdrückstempels langsam wieder luftdicht geschlossen werden, während der Füllwagen, mit neuer Kohle beladen, bereits wieder über der Ofenbatterie heranrollt, fährt der Löschwagen mit seiner glühenden Last unter den Löschurm. Dort ergießt sich durch große Brausen eine Flut von Kaltwasser auf den glühenden Koks. Er zischt und stößt dichte Wasserdampfswolken aus, die vom Rauchfang des Löschturms aufgenommen und nach oben geleitet werden. Da dampft und bläst der nunmehr schwarze Koks; im Innern ist er noch heiß. Während die letzten Reste der

kalten Dusche verdrauchen, setzt sich der Wagen wieder in Bewegung und fährt auf die Abwurftrampe. Mit einem Hebeldruck öffnet der Wagenführer die Entladeklappen. Langsam rutscht der Koks auf dem schiefen Wagenboden herab und gelangt über die Abwurftrampe auf ein Förderband. Nirgends Stillstand, überall Bewegung! Der ausgedampfte Koks rollt weiter in die Sortieranlage und wird, nach der Größe sortiert, auf neuen Förderbändern in die Kohlenbunker der Hochofenanlage transportiert (Bild 9).

Koks ist das Hauptprodukt der Kokerei; aber er ist nur eines ihrer vielen Erzeugnisse. Wie im Versuch, so werden auch in der Kokerei die gasförmigen Zersetzungsprodukte durch wassergefüllte Rohre, die Vorlagen, und durch verschiedenartig gebaute Kühler geleitet. Dabei werden sie auf 30°C abgekühlt. Das Wasser der Vorlage fängt die Ammoniakmoleküle ein und löst sie zu Ammoniumhydroxyd, das der Drogist als Salmiakgeist verkauft. Meist jedoch versetzt man die Lösung mit Schwefelsäure, mit der sich das Ammoniumhydroxyd zu Ammoniumsulfat umsetzt; es ist eines der wichtigsten künstlichen Stickstoffdüngemittel für die Landwirtschaft.

Beim Abkühlen der Gase und Dämpfe verdichten sich auch die Teerprodukte zu Tröpfchen, und aus den Kühlern fließt in kleinen Bächen eine dunkelbraune, stinkende Flüssigkeit in die Teergrube ab. Dieser Teer ist der Rohstoff für zahlreiche wichtige Grundstoffe der chemischen Industrie; aus ihm entstehen prächtige Farben, Riechstoffe, Arzneimittel und Sprengstoffe; aus ihm gewinnt man Waschöle und Heizöle, Schmiermittel und Treibstoffe. Noch zahlreiche Wäscher muß das Rohgas passieren, ehe es verwendungsfähig wird. Die letzten Teertröpfchen und die letzten Reste von Ammoniak müssen ihm entzogen werden, denn Ammoniak zum Beispiel wird den Gasleitungen gefährlich. Es zerfrißt die Rohre, macht sie porös und gasdurchlässig.

Im Ölwäscher wird aus dem Rohgas Naphthalin herausgelöst, und im Trockenwäscher werden Zyan und Schwefel zurückgehalten. Aus dem Zyan gewinnt man den Farbstoff Berliner Blau. Der Schwefel ist für die Gewinnung von Schwefelsäure wichtig. Zuletzt wird noch Benzol aus dem Rohgas entfernt. Dann speichert man es in den großen Tauchglocken der Gasometer. Sie können bis 300 000 Kubikmeter Gas aufnehmen. Diese Speicherung dient dem Ausgleich zwischen Produktion und Verbrauch, denn die Produktion ist stetig, der Verbrauch hingegen konzentriert sich auf bestimmte Tagesstunden und führt zu einer Spitzenbelastung des Werkes. Aus den Gasometern strömt das Gas in das System der Rohrleitungen und Fernleitungen. Sie strahlen beispielsweise vom Ruhrgebiet in einer Gesamtlänge von mehreren tausend Kilometern wie die Speichen eines Rades aus und versorgen den Westen bis nach Aachen, den Norden bis zur holländischen Grenze und zur Nordseeküste, den Osten bis Hannover und den Süden bis ins Sauerland und Siegerland mit Ferngas. Ein beachtlicher Teil des Kokereigases dient außerdem dazu, die zahlreichen Öfen der Stahl- und Walzwerke und anderer großer Industriewerke zu heizen. So ersetzen die Kokereien in den Kohlenrevieren ganz und gar die Gaswerke. Man gewinnt in ihnen aus 1000 kg Kohle durchschnittlich etwa 750 kg Koks, 30 kg Teer, 3 kg Ammoniak, 10 kg Benzol und dazu 300 Kubikmeter Kokereigas!

In den Rohstoffbunkern vor den Hochöfen (Bild 9) treffen sich nun die aufbereiteten Eisenerze und der Koks und dazu Kalk, Quarz und Schiefergestein, die dem Erz als Zuschläge beigemischt werden. Wohlgeordnet und sortiert ist alles beieinander: der Brennstoff Koks, die schlackebildenden Zuschlagstoffe und das verhüttungsfähige Erz. Es fehlen nur noch der Chemiker, der die Zusammensetzung der einzelnen Rohstoffe untersucht, und der Ingenieur, der auf Grund der chemischen Analysen die Stoffmengen berechnet, die zusammen im Hochofenprozeß das gewünschte

Erzeugnis ergeben. Und endlich fehlt noch die ordnende Hand des Technikers, der die Rohstoffe in den festgelegten Verhältnissen zusammenfügt und den Stofffluß im Hüttenwerk überwacht.

So geben Chemiker, Ingenieure und Technologen auf Grund wissenschaftlicher Untersuchungsergebnisse und Berechnungen die Arbeitsanweisungen. Auf den Kumpels aber lastet die Schwere der Arbeit, die in den mannigfaltigen Betrieben der Eisen- und Stahlindustrie zu leisten ist. Sie sind es, die im Hüttenwerk Eisen und Stahl nach den gegebenen Anweisungen aus den Erzen erschmelzen und in den angeschlossenen Schmieden und Walzwerken zu Fertigerzeugnissen verformen.

AUS ERZ WIRD ROHEISEN

Ein Besuch in der Maxhütte

Noch schwelen die Nebel des Wintermorgens über dem Talgrund von Unterwellenborn, als wir das Gelände der Maxhütte betreten. Sie mischen sich mit den Rauchschwaden des Werkes und tauchen alles in ein diffuses Licht. Hier und da werden Konturen von Werkhallen, Gerüsten, Greifern und anderen Industrieanlagen deutlicher. Schemenhaft rollen Züge heran. Noch sind keine Zusammenhänge zwischen den großen Hallen, dem Gewirr der Schienen und Rohrleitungen, der Eisenblöcke und Fertigwaren zu erkennen. Wir tasten uns vorwärts durch Nebel und Rauch, bis vor uns die Türme der Hochöfen und Winderhitzer aufragen.

Da fällt uns zunächst die merkwürdige Form der Hochöfen auf. Zuunterst befindet sich der Bodenstein. Auf ihm ruht das zylindrische Gestell mit den Abstichöffnungen für Schlacke und Metall.

Mit eisernen Stangen machen sich Arbeiter damit zu schaffen, die Abstichrinne von den Schlackenresten des letzten Abstiches zu säubern und im Formsand einen glatten Kanal für den nächsten Abstich vorzubereiten. Über dem Gestell erweitert sich der Ofen kegelförmig; das ist die Rast, auf der die Erzsäule im Innern des Hochofens ruht. Darüber folgt der Schacht, der sich nach oben verjüngt.

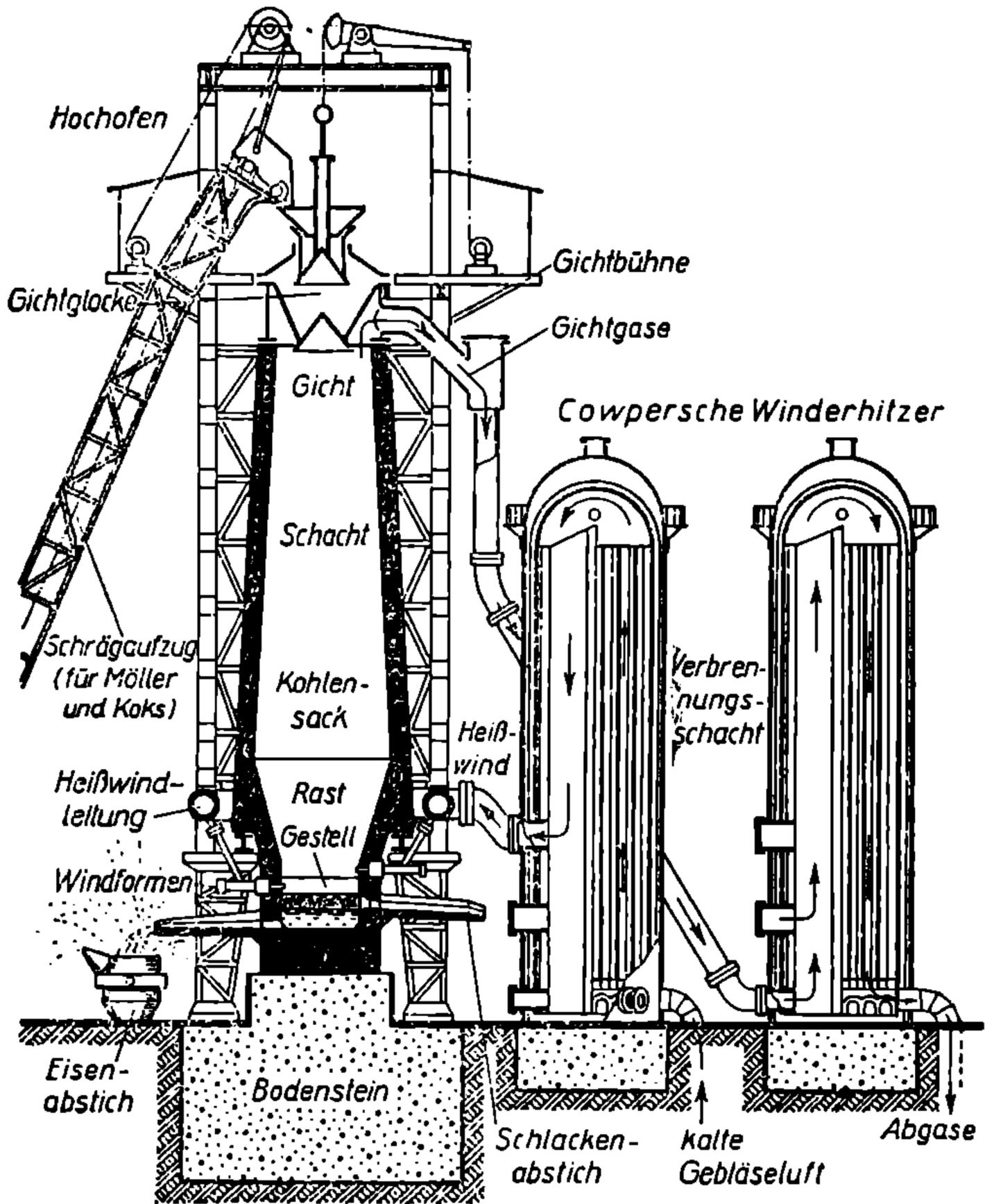
Die Form des Hochofens, so erklärt unser Begleiter, hängt aufs engste mit den Vorgängen im Hochofen zusammen. Er erinnert uns an die Eisenbahnschienen. Beim Bau von Gleisanlagen müssen zwischen den einzelnen Schienen Zwischenräume bleiben. Wenn bei direkter Sonnenbestrahlung im Hochsommer die Schienen sehr warm werden, dehnen sie sich aus und werden länger. Wäre der Zwischenraum nicht vorhanden, so müßten sich die Schienen verbiegen, und Zugentgleisungen wären an der Tagesordnung.

So muß auch im Hochofen die Ausdehnung der Rohstoffe durch die Wärme berücksichtigt werden. Die Erzsäule dehnt sich in der nach unten zunehmenden Hitze im Hochofen aus; sie würde den Schacht sprengen, wenn dem nicht durch eine entsprechende Erweiterung des Innenraumes Rechnung getragen würde. Schließlich aber wird eine Temperatur erreicht, in der der Koks verbrennt und das Volumen der übrigen Beschickung sich durch das Aufschmelzen der Erze und Gesteine ebenfalls verringert. Darum ist der Ofen in der Rast wieder entsprechend verengt. Nur so wird der gleichbleibende Stofffluß im Hochofen gesichert.

Unser Begleiter will uns in den Fahrstuhl schieben, der uns zur Gicht des Hochofens bringen soll. Aber damit sind wir nicht einverstanden. Wir scheuen nicht den Aufstieg durch Rauch und Staub; wir wollen Stufe um Stufe am Gerüst des Ofens emporsteigen und dabei genau Umschau halten.

Wir stehen also am Gestell und blicken in die Höhe. Über unseren Köpfen zieht rings um die Rast die große Rohrleitung für den Gebläsewind (Bild 13). Kleine Leitungen zweigen von ihr ab und führen zu den Windformen, durch deren Düsen die heiße Gebläseluft, der Wind, oberhalb des Gestells in den Hochofen strömt. Hier ist die heißeste Stelle des Ofens. Durch Schaugläser dürfen wir einen Blick in die Feuerglut des Ofens werfen, und wir sehen, wie der weißglühende Koks in dem unter Druck eingeblasenen Heißwind auf- und niedertanzt.

Unablässig rinnt Wasser an der Wand von Rast und Gestell herab und bildet auf der Ofenwandung einen Flüssigkeitsmantel. Als Kühlmantel zieht er die ärgste Hitze von den feuerfesten Steinen der Ofenwandung ab, um ihre Lebensdauer zu verlängern. Auch die Windformen wären längst aufgeschmolzen, wenn sie nicht von Kühlkästen umgeben wären und in diesen ständig von Kühlwasser umspült würden. Erst der Schacht, der über der Rast beginnt und sich nach oben verjüngt, braucht diese Wasserkühlung nicht

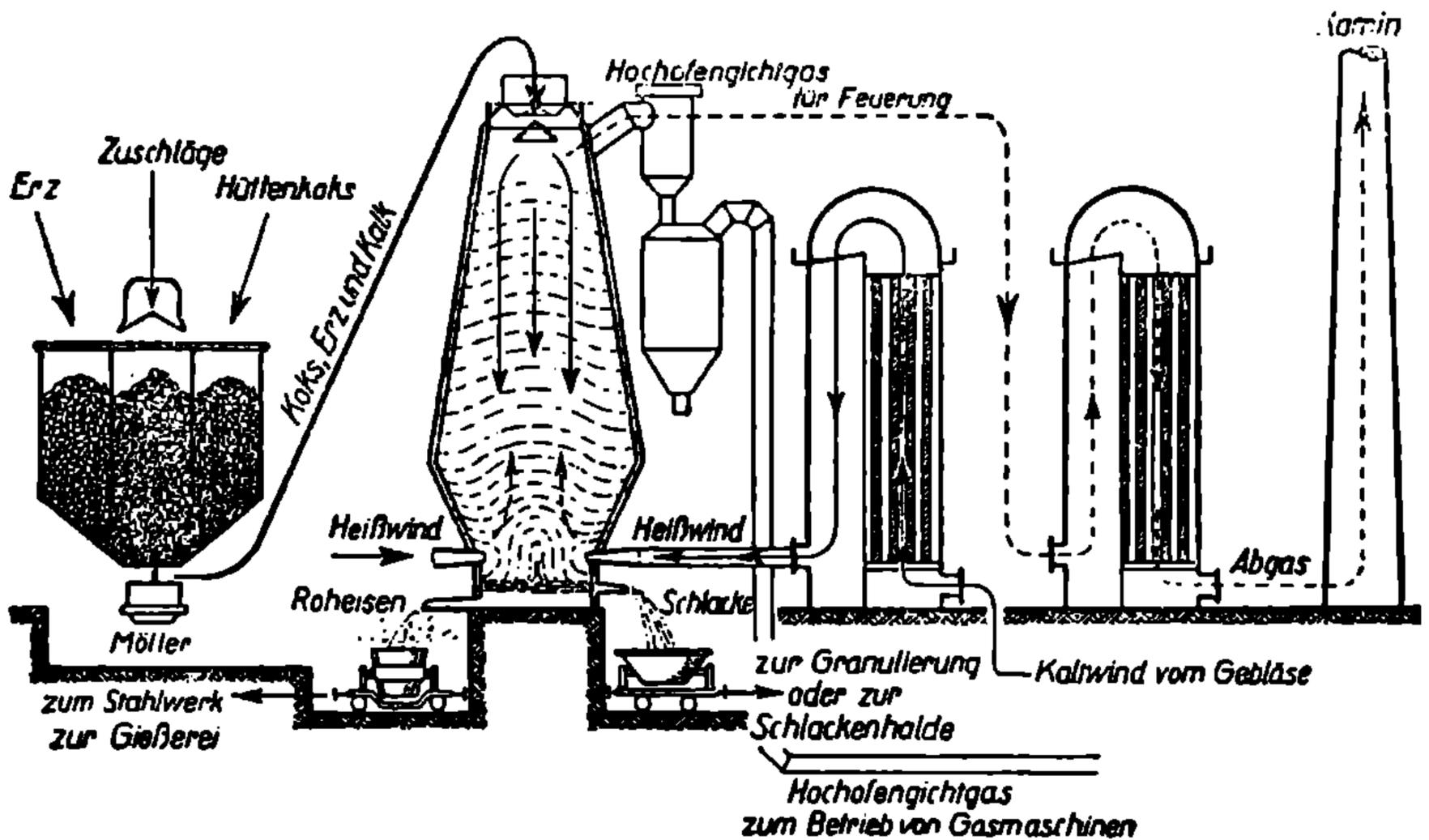


Schematischer Schnitt durch einen Hochofen

mehr. Hier herrscht nicht mehr die Glut der Schmelzzone, und es genügt die Kühlung der Steine durch die Außenluft, durch Wetter und Wind.

Wir steigen an der Rast empor und stehen bald am weitesten Teile des Hochofens, dem Kohlensack. Da blicken wir unter uns in einen glutflüssigen Bach, der aus dem Hochofen rinnt (Bild 13). Unter Zischen und Dampfen mischt sich der feurige Schlackenfluß mit einem stürmisch

dahinfließenden Wasser, das die flüssige Schlacke mit sich fortreibt und zu feinen Schlackensanden aufarbeitet. „Granum“ heißt im Lateinischen das Korn und „granula“ das Körnchen, und so nennt der Hochöfner das Bachbett mit dem starken Gefälle, in dem die Schlacke in Körnchen zerschlagen oder granuliert wird, die Granulationsrinne. In einem Teich, dem Sandfänger, setzen sich die Körnchen zu Boden. Eben sehen wir, wie Greifer die Schlackensande



Stofffluß im Hochofen

aus einem zweiten Becken heben und sie ihrer Weiterverarbeitung zuführen.

Die Stufen, die uns weiter nach oben leiten, sind mit dicken Flugstaubschichten belegt. Ungewöhnlich starke Rohrleitungen ziehen unter und über uns dahin. Sie verbinden die Gebläse mit den Winderhitzern, die als Stahlblechzylinder neben den Hochöfen aufragen und zu dem charakteristischen Bild jedes Hüttenwerks gehören, und die Winderhitzer mit dem Hochofen. Von der Gicht ziehen sie herab in die großen Staubfänge, in denen das Gichtgas von

Flugstaub gereinigt wird. Ein Teil des Gichtgases dient zum Vorwärmen der Winderhitzer, in deren Verbrennungsschacht das Gas abbrennt.

Wie in den Wärmespeichern der Koksöfen in der Kokerei, so strömen die heißen Abgase auch hier durch ein Gitterwerk feuerfester Steine und erhitzen dieses auf Rotglut. Nun treibt man durch Umschalten der Ventile den Gebläsewind durch das Gitterwerk der glühenden Steine, während andere inzwischen ausgekühlte Winderhitzer mit Gichtgas befeuert werden. Der Wind nimmt die Hitze beim Durchströmen des Gitterwerks auf und gelangt mit einer Temperatur von 800° C in den Hochofen. Dort spart man den Koks, der zum Erhitzen des Windes erforderlich wäre, und die Temperatur des Ofens steigt beträchtlich. Bei anders gebauten moderneren Winderhitzern strömt der Gebläsewind durch zahlreiche Stahlrohre, die von außen direkt mit Gichtgas beheizt werden. Diese Art Winderhitzer, die Röhrenaustauscher, arbeiten kontinuierlich und brauchen nicht vorgewärmt zu werden, so daß man mit einer geringeren Zahl auskommt.

Zunächst verblüffen die großen Ausmaße der Winderhitzer. Sie haben die gleiche Höhe wie die Hochöfen (Bild 14) und einen Durchmesser von sieben Metern. Auch die riesigen Röhrensysteme für den Gebläsewind und die Gichtgase scheinen in keinem rechten Verhältnis zum Hochofen zu stehen. Durch eine kleine Berechnung werden wir aber von unserem Begleiter eines Besseren belehrt. Zur Gewinnung von einer Tonne Roheisen werden im Hochofen 4000 Kubikmeter Luft verbraucht. Moderne Hochöfen mit einer Tagesleistung von 1500 Tonnen Roheisen haben also einen täglichen Bedarf von 1500 mal 4000 oder sechs Millionen Kubikmetern Luft; das sind 7434 Tonnen Luft. Damit übersteigt der Luftverbrauch auch gewichtsmäßig den Verbrauch an festen Rohstoffen, der bei gleicher Arbeitsleistung nur 6000 Tonnen beträgt. Solche Zahlen machen die Ausmaße der Rohrleitungen verständlich.

Inzwischen haben wir das oberste Drittel des Schachtes erreicht. Die Steine des Mauerwerks werden von stählernen Reifen zusammengehalten, damit sie dem Druck der Erzsäule nicht nachgeben können. Bei weitem wäre das Mauerwerk nicht in der Lage, außer der Erzsäule auch noch die Last der zahlreichen Hilfseinrichtungen, der Gichtbühne, des Schrägaufzuges und der Windleitungen, zu tragen. Das Gewicht dieser Einrichtungen lastet allein auf dem Stahlgerüst, das den Hochofen umgibt, und an dem wir Stufe um Stufe emporsteigen.

Schließlich betreten wir die Gichtbühne und haben von hier oben einen schönen Ausblick auf die weit ausgedehnten Werksanlagen, die sich jetzt immer klarer aus dem Morgendunst herauschälen. Überall ist Leben und Bewegung. In langer Reihe befördert ein Schrägaufzug die Kippkübel in die Höhe.

Platz da für die Kumpels! Schon kommen sie heran. Auf ihren Gesichtern mischen sich die Schweißtropfen unermüdlichen Schaffens mit dem Flugstaub des Hochofens. Sie stoßen die Kippkübel vor sich her, die mit ihren Rollen auf der Schienenführung entlanglaufen und dabei bald herüber-, bald hinüberbaumeln. Die Arbeit der Kumpels auf der Gichtbühne ist wohl mit die schwerste im ganzen Hüttenwerk. Denn ewig hungrig sind die Hochöfen während einer Brennperiode von etwa sechs bis acht Jahren. Bald wird der erste Hochofen mit Erz versorgt, dann wieder erhält der zweite Zuschlagstoffe, der dritte Zuschrott und der vierte Koks, und so geht es unablässig fort, Tag und Nacht, ohne Unterbrechung! Der Hochofen kennt keinen Schlaf und keine Ruhepause; er sieht eine Schicht gehen und die andere kommen und läßt sich ununterbrochen bedienen.

In kürzester Frist sind die Kübel rings um den Fülltrichter des Hochofens verteilt und werden durch Kippen entleert (Bild 15). Die leeren Kübel werden zum Aufzug zurückgebracht, neue rollen heran und entledigen sich ihrer

schweren Last. Alles vollzieht sich in Minutenschnelle, und so überraschend, wie die Kumpels auftauchten, sind sie wieder von der Gichtbühne verschwunden.

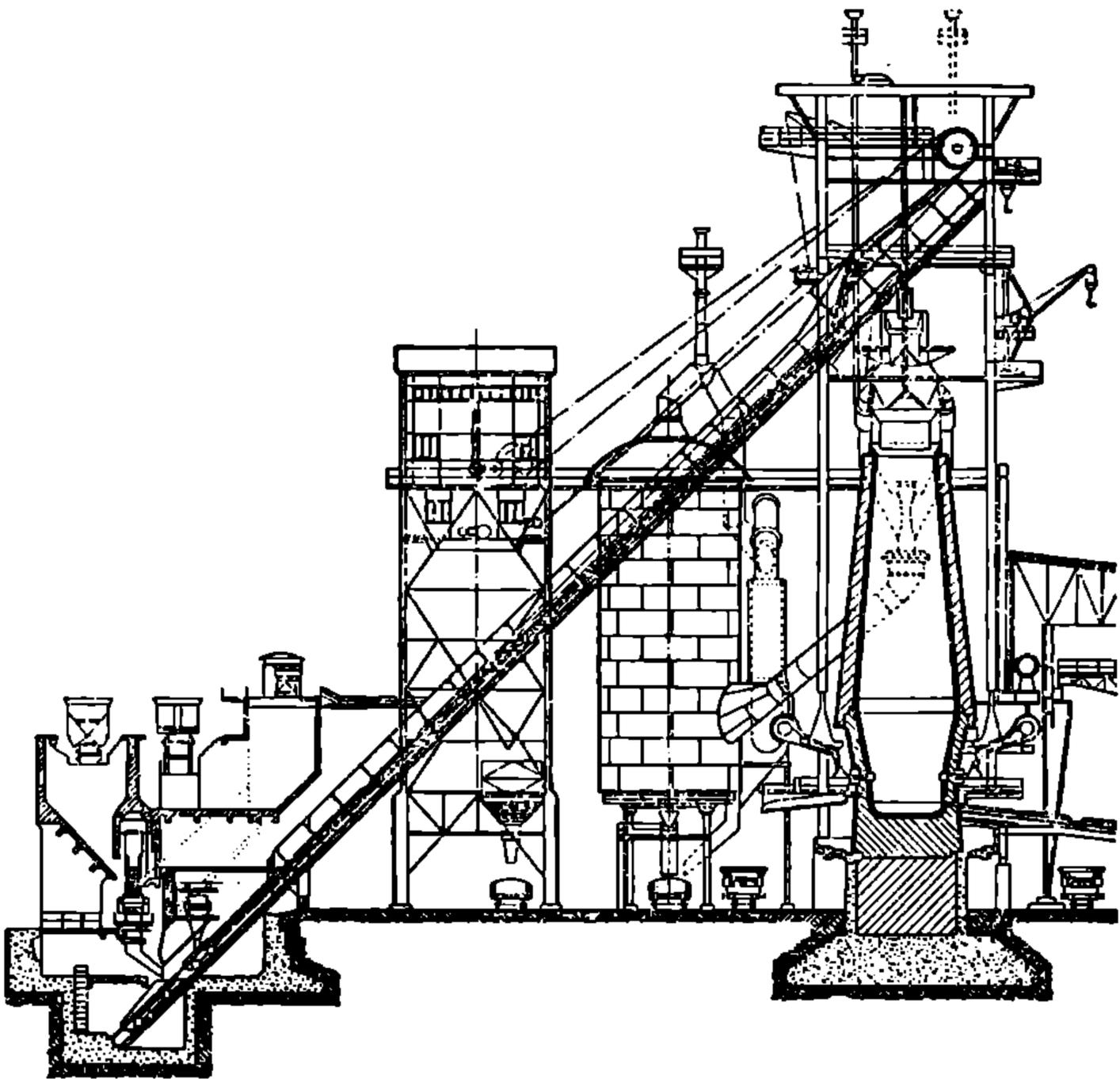
Auch für uns wird es höchste Zeit, den Platz zu räumen. Schon senkt sich die Gichtglocke und gibt den Weg in den Schacht frei. Polternd sinkt das Erz nach unten. Dumpf grollend schlägt im gleichen Augenblick eine Glutwolke hoch, und die Gichtbühne, auf der vor kurzem noch reges Leben herrschte, ist in ein Flammenmeer getaucht. Denn die Abgase des Hochofenprozesses, die Gichtgase, entzünden sich an der Luft und brennen ab. Jetzt wissen wir, warum sie beim Hochofenprozeß sorgsam abgeleitet und gereinigt werden. Es sind brennbare Gase, Heizgase, die für allerlei Arbeit nutzbar gemacht werden können. Sie dienen zum Vorwärmen des Windes in den Winderhitzern, sie treiben die Gebläsemaschinen des Hochofens an und liefern den Strom für den Hochofenbetrieb. Man heizt damit die Kokskammern in der Kokerei und die Röstöfen, die Öfen in der Schlackenzementfabrik, die Mischer in den Stahlwerken und die Wärmeöfen in den Schmiede- und Walzwerken. Und aus dem Überschuß gewinnt man noch die elektrische Energie zum Antrieb der großen Zahl von Maschinen und Werkseinrichtungen und zu deren Beleuchtung.

Die Gichtglocke hebt sich wieder, doch im Trichter züngeln noch immer die bläulichen Flammen des Kohlenmonoxyds, des gefährlichen, giftigen Gases, das noch ausströmt. Arbeiter decken die undichten Stellen mit eisenhaltigem Staub und Feinerz ab, die in Haufen neben dem Fülltrichter liegen (Bild 15), und dann kann die Gichtbühne wieder begangen werden. Aber hinter uns wird bereits der nächste Hochofen mit neuem Material beschickt, und es wiederholt sich dort das Flammenspiel.

Unsere Kopfbedeckung ist inzwischen aschgrau geworden, und wenn wir noch lange hier verweilen, gleichen wir uns ganz allmählich dem äußeren Bilde der Kumpels an, die den ganzen Tag hier oben schaffen und werken. Wir fahren

aber nun im Fahrstuhl von der Gichtbühne hinab zum Hochöfner, der den Ofengang überwacht.

Was wir bei der Begichtung dieses Hochofens älterer Bauart in allen Einzelheiten beobachten konnten, entgeht uns beim Besuche einer modernen Hochofenanlage. Inzwischen hat der „Alte Max“ längst recht stattliche Brüder bekommen, Hochofen neuester Konstruktion, die im Eisenhüttenkombinat „J. W. Stalin“ errichtet worden sind (Bild 1 und 2). Da fällt die schwere Arbeit der Kumpels auf der Gichtbühne vollkommen weg. An der Begichtungskatze hängen Trichterkübel, die vom Schrägaufzug auf die Gicht befördert und auf die Gichtöffnung gesetzt werden. Dann senkt sich ein Deckel auf den Kübel und schließt ihn ab. Während sich der Gichtverschluß und der Boden des



Schnitt durch einen modernen Hochofen mit Kippkübelbetrieb und doppelter Gichtglocke

Bild 34
Kokillenguß im
Stahlwerk Riesa VEB.

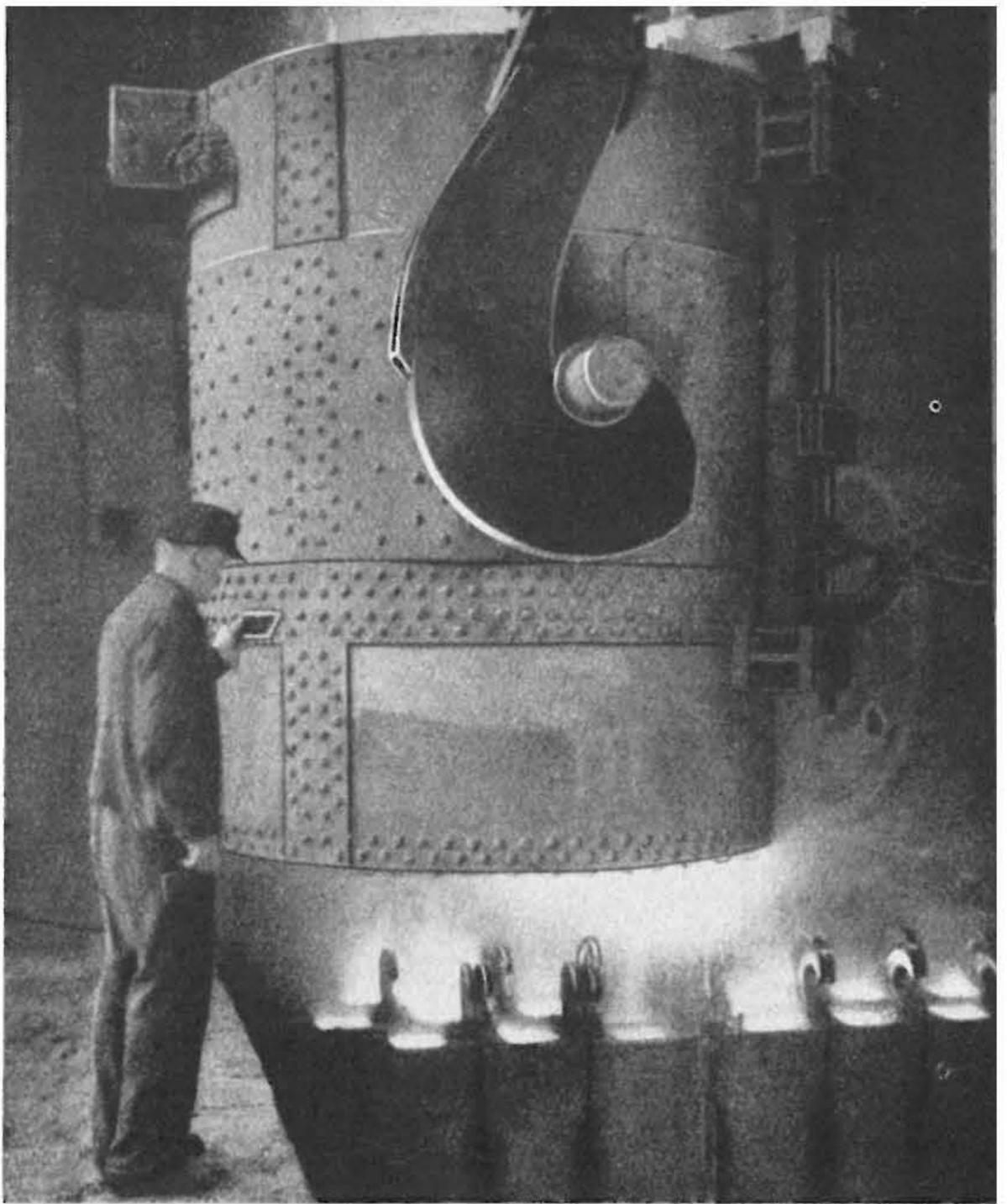
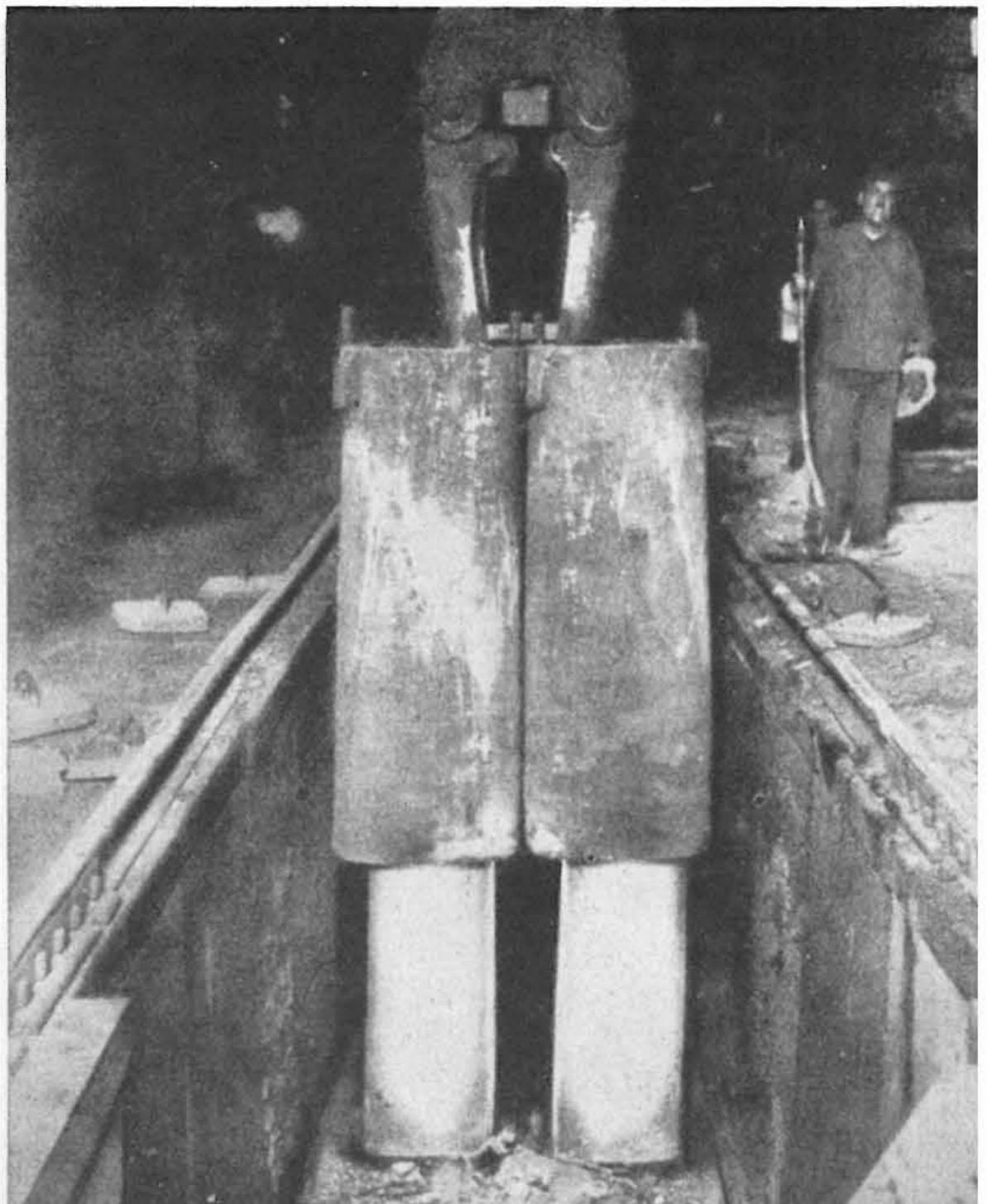


Bild 35
Abstreifen der Kokillen
von den glühenden
Stahlblöcken.



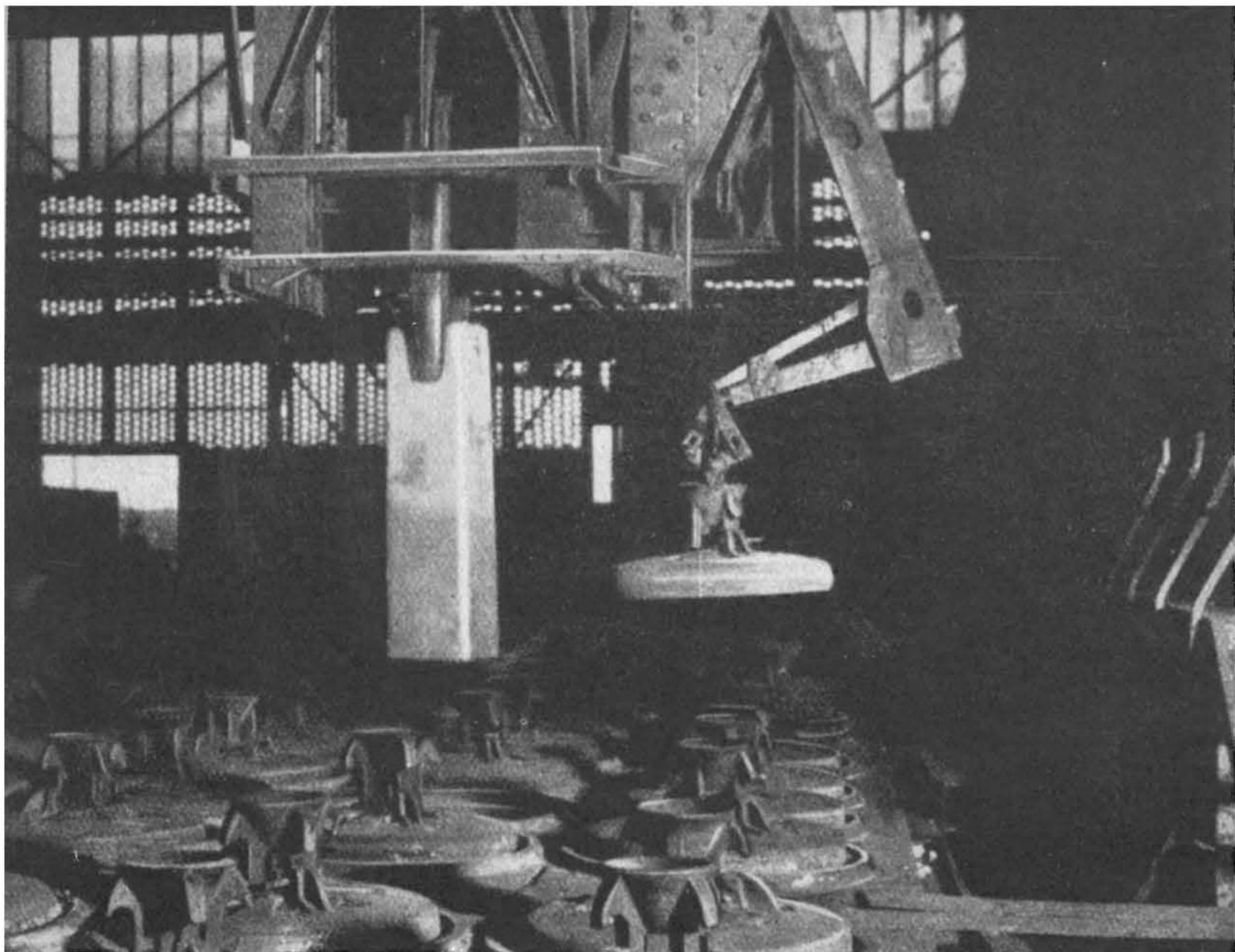


Bild 36 Tiefenofenanlage. Einsetzen eines glühenden Stahlblocks in den geöffneten Tiefofen

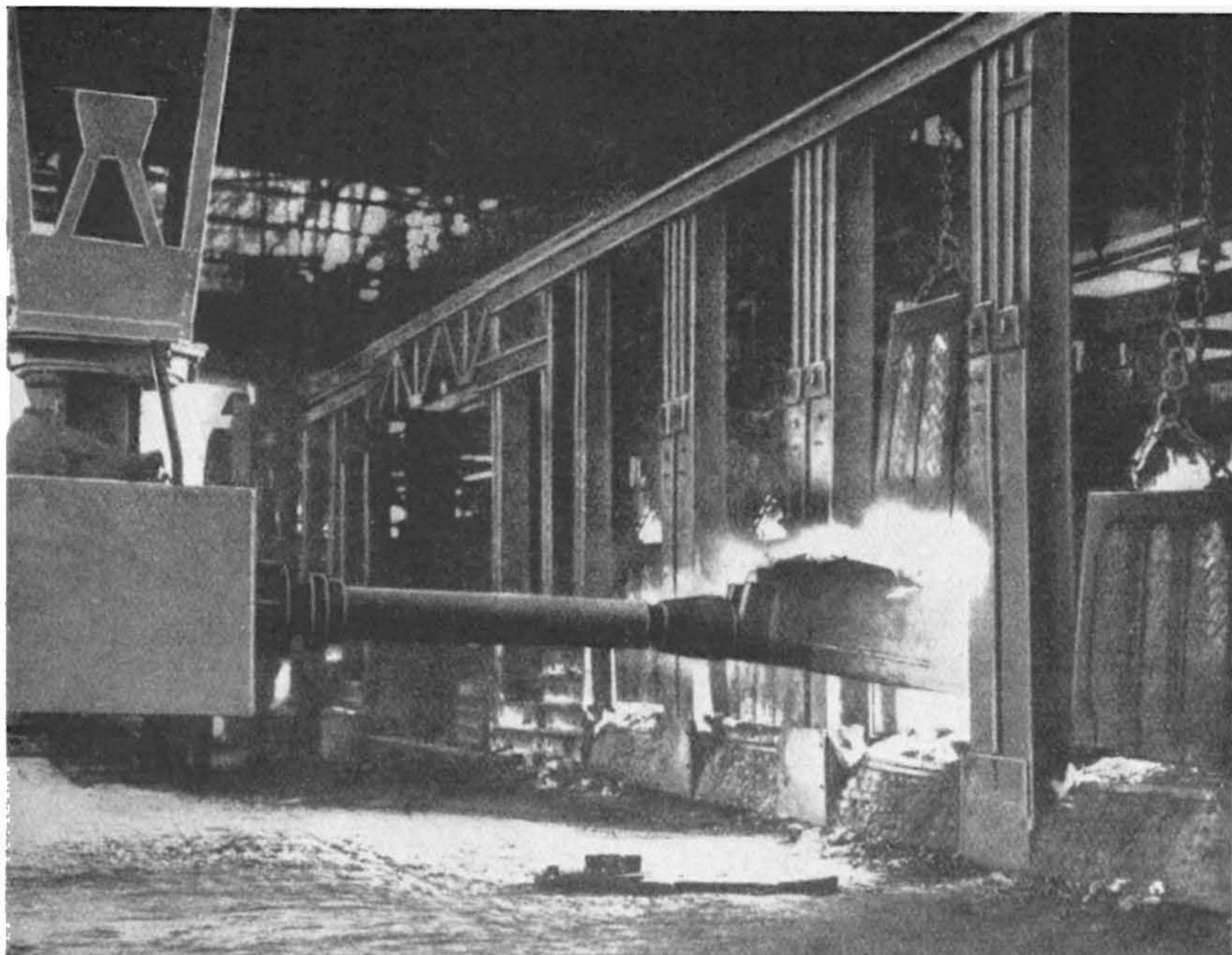
Bild 37 Beschickungshalle eines Siemens-Martin-Stahlwerkes.



Bild 38
Siemens-Martin-Ofen
wird mit flüssigem
Roheisen beschickt.



Bild 39 Beschicken des Siemens-Martin-Ofens mit Schrott.



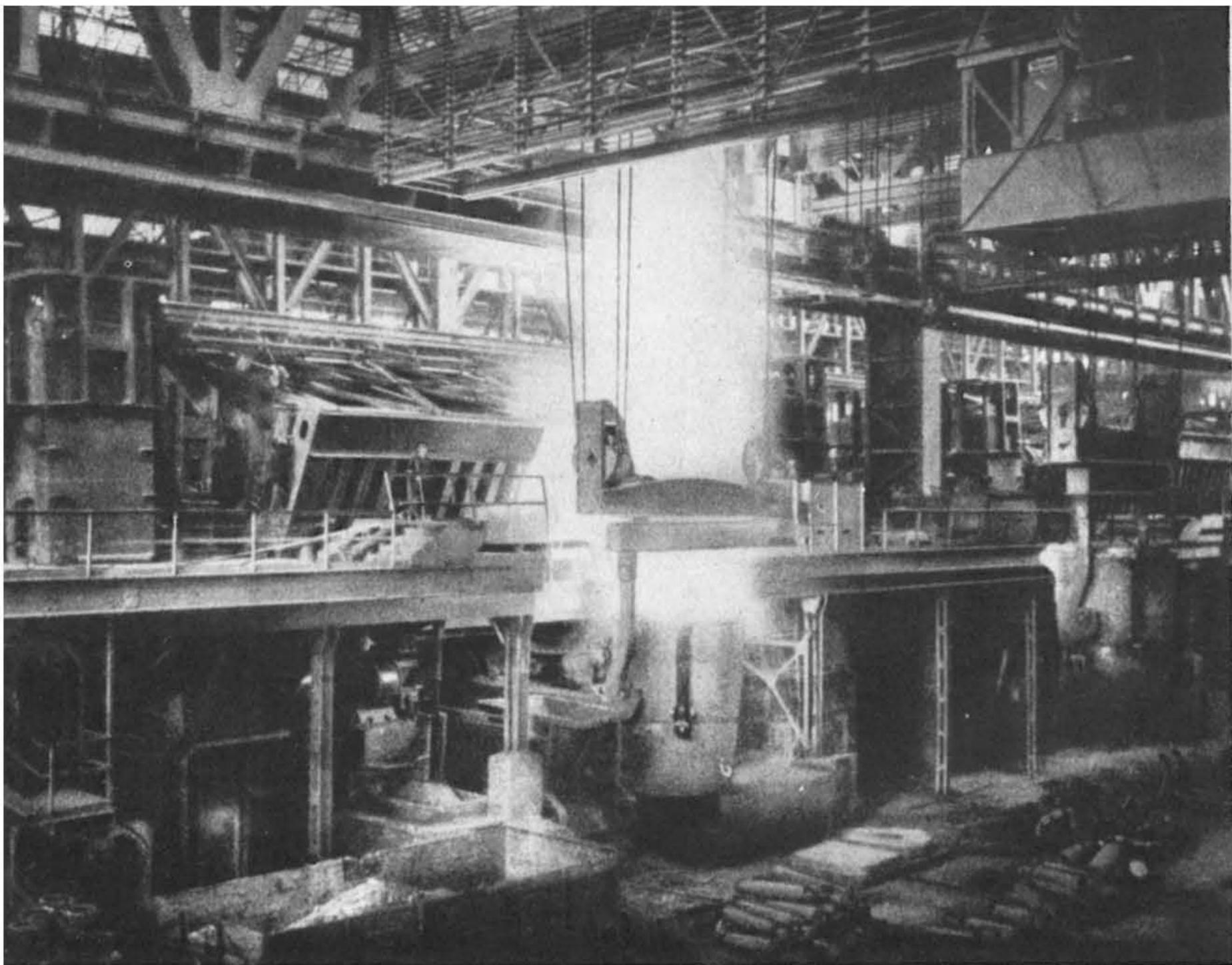


Bild 40 Abstich des Siemens-Martin-Ofens.

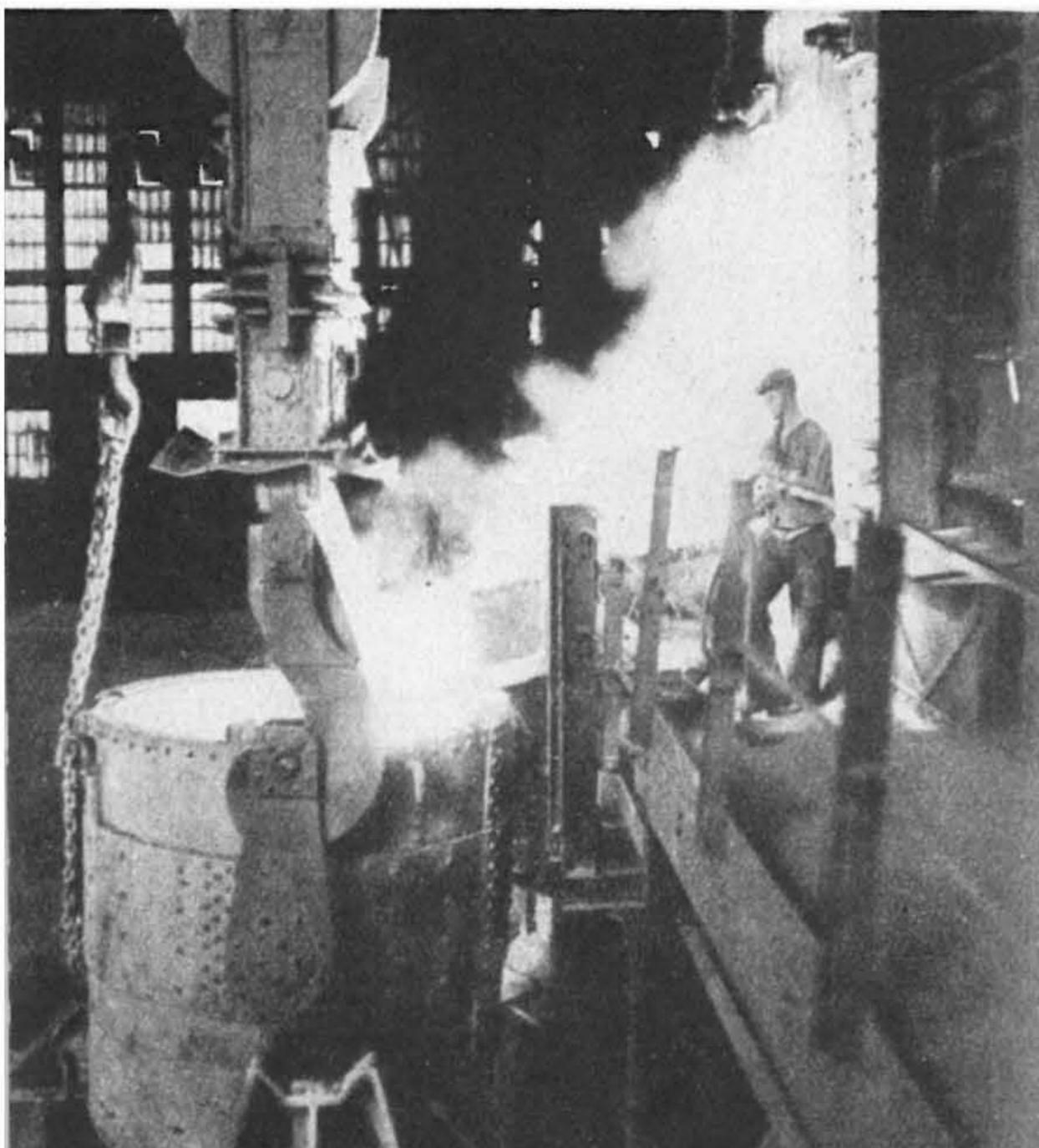


Bild 41
Der Rohstahl fließt
in den Gießkübel.

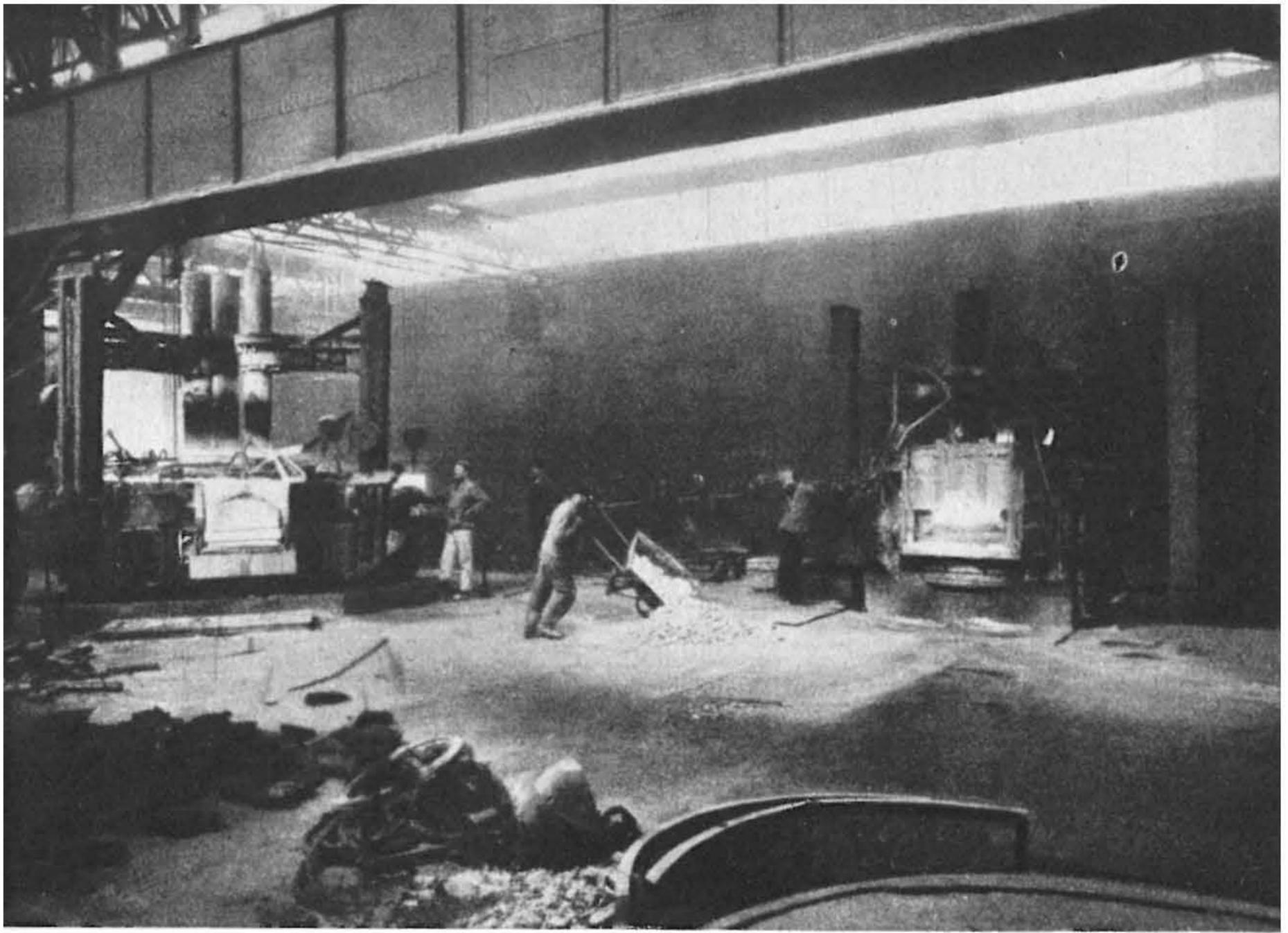
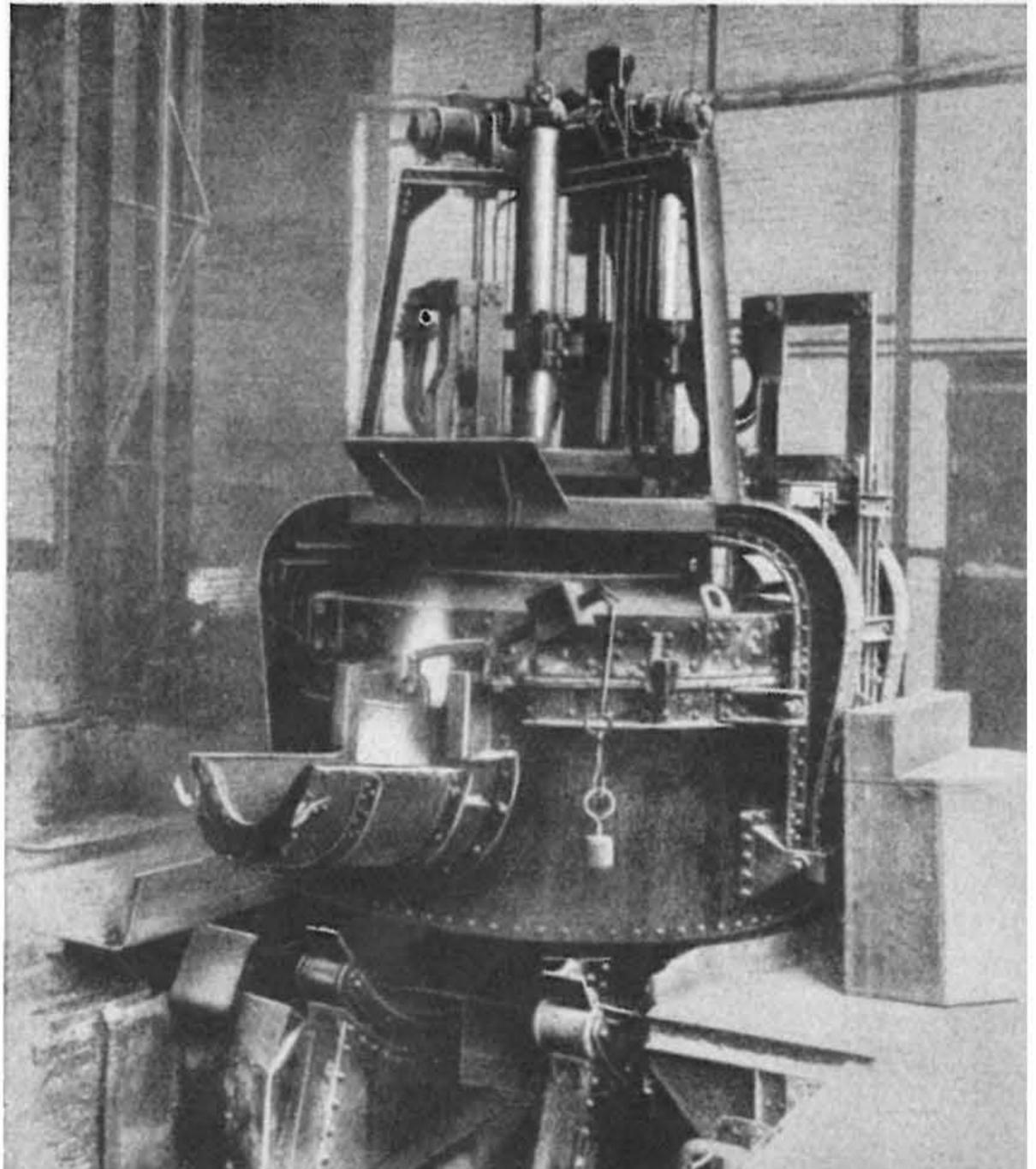


Bild 42 Im Elektrostahlwerk.

Bild 43
Kleiner Elektrostahlhofen
zum Erschmelzen
hochlegierter Stähle.



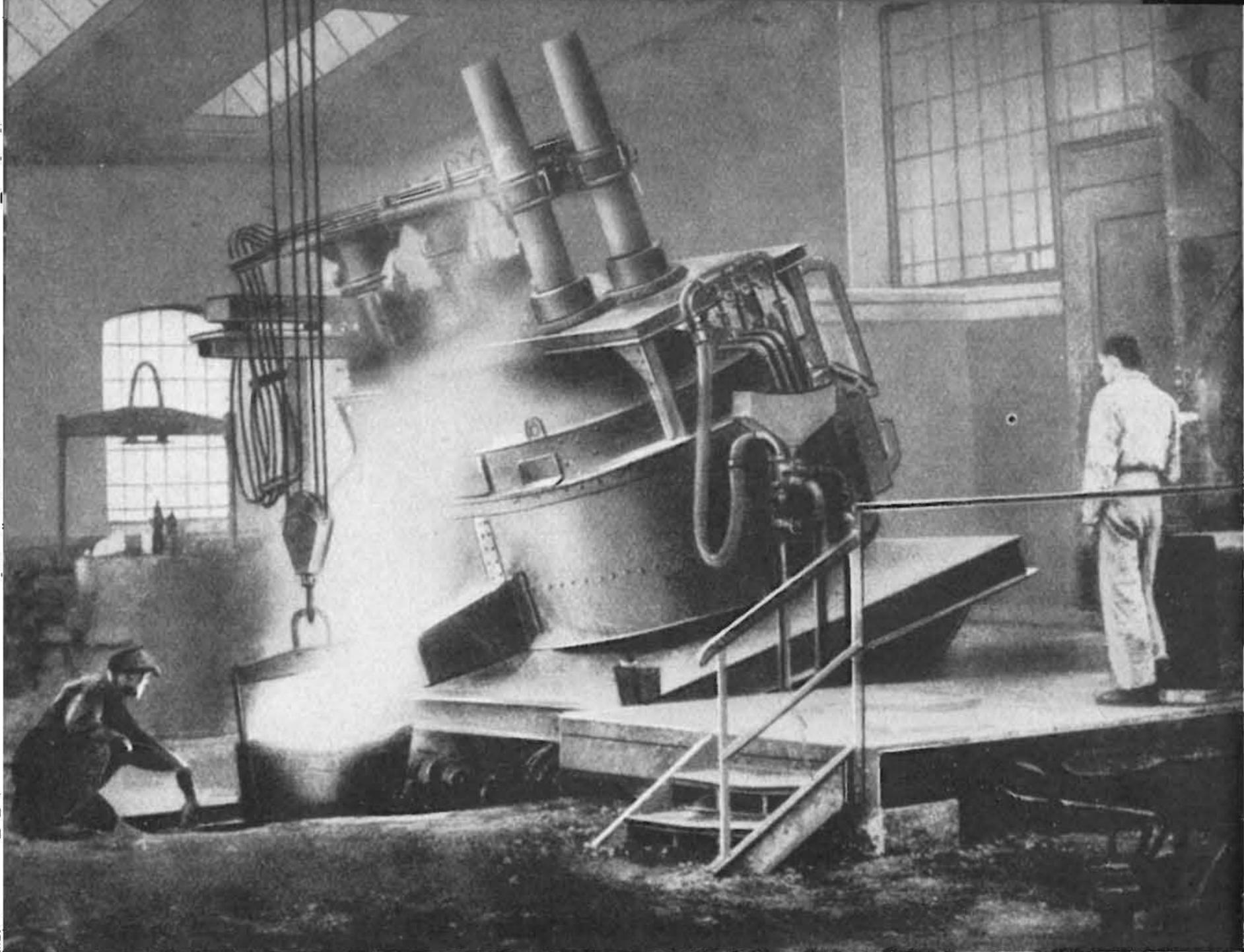


Bild 44 Abguß des veredelten Stahls aus dem Elektroofen.

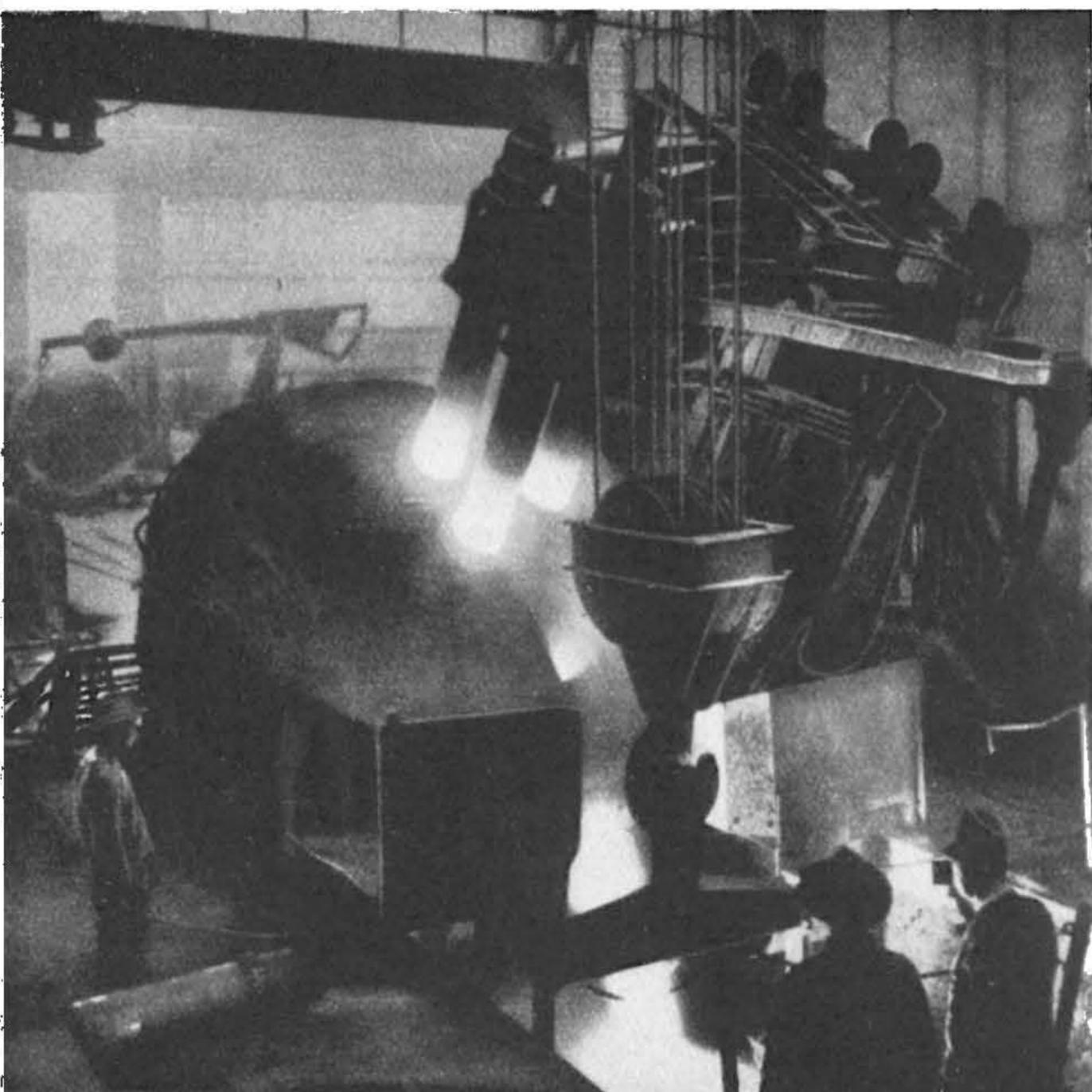


Bild 45
Abstich eines großen
Elektrostahlofens.

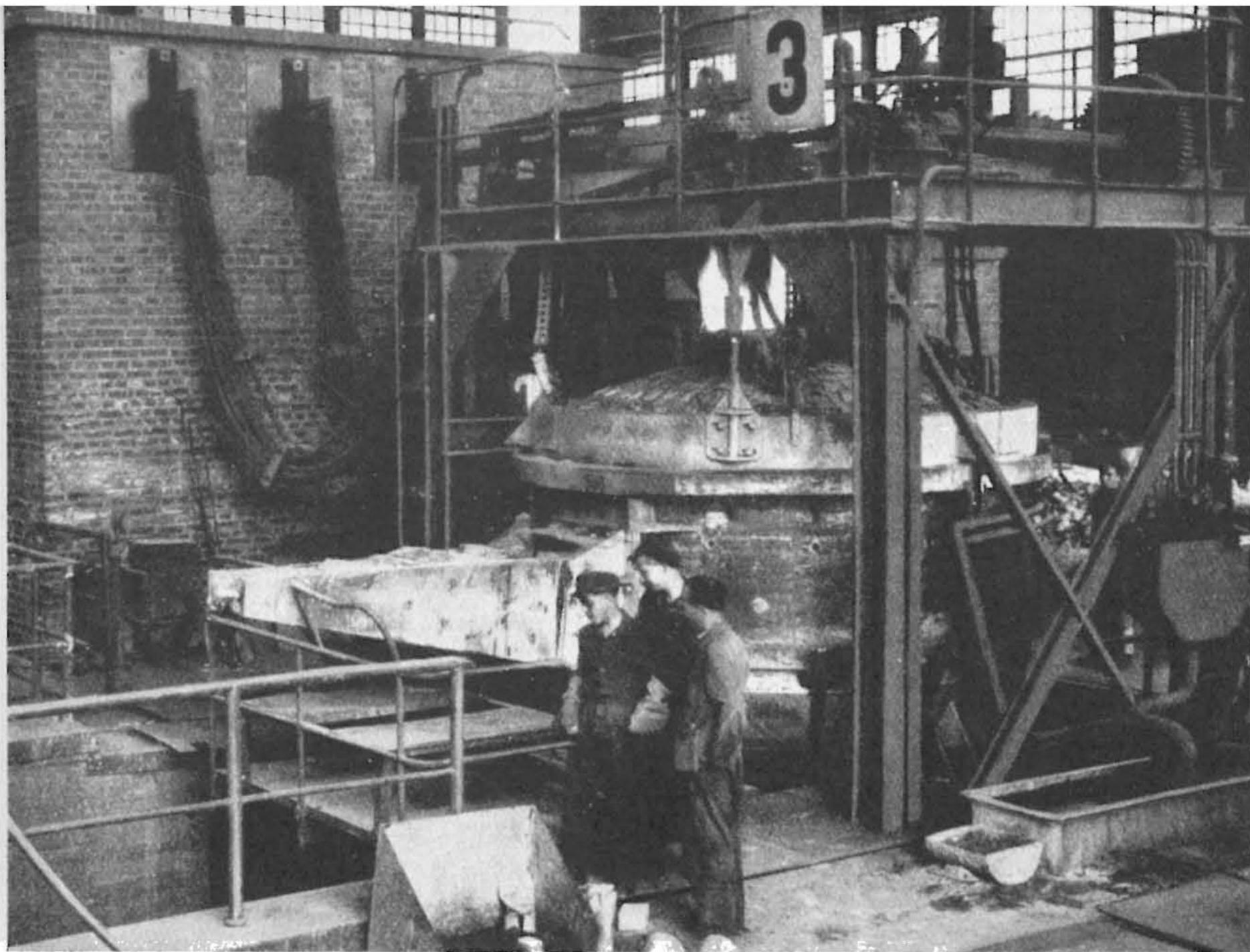
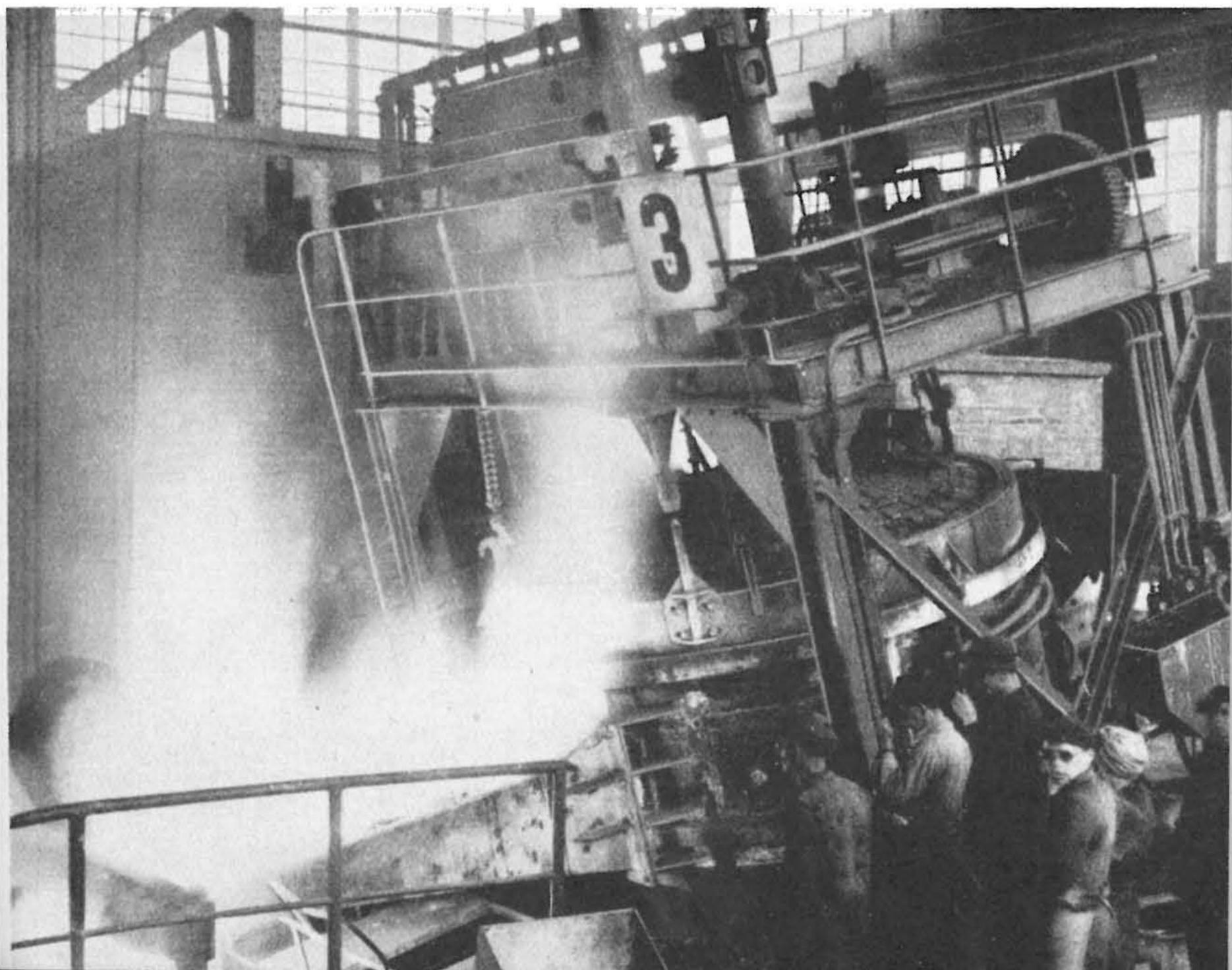


Bild 46 Große Ofeneinheit im Elektrostahlwerk Döhlen VEB beim Schmelzen.

Bild 47 Derselbe Ofen in Kippstellung.



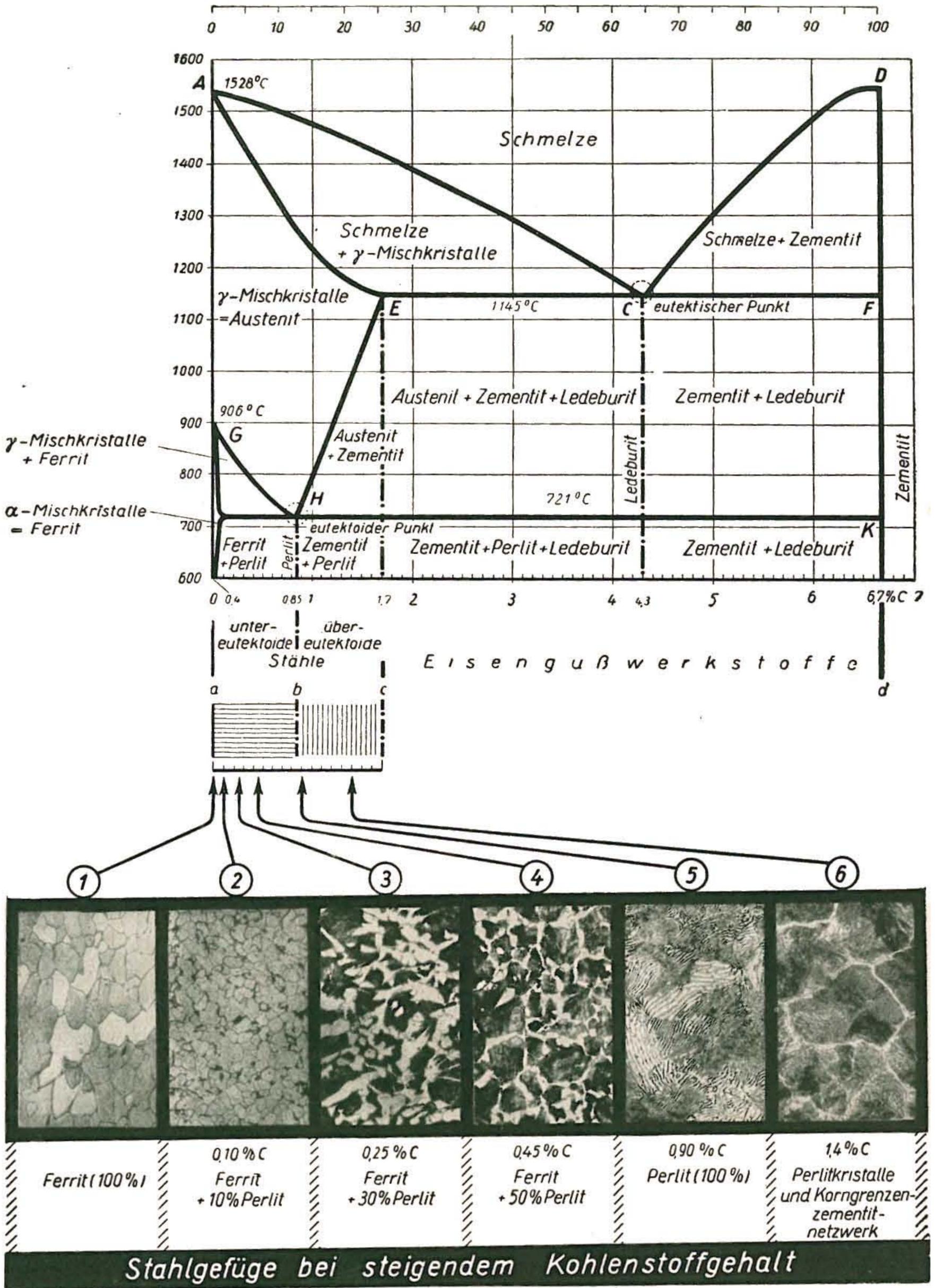


Bild 48 Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm mit Gefügebildern.

Kübels öffnen und die Beschickung in den Ofen fällt, hält der aufgesetzte Deckel dicht, so daß kein Gichtgas entweichen kann. Bei der Begichtung mit Kippkübeln haben die Öfen einen doppelten Verschuß erhalten. Das Erz, die Zuschläge und der Koks werden von einer oberen Glocke aufgenommen. Dann senkt sich diese und läßt die Füllung in die untere Glocke gleiten, aus der sie erst in den Ofen gelangt, nachdem sich die obere Glocke wieder geschlossen hat. Auch sonst weisen die modernen Hochöfen noch viele technische Verbesserungen und Neuerungen auf, und ihre Höhe ist etwa auf 30 Meter angewachsen. Aber an den Grundsätzen des Aufbaus hat sich kaum etwas geändert.

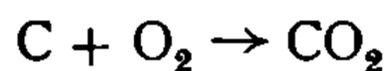
Was im Hochofen vor sich geht

Mannigfaltig sind die chemischen Prozesse, die sich während der Verhüttung im Hochofen abspielen. Als Erze werden Eisen-Sauerstoff-Verbindungen verhüttet. Sie sind schwer in ihre Bestandteile zu zerlegen, da beide Elemente eine große Bindekraft zueinander haben; denn Eisen ist ein unedles Metall. Wir müssen daher einen Stoff zufügen, dessen Bindekraft zum Sauerstoff in der Hitze des Hochofens noch größer als diejenige des Eisens ist. Das ist der Kohlenstoff. In Form des Kohlenmonoxyds, das beim Verbrennen des Kokes entsteht, entreißt er der Eisen-Sauerstoff-Verbindung den Sauerstoff, so daß das Eisen frei wird. Diese Rückführung der Sauerstoffverbindung auf das Metall bezeichnet man chemisch als Reduktion und den reduzierenden Stoff als Reduktionsmittel. Der Hochofenprozeß ist eine Reduktion des oxydischen Erzes zum reinen Metall.

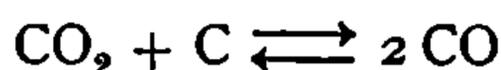
Nur selten gelangen reine Erze zur Verhüttung; sie schmelzen bei relativ niedrigen Temperaturen. Meist sind sie mit Gestein stark verunreinigt, das die Eisenablagerungen umschließt und als „Gangart“ bezeichnet wird. Bei

der Reduktion des Eisenerzes und dem Aufschmelzen des Eisens würden die Gesteine zusammen mit der Asche des Heizmaterials als feste Stoffe im Hochofen zurückbleiben, denn ihr Schmelzpunkt liegt wesentlich höher als derjenige des Erzes. Sie würden den Ofen zusetzen und den Verhüttungsprozeß zum Stillstand bringen. Darum müssen auch die Verunreinigungen und die Gangart aufgeschmolzen und flüssig aus dem Hochofen abgezogen werden. Meist enthalten die Erze als Gangart größere Mengen Tonerde und Kieselsäure, verschiedentlich auch Kalk. Die Schmelzpunkte der Einzelbestandteile liegen sehr hoch. Tonerde schmilzt bei 2050° C, Kieselsäure bei 1710° C und Kalkstein bei 2570° C. In der Praxis hat sich gezeigt, daß der Schmelzpunkt der Tonerde durch Kalkzusatz auf 1400° C und der der Kieselsäure auf 1440° C erniedrigt wird; ein Gemisch aller drei Bestandteile wird bereits bei 1300° C flüssig. Man setzt daher sauren Erzen, die Tonerde und Kieselsäure enthalten, Kalk zu und gibt zu basischen, kalkreichen Erzen saure Zuschläge, um eine leicht flüssige Schlacke zu erhalten.

Wird ein Hochofen neu in Betrieb genommen, so füllt man das Gestell mit Holz und Koks und beschickt den Ofen abwechselnd mit Koks und Möller, einem Gemisch der Erze mit den zugehörigen Zuschlagstoffen. Dann wird das Holz entzündet. Unter der Wirkung des heißen Gebläsewindes beginnt der Koks bald zu brennen. Er vereinigt sich mit dem Sauerstoff des Windes zu Kohlendioxyd, während die entstehende Wärme die benachbarten Koksschichten erhitzt:



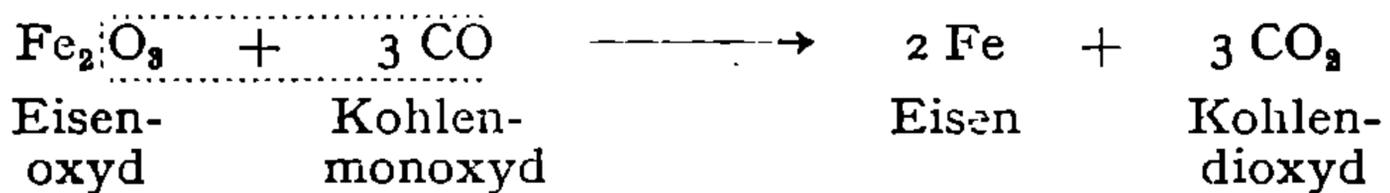
Von den darüberliegenden erhitzten Koksschichten wird das gebildete Kohlendioxyd CO_2 reduziert, das heißt, sein Sauerstoffgehalt wird verringert. Es bildet sich Kohlenmonoxyd CO :



Dem Kohlenmonoxyd fällt nun die Aufgabe zu, die Hauptmenge des Erzes in Metall zu verwandeln, es zu reduzieren.

Die heißen Gase strömen im Ofen nach oben und wärmen im obersten Teile des Schachtes, der Vorwärmzone, die Beschickung auf 200° bis 300° C vor. Hierbei werden Koks und Erz vorgetrocknet. Das in ihnen enthaltene Wasser wird als Wasserdampf ausgetrieben und entweicht mit den Gichtgasen. Dann wird Brauneisenstein völlig entwässert und in wasserfreies Eisenoxyd verwandelt. Der gleiche Entwässerungsprozeß hat sich zum Teil im Laufe geologischer Zeiträume auch in den natürlichen Brauneisenerzlagern vollzogen. Etwa noch vorhandener Spateisenstein wird gebrannt; es bildet sich Eisenoxyd, während das Kohlendioxyd entweicht.

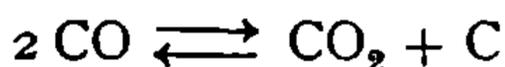
Je tiefer Koks und Möller rutschen, desto höher wird die Temperatur. In der Reduktionszone erhöht sie sich auf 700 bis 900° C. Hier nimmt das aufsteigende Kohlenmonoxyd den Sauerstoff des Eisenoxyds auf, und das Metall bleibt zurück:



Die punktierte Linie in der Formel deutet an, wie das Kohlenmonoxyd die Spaltung des Metalloxyds durchführt und den Sauerstoff an sich reißt. Es bildet sich Kohlendioxyd. Dieses wird durch die darüberlagernden Koks-schichten wieder, wie bereits oben beschrieben, in Kohlenmonoxyd verwandelt und kann von neuem Eisenoxyd zu Eisen reduzieren. So bilden sich im Verlauf der gesamten Reduktionszone des Hochofens wechselweise Kohlendioxyd und Kohlenmonoxyd, bis in den höheren Teilen des Schachtes die Temperatur nicht mehr zur Reduktion des Eisenoxyds ausreicht. Zusammen mit den übrigen Gasen entweicht das Kohlenmonoxyd als brennbares Gas aus den

obersten Teilen des Hochofens, der Gicht. Man bezeichnet das Gasgemisch als Gichtgas.

Die Bildungsgleichung von Kohlenmonoxyd aus Kohlendioxyd hat in der Mitte einen Doppelpfeil. Es ist eine umkehrbare Reaktion, die in beiden Richtungen verlaufen kann. Ein Teil des gebildeten Kohlenmonoxyds zerfällt daher rückläufig in Kohlendioxyd und feinstverteilten Kohlenstoff:



Dieser übt, im Gegensatz zu dem grobstückigen Koks, auch eine direkte Reduktionswirkung auf das Eisenoxyd aus:



Ein anderer Teil des feinstverteilten Kohlenstoffes löst sich in der Kohlun g s z o n e im schwammförmig ausgeschiedenen Eisen auf und erniedrigt dessen Schmelzpunkt von 1528°C auf etwa 1100°C . So wird das gekohlte Eisen in der Schmelz z o n e des Hochofens flüssig und tropft durch den glühenden Koks in das Gestell.

Auch das Gemisch aus Gangart und Zuschlägen wird schließlich bis zum Schmelzpunkt erhitzt und verflüssigt sich. Der spezifisch leichtere Schmelzfluß der Gesteine sammelt sich über der schwereren Metallschmelze und verhindert, daß das Eisen durch den Sauerstoff des heißen Gebläsewindes wieder rückläufig in Eisenoxyd verwandelt wird. So sammelt sich am Ende des Hochofenprozesses das flüssige Metall unter dem Schlackenfluß und wird in Abständen von 3 bis 4 Stunden abgestochen, während die Schlacke meist fortlaufend aus der höher gelegenen Schlackenform abfließt (Bild 13).

Dem Volumen nach gewinnt man zweieinhalbmals soviel Schlacke wie Roheisen. Früher war sie ein lästiges Abfall-

produkt der Erze. Nur zum geringsten Teil fand sie zum Bergeversatz, das heißt zum Ausfüllen der durch den Abbau entstandenen Hohlräume, Verwendung. Der Hauptteil mußte auf Halde geschüttet werden. So erreichte die Schlackenhalde eines einzigen Hüttenwerks zum Beispiel bald die Größe der Insel Helgoland. Heute werden aus dem lästigen Abfallprodukt von einst wertvolle Handelswaren hergestellt. Beim langsamen Abkühlen der Schlacke entstehen sehr harte, aber spröde Massen, die als Packlage im Straßenbau, als Schotterlager im Eisenbahnbau und als Schlackensplitt verschiedener Körnung für Beton und Eisenbeton verwendet werden. Durch Abkühlen der flüssigen Schlacke in Eisenformen entstehen die Schlackenpflastersteine (Bild 16 und 17), die eine ganz vorzügliche Straßendecke abgeben.

Besonders vielseitige Verwendungsmöglichkeiten haben sich aber den Schlackensanden erschlossen, deren Bildung wir am Hochofen schon beobachtet haben. In Zementwerken, die heute allgemein den Hüttenwerken angeschlossen sind, werden sie zusammen mit 70% Zementklinkern zu staubfeinem, hochwertigem Eisenportlandzement vermahlen. Bei geringerem Klinkerzusatz entsteht der Hochofenzement, der sehr langsam abbindet. Mit Kalk als Bindemittel stellt man aus den Schlackensanden die Eisenhüttenmauersteine her, aus denen in Industriegebieten bereits ganze Städte gebaut worden sind. Oder man erhält Hüttenschwemmsteine mit vielfältiger Verwendungsmöglichkeit in der Leichtbauweise. Läßt man die Schlacke aber waagrecht in Wasser fließen, so breitet sie sich auf der Wasseroberfläche aus und wird durch den Wasserdampf, der sich bildet, zu porigen Massen aufgetrieben. Diese Schaumslagge und die Schlackenwolle, die beim Zerstäuben flüssiger Schlacke mit Dampfstrahlen entsteht, dienen im Baugewerbe zur Wärme- und Schallisolierung.

Der Hochofenabstich

Der Augenblick des Abstichs ist gekommen! Arbeiter ergreifen das Gestänge, das den Stichlochhammer trägt, und führen diesen an das Stichloch des Hochofens heran. Ratternd schlägt der mit Preßluft betriebene Hammer gegen den Verschlußpfropfen aus Ton, bis er den Schlägen weicht (Bild 18). Die Arbeiter nehmen lange eiserne Stangen zur Hand und legen den Stichkanal vollends frei (Bild 19). Nun quillt das flüssige Eisen als rotglühender Bach hervor. Ein seltsamer Zauber liegt über dem Bilde, das sich bietet. Düster ist die Halle; in heller Rotglut schießt auf ihrem Grunde das Eisen dahin. Und die Luft über dem Eisenfluß ist voller Sternchen verbrennender Eisenteile. Es ist ein Flimmern und Funkeln, ein Aufleuchten und Vergehen, ein Auseinanderspritzen, ein Miniaturfeuerwerk mit immer wechselnden Formen, bei dem die Flugbahnen der glühenden Einzelteilchen für einen Augenblick sichtbar bleiben.

In einer glühenden Kaskade stürzt der Eisenfluß in den Transportkübel, der ihn zum Stahlwerk bringen soll. Gebannt schauen wir in diesen orangefarbenen Fluß, aus dem kleine Leuchtraketen in das Dunkel der Halle schießen und dort zu einem Sternchenregen zerplatzen. Das also ist das Roheisen, das den Hochofen verläßt. Es hat einen relativ hohen Kohlenstoffgehalt. Daher ist es nach dem Erkalten spröde und erweicht beim Erhitzen nicht allmählich, sondern plötzlich. Man kann es weder schmieden noch schweißen. Es ist aber sehr flüssig und kann zu Gußwaren verarbeitet werden.

Enthält das Roheisen mehr Silizium als Mangan, so scheidet sich bei langsamer Abkühlung in Sandformen der gelöste Kohlenstoff in feinen Graphitkristallen ab, deren dunkle Farbe uns von den Bleistiftminen her bekannt ist. Die Bruchfläche solchen Roheisens ist nach dem Erkalten körnig und grau. Man nennt es graues Roheisen;

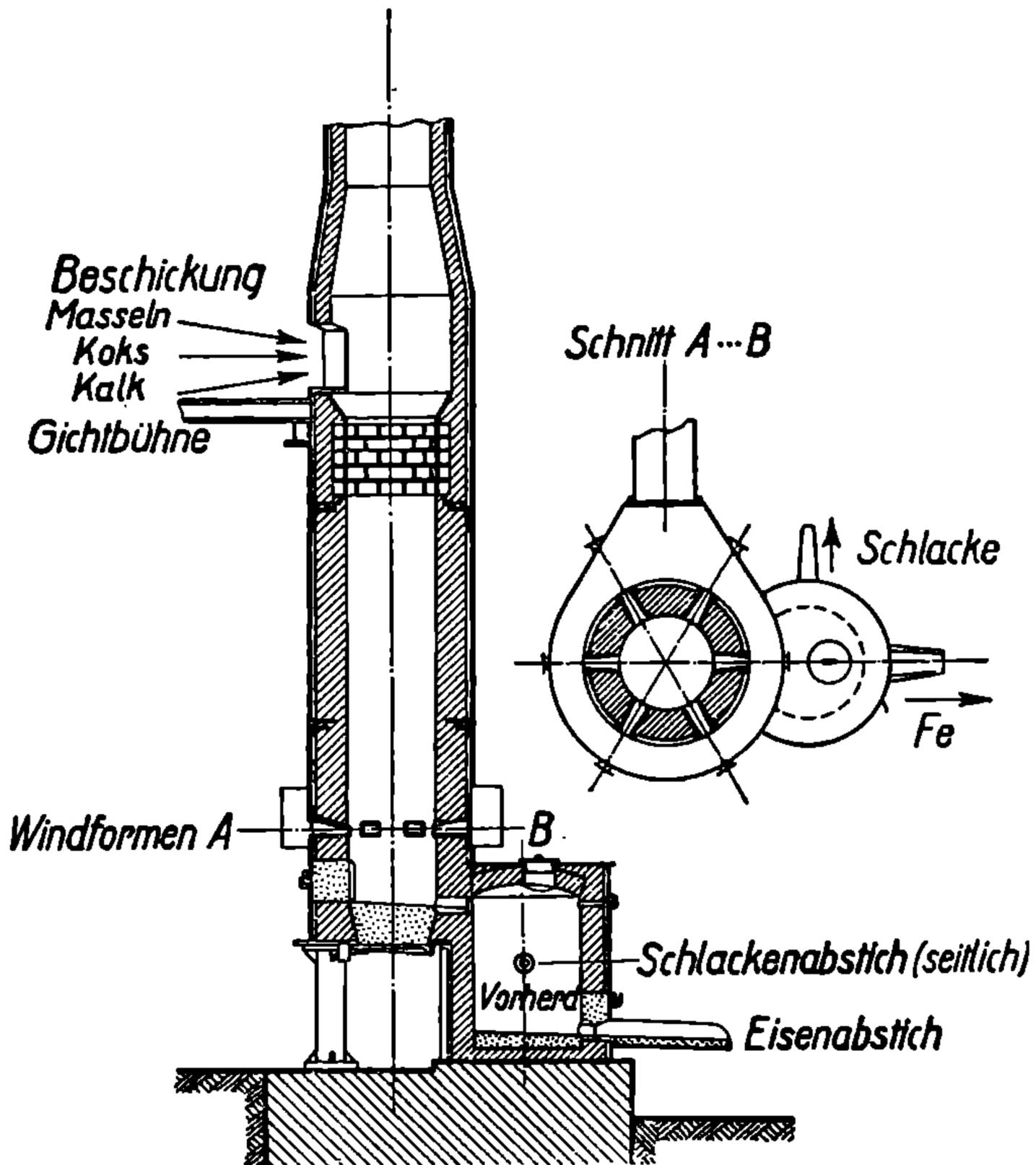
es ist weich und läßt sich gut bearbeiten. Überwiegt aber der Mangangehalt, so wirkt das Mangan der Graphitabscheidung entgegen. Der Kohlenstoff bleibt im Roheisen als Eisenkarbid Fe_3C gelöst; die Bruchfläche des erkalteten Eisens ist strahlig aufgebaut und sieht weiß aus. Das weiße Roheisen ist hart und spröde. Es läßt sich nur schwierig bearbeiten und wird zur Herstellung von Stahl verwandt. Etwa ein Sechstel der Roheisenproduktion wird als graues Roheisen an Eisengießereien geliefert. Fünf Sechstel hingegen verarbeitet man zu Stahl. Wenn die Gießereien und Stahlwerke mit dem Hüttenwerk unmittelbar verbunden sind, kann man ihnen das flüssige Roheisen in Transportkübeln zuführen. Sind sie aber von der Hütte getrennt, so läßt man das Roheisen in Formen erstarren und liefert es in festem Zustande an. Darum breiten sich neben den Hochöfen große Gießbetten mit einer Füllung aus besonders feinkörnigem Quarzsand und Ton, dem Formsand, aus. Der Durchmesser seiner Einzelteilchen ist geringer als ein halber Millimeter. Beim Anfeuchten umschließt der Ton die Quarzkörner; er dient als Bindemittel und verhindert das Zusammenfallen der Hohlformen, das bei reinem Sande zu befürchten wäre. In den feinen Sand drücken Masselformmaschinen mit ihren Stempeln beetförmig angeordnete, durch Gießkanäle miteinander verbundene Rillen. Durch den Hauptkanal fließt das Roheisen aus dem Hochofen heran, verteilt sich in die Nebkanäle und füllt die Rillen. In Bild 20 ist die hintere Reihe der Masselbetten bereits mit flüssigem Roheisen erfüllt, während die vordere noch frei von Schmelzfluß ist. Arbeiter sorgen mit langen Eisenstangen für einen glatten und geregelten Eisenzufluß. Von allen Seiten schlägt ihnen die Gluthitze des flüssigen Eisens entgegen, und sie schützen ihr Gesicht vor der unerträglichen Hitzestrahlung mit Masken aus Drahtgaze an der Kopfbedeckung. Diese ziehen als gute Wärmeleiter die Hitze ab und verteilen sie auf eine größere Fläche.

Der Schmelzfluß wird sich selbst überlassen und erstarrt langsam in den Masselformen. Dann aber kommt neues Leben in die Gießbetten. Auf langer Kranbrücke, die das Gießbett überspannt, rollt das Masseschlagwerk herbei. Daran hängt ein Schlaggewicht, das dreihundert Kilogramm wiegt. Es saust herab, wird dann emporgehoben, fällt wieder in die Tiefe und wuchtet mit seinen schweren Schlägen die zusammenhängenden Massen auseinander. Dem gewalttätigen Gesellen folgen Lastmagnete. Spielend heben sie die schweren Massen aus dem zerwühlten Bett, wie wenn es Nägel wären, und verladen sie in die bereitstehenden Eisenbahnloren.

In etwas abgewandelter Art gewinnt man die Massen auch in Gießmaschinen. Da sehen wir Masselformen, die den Brotformen beim Bäcker ähneln, als Glieder einer endlosen Kette zu einem Fließband vereinigt. Langsam setzt sich das Band in Bewegung, rollt schneller und schneller. Allmählich senkt sich die Schnauze der Gießpfanne nach unten, und das flüssige Roheisen füllt die vorübereilenden Formen. Schnell kühlt sich das Eisen bei der Bewegung des Fließbandes ab. An der Umkehrstelle des Bandes kippen die einzelnen Glieder nach unten und werfen die erstarrten Massen ab. Auf einer Rutsche gleiten sie geradewegs in die Eisenbahnloren. Diese rollen mit ihnen davon und bringen das Halbzeug in die Eisengießereien.

Bei Formern und Gießern

Meist kann in der Gießerei das Roheisen nicht in der Form verwendet werden, in der es von der Hütte geliefert wird. Verschiedenartige Aufträge erfordern Eisen verschiedenartiger Zusammensetzung. Man mischt dann mehrere Roh eisensorten und setzt zuweilen außerdem Schrott zu, um ein Gußeisen bestimmter Qualität, genormt Grauguß genannt, zu erhalten. Diesen Mischvorgang bezeichnen die Hüttenleute als Gattieren.



Kupolofen im Längs- und Querschnitt

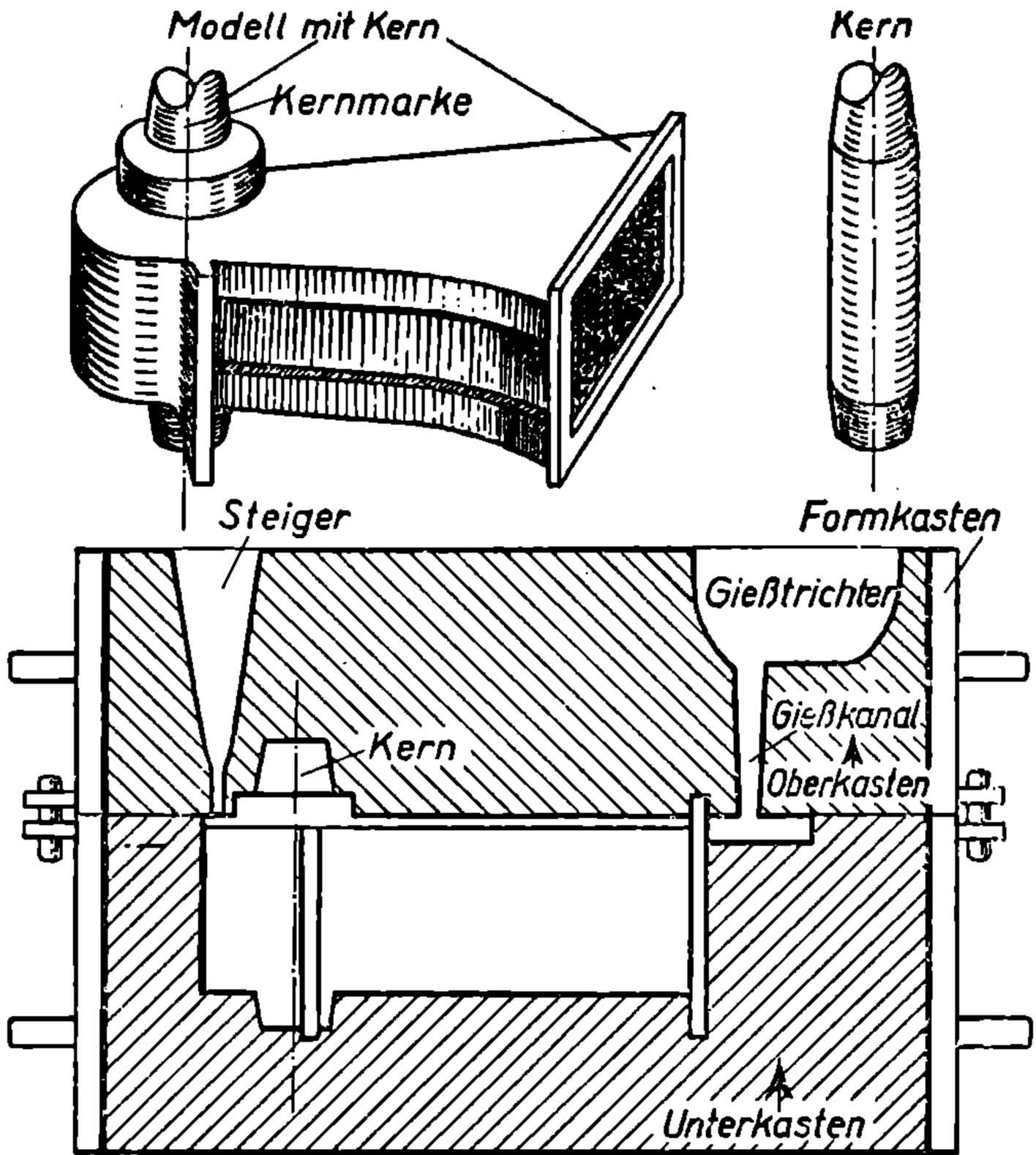
Der erste Querschnitt ist auf der Höhe der Windformen geführt, der zweite durch den Vorherd

Auch die Gießereien haben ihre „Hoch“öfen. Es sind die Kupolöfen, die zum Umschmelzen des Roheisens dienen (Bild 21). Ihre Größe allerdings hält keinen Vergleich mit den Hochöfen der Hütten aus. Von der Gichtbühne aus werden sie mit Masseln, Zusatzschrott, Koks als Brennstoff und Kalk als Zuschlag beschickt. Wie beim Hochofen, so wird auch hier durch Windformen von unten her Gebläsewind in den Ofen getrieben, und der Hochofen-

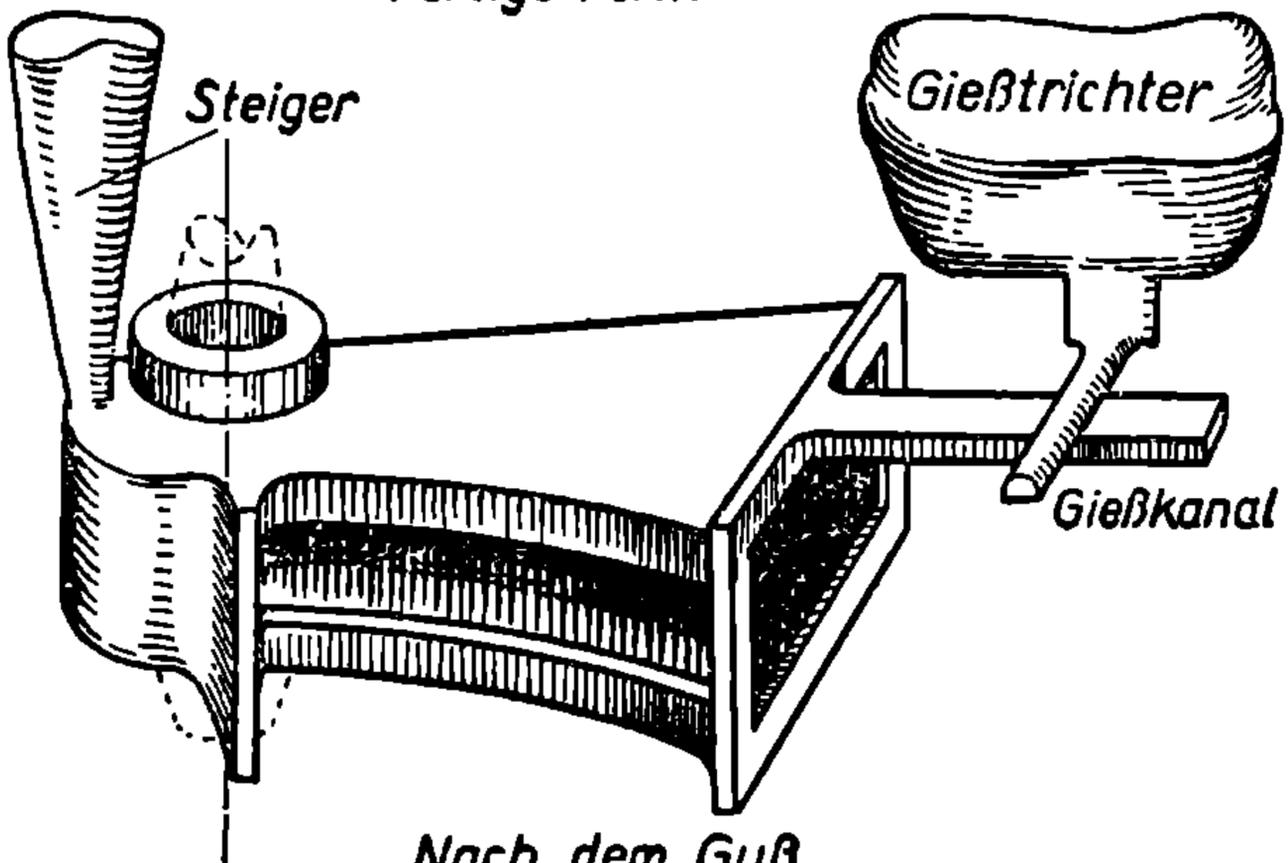
prozeß wiederholt sich noch einmal im kleinen. Eisen-schmelzfluß und flüssige Schlacke fließen auf der geneigten Sohle des Ofens zum Vorherd ab, in dem sich das schwerere Eisen unter einer Deckschicht aus Schlacke sammelt, die den Schwefel des Eisens und der Brennstoffe aufgenommen hat.

Geschick und große Übung erfordert die Herstellung der Formen für den Guß, denn ihre Hohlräume müssen genau dem Werkstück entsprechen, das gegossen werden soll. Allerdings ist hierbei das Schwindmaß zu berücksichtigen. Man versteht darunter das Ausmaß der Zusammenziehung des Eisens beim Erkalten. Um so viel müssen die Holzformen größer sein. Zunächst wird eine technische Zeichnung des Werkstückes im Konstruktionsbüro entworfen. Nach dieser fertigt man ein Holzmodell an, das aus zwei Hälften besteht. Das Modell kommt in die Formerei, in der qualifizierte Facharbeiter die Form herstellen. Zunächst legen sie eine Hälfte des Modells auf ein Formbrett und umgeben sie mit einem eisernen Rahmen, dem Formkasten. Nun wird Formsand in den Kasten gegeben und mit Preßluftstampfern rings um das Modell festgedrückt. So wird allmählich das Modell im Formsand begraben und der Kasten vollkommen ausgefüllt. Der Formsand zeichnet sich durch ein sehr feines und gleichmäßiges Korn aus und enthält tonige Bestandteile. Sie binden beim Durchfeuchten den Sand und gewährleisten die Formbeständigkeit. Nachdem der Sand gut festgestampft ist, wird der Kasten gewendet und bildet nun den Unterkasten der Form. Wir können wieder in die Hohlräume der Modellhälfte hineinschauen. Nun deckt der Former die andere Hälfte des Modells genau passend über die erste und setzt auf den Unterkasten den Oberkasten. Auch dieser wird mit Formsand gefüllt, der in der gleichen Weise rings um das Modell festgestampft wird.

Allerdings müssen die Formen außer dem Gußraum noch zusätzliche Hohlräume enthalten, die die Fertigung kom-



Fertige Form



Nach dem Guß

Gießen eines Werkstückes

plizieren. Besitzt das Modell selbst wieder Hohlräume, wie zum Beispiel das Rad für die Nabe, so müssen diese innerhalb der Form ausgefüllt sein. Man setzt dann Kerne in das Modell, die in besonderen Kernkästen geformt worden sind und das Werkstück etwas überragen. Sie hinterlassen im Formsand des Ober- und Unterkastens Eindruckstellen, die Kernmarken, in die später nach dem Herausnehmen des Modells und vor dem Guß die Kerne wieder eingepaßt werden müssen.

Ferner muß ein Gießtrichter aufgesetzt werden, der den Schmelzfluß aufnimmt. Er steht nicht direkt über dem Gußraum, sondern ist mit diesem durch einen gewinkelten Gießkanal verbunden. So muß der Schmelzfluß beim Füllen der Form erst einen Umweg machen, auf dem Schlackenteile und mitgerissene Sandkörnchen zurückgehalten werden. Müßte die in der Form enthaltene Luft durch den Schmelzfluß entweichen, so würde der Guß blasig ausfallen und Stellen geringsten Widerstandes aufweisen. Um einen einwandfreien Guß zu erhalten, muß die Form Kanäle enthalten, durch die die eingeschlossene Luft entweichen kann. Diese Luftkanäle werden gleichzeitig zu Steigern erweitert, von denen einer oder mehrere jedem Gußstück unmittelbar aufsitzen. Wenn sich die Form beim Guß gefüllt hat, steigt der Schmelzfluß in ihnen empor und sammelt sich in den Steigern. Das Gußstück kühlt sich allmählich von außen nach innen ab, und das Metall zieht sich dabei zusammen. Schließlich füllt es die inzwischen erstarrte äußere Hülle nicht mehr vollkommen aus, und es bilden sich im oberen Teile des Gusses Hohlräume, die Lunker. Die aufgesetzten Steiger sollen die Lunkerbildung im Werkstück verhindern. Beim Zusammenziehen des erstarrenden Eisens wird Schmelzfluß aus den Steigern nachgesaugt; die Form wird dann massiv ausgefüllt, und die schädlichen Lunker bilden sich in den Steigern. So wird beim Fertigstellen der Form der Sand Schicht um Schicht in die Formkästen gestampft, bis außer den

Gußräumen, den Gießtrichtern und Steigern kein Hohlraum mehr vorhanden ist. In Bild 22 sehen wir, wie die letzten Sandschichten im Oberkasten festgestampft werden. Der Preßluftstamper hat relativ kleine Abmessungen, damit er der Form des Modells gut nachgehen und auch zwischen den aus dem Formsand herausragenden Hölzern und dem Formrahmen den Sand befestigen kann. Die Hölzer markieren jetzt die Lage der Steigröhren und des Eingußtrichters. Ist das Stampfen der Form beendet, so zieht man vorsichtig die Hölzer für Steiger und Gießtrichter heraus, hebt den Oberkasten ab und nimmt die beiden Modellhälften aus der Form. Nun müssen die Kerne sorgfältig an den Kernmarken eingepaßt werden. Dann setzt man beide Formkästen wieder übereinander, und die Form ist für den Guß fertig. Größere Schwierigkeiten noch bietet der Aufbau von Großformen für Gußstücke, die zahlreiche Hohlräume enthalten (Bild 23). Dann müssen ebensoviele Kerne genau nach Maß in die Form eingepaßt werden. Saubere und genaue Gestaltung der Form ist ja die Grundbedingung für ein Gelingen des Gusses.

Mit der Fertigung der Form haben die Former ihre Arbeit verrichtet, und die Gießer beginnen mit ihrem Werk. Sie stechen den Vorherd des Kupolofens ab und entnehmen aus ihm soviel Schmelzfluß, wie sie gerade brauchen. Die Größe der verwendeten Gießkübel entspricht dem Bedarf an Schmelzfluß. Für große Gußstücke verwendet man Gießkübel, die auf Gießwagen oder maschinell mit Kränen zu den Formen gebracht werden. Beim Gießen kleiner Stücke gleichen die Gießkübel eher Schöpflöffeln (Bild 24) als jenen Riesentöpfen, in denen der Schmelzfluß aus dem Hochofen aufgefangen wird. Dann stehen meist die vorbereiteten Formen in langer Reihe nebeneinander, und zum Kupolofen bewegt sich die Schlange der Gießer, von denen je zwei an langen Stangen einen kleinen Gießkübel tragen und diesen, mit Schmelzfluß gefüllt, zu den Form-

kästen bringen. Das Gießen muß flott hintereinander gehen, damit der Schmelzfluß sich nicht abkühlt und hierdurch zu dickflüssig wird.

Nach dem Erkalten des Formlings wird der Oberkasten abgehoben, die Sandform zerschlagen und das Gußstück aus dem Formsand gelöst. Es hat noch zahlreiche „Verzierungen“, die an dem fertigen Werkstück nichts zu suchen haben. Es trägt Grate an der Fuge zwischen den beiden Formkästen, und außerdem sitzen ihm noch die Steiger und die Eingußtrichter mit den Gießkanälen auf. Darum gelangt es zunächst in die Putzerei. Dort werden mit Preßluftmeißeln, durch Sägen und Schleifen die Eingüsse, Steiger und Gußnähte entfernt. Mit dem Sandstrahlgebläse reinigt man die Gußstücke dann von anhaftendem Formsand und glättet ihre Oberfläche, die oft noch einen Email- oder Rostschutzüberzug erhält, ehe das Werkstück als Fertigprodukt die Eisengießerei verläßt. Unzählige Gebrauchsgegenstände, Maschinenteile, Öfen, Rohre und vieles andere gelangt, als Grauguß hergestellt, hinaus auf den Markt. Der Gießprozeß läßt sich in verschiedener Hinsicht abwandeln. Durch Sauerstoffzufuhr in den Kupolofen wird der Schmelzfluß verbessert. Dann steigt die Ofentemperatur an; man verbraucht weniger Koks und schleppt mit diesem weniger Fremdstoffe, wie zum Beispiel Schwefel, ein.

Wird das im Kupolofen erschmolzene Eisen in Graugußformen gegossen, so ziehen diese die Wärme derart rasch ab, daß der Kohlenstoff an der Oberfläche des Gußstückes nicht mehr die Zeit findet, sich als Graphit auszuscheiden. Er bleibt als Eisenkarbid im Eisen gelöst. Es entstehen Werkstücke mit einer harten Oberfläche von Weißeisen und einem zähen Kern von grauem Eisen. Dieser „Schalenhartguß“ ist zwar schwierig zu bearbeiten, besitzt aber eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit. Aus ihm werden die Walzen für Mühlen, Metallwalzwerke und Papierfabriken hergestellt. Man kann die Abkühlung auch weiter beschleu-

nigen und erhält dann Werkstücke, die weder außen noch innen Graphitausscheidungen haben, die also einheitlich das Gefüge der Weißerstarrung aufweisen; man spricht dann von „Vollhartguß“.

Für kleinere Massenartikel, zum Beispiel Schlüssel, Beschläge usw., kann man die Eigenschaft einer Eisenlegierung mit 2 bis 3,5 % Kohlenstoff auch durch nachträgliches Entkohlen oder Tempern verbessern. Man bettet die Gußstücke in feinkörnigen Roteisenstein, der sich in geschlossenen Muffelöfen befindet. Dann glüht man sie vier bis sechs Tage bei etwa 1000° C. Beim Glühen in „neutraler Atmosphäre“ wird der Kohlenstoff der Eisenlegierung zum Teil als Temperkohle abgeschieden. In „oxydierender Atmosphäre“ hingegen, das heißt bei Gegenwart von Sauerstoff, werden die Werkstücke von der Oberfläche her entkohlt, indem sich ihr Kohlenstoff mit dem Sauerstoff zu Kohlendioxyd verbindet. In beiden Fällen wird die Eisenlegierung zäh und hämmerbar. Sie kann in beschränktem Ausmaße geschmiedet werden und leitet damit bereits zum schmiedbaren Eisen, dem Stahl, über. Zwar ist der Temperguß den geschmiedeten Werkstücken nicht gleichwertig, aber er ist wesentlich billiger als diese; er ist das Werkmaterial für billige Massenartikel.

Moderne Probleme der Verhüttung

Wir haben in Deutschland zahlreiche Eisenerzlager mit zum Teil großen Erzvorräten. Die Erze erinnern an die Lothringer und Luxemburger Minette. Sie sind aber viel eisen- und kalkärmer als diese und enthalten dafür wesentlich mehr Kieselsäure. Kieselsäurereiche Erze lassen sich schwer verhütten; ihre Verarbeitung im normalen Hochofenprozeß ist nahezu unmöglich. Im Hochofen muß man eine leichtschmelzende basische Schlacke erzielen, die den Schwefel der Erze und des Brennstoffs als Kalziumsulfid bindet und damit dem Eisen entzieht. Um diese Bedingung

zu erfüllen, müßten den sehr sauren deutschen Erzen große Mengen Kalk als Zuschlagstoff beigegeben werden. Viel Zuschlag aber bedeutet erstens einen erhöhten Koksverbrauch für das Aufschmelzen der Gesteine und damit wiederum eine erhöhte Schwefelzufuhr. Es bedeutet zweitens, daß der Erzgehalt des Möllers stark sinkt, was der Verarbeitung nichtlohnender, eisenarmer Erze gleichkommt. Drittens bedingt die unverhältnismäßig starke Vergrößerung des Möllers auch eine Vergrößerung der Gesamtanlage und damit erhöhte Produktionskosten.

Das Salzgitter-Erz zum Beispiel enthält etwa 30 0/0 Eisen; es gehört also noch nicht zu den eisenarmen Erzen. Da es aber 33 0/0 saure Gangart enthält, müßte man 70 0/0 Kalkzuschlag zugeben, um eine leichtschmelzende, basische Schlacke zu erzielen. Dann enthält der Möller nur noch 17,5 0/0 Eisen und läßt sich wirtschaftlich im normalen Hochofengang nicht mehr verarbeiten. Den deutschen Metallurgen war die Aufgabe gestellt, das Problem dennoch zufriedenstellend zu lösen. Sie lösten es durch Anwendung des Niederschachtofens oder mit Hilfe des Krupp-Renn-Verfahrens.

Das zweite schwerwiegende Problem ist das des Brennstoffes. Durchaus nicht alle Kohle läßt sich zu einem hüttenfähigen Koks verarbeiten. Da sind etwa die Gaskohlen, die bei der Verkokung im Gaswerk große Mengen Steinkohlengas liefern. Infolge der hohen Gasentwicklung ist ihr Koks sehr porös und wenig fest; zur Verhüttung ist er unbrauchbar. Man muß Fettkohle verkoken, um einen festen, vollwertigen Hüttenkoks zu erhalten. Nur dieser hält im Hochofen dem ungeheuren Gewicht der Erzsäule stand, die auf ihm lastet. Die Deutsche Demokratische Republik ist sehr arm an Steinkohlenlagern. Infolge der künstlichen Abschnürung von der Ruhrkohle mußten Wege gefunden werden, um weniger gut geeigneten Steinkohlenkoks und vor allem auch Braunkohlenkoks in größerer Menge bei der Verhüttung verwenden

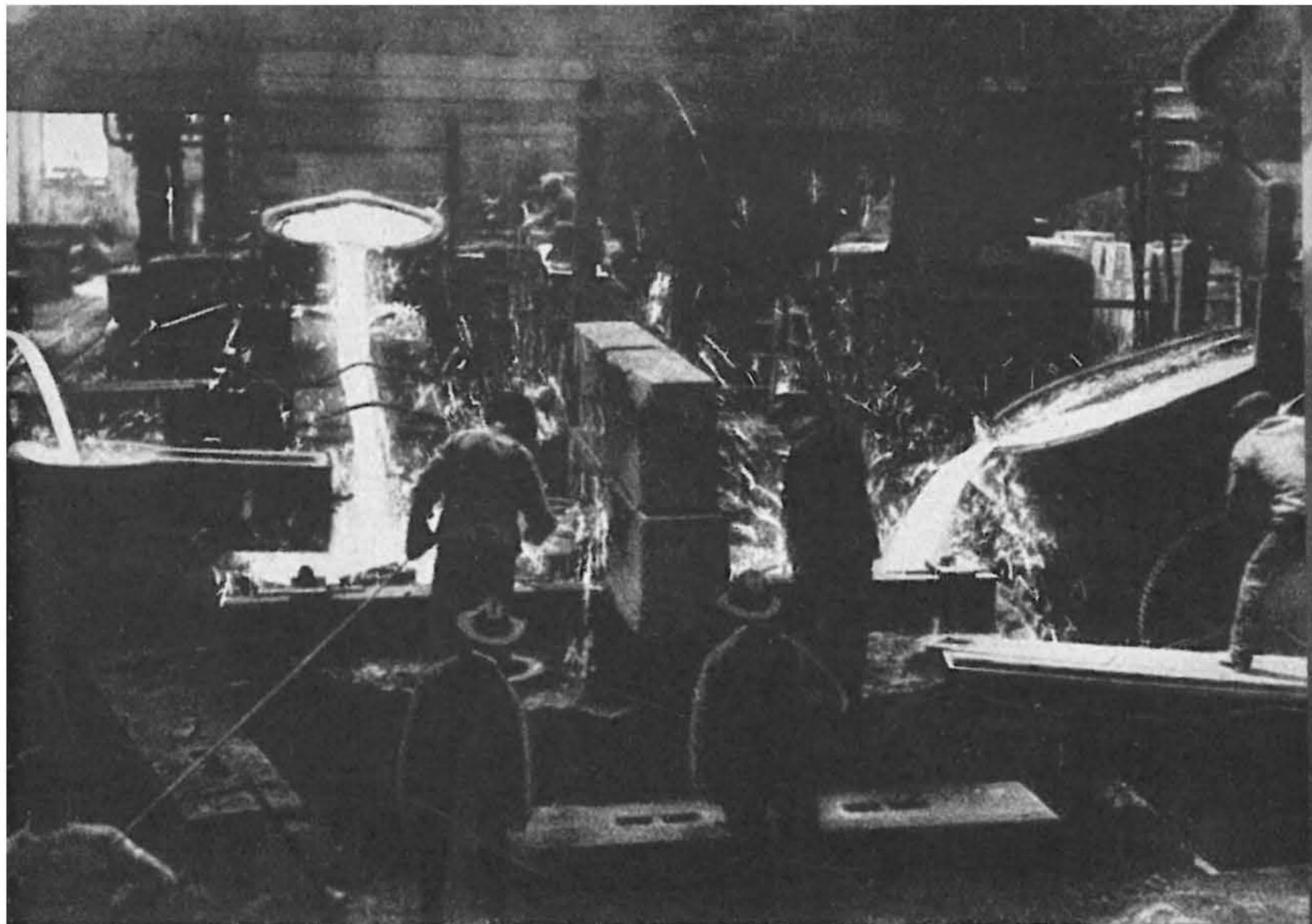
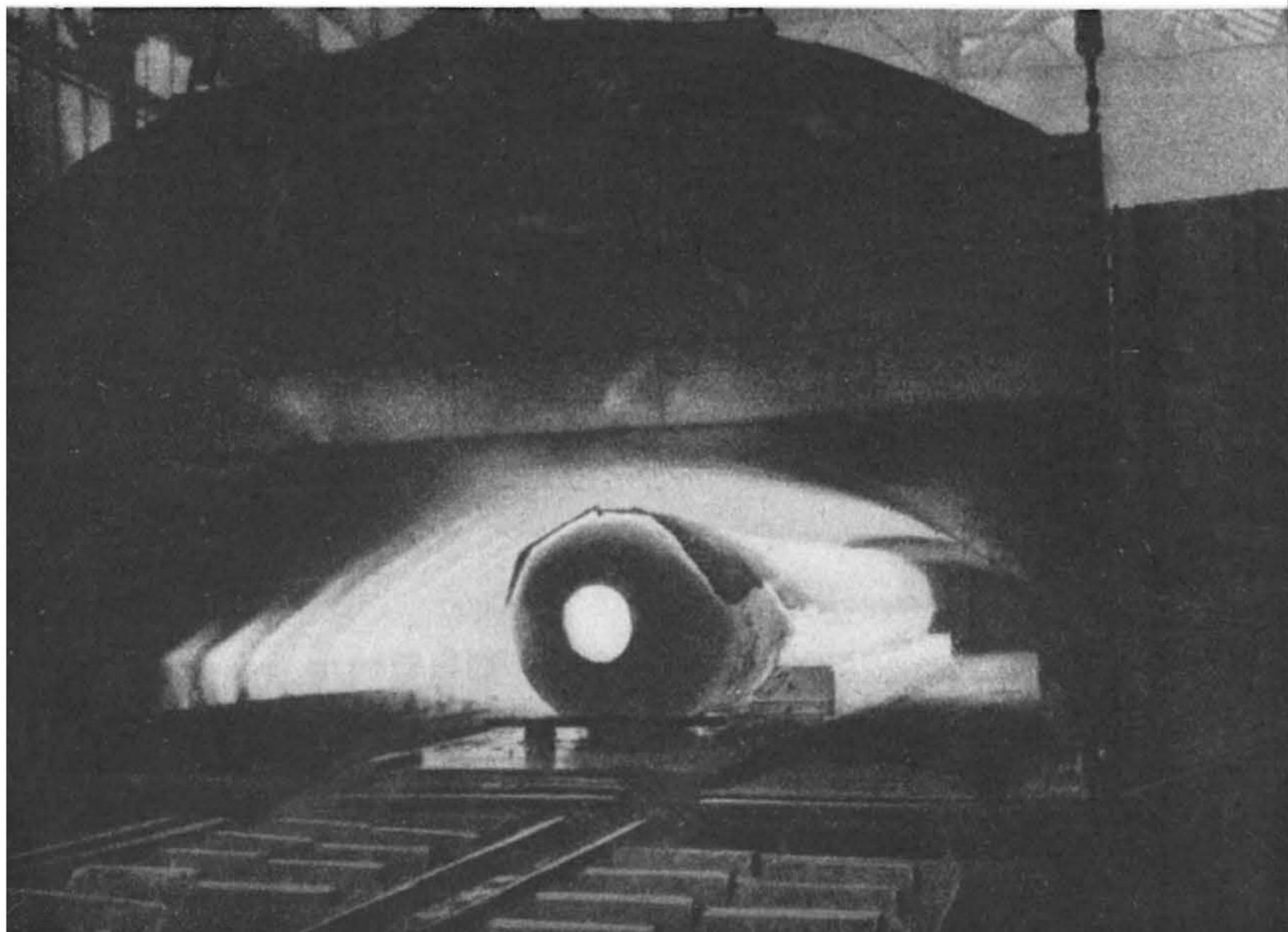


Bild 49 Gießen eines Stahlgußblocks von 105 t Rohgewicht in einer Stahlgießerei.

Bild 50 Schmiedeblock im Glühofen.



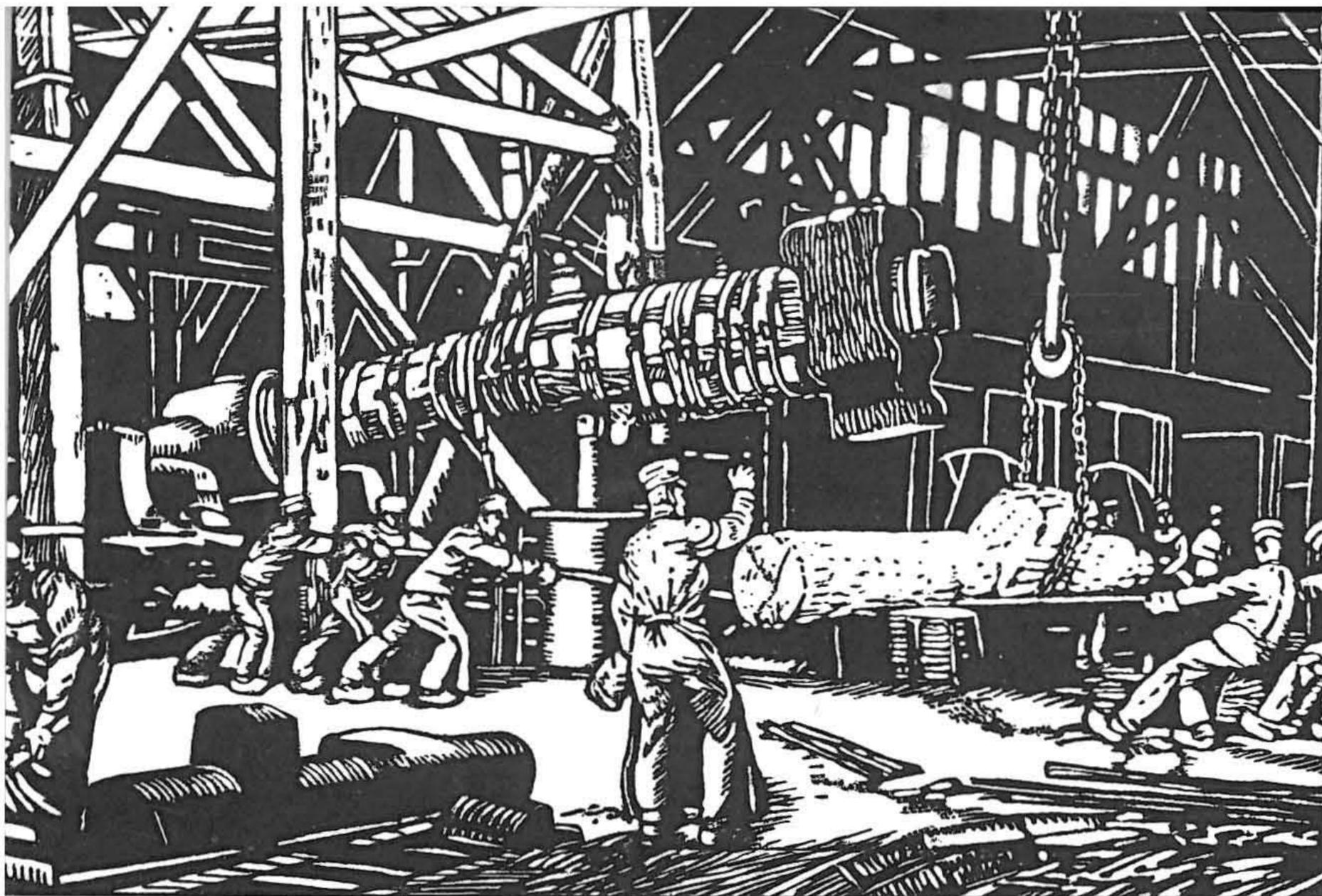


Bild 51 Der älteste Dampfhammer.

Bild 52 Stahlblock unter einem modernen Dampfhammer.

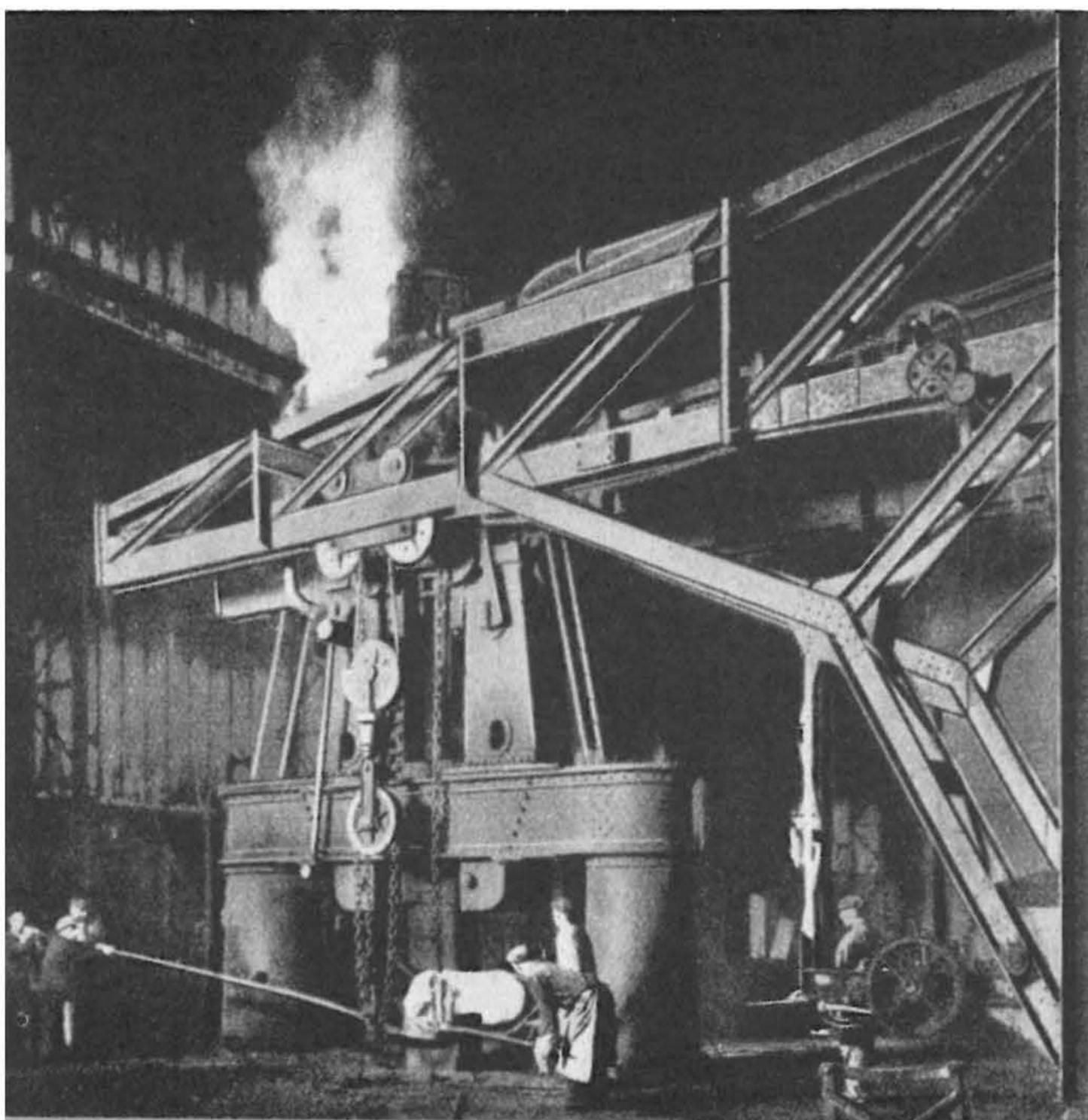


Bild 53
Bearbeitung eines großen
Blocks
unter der Schmiedepresse.

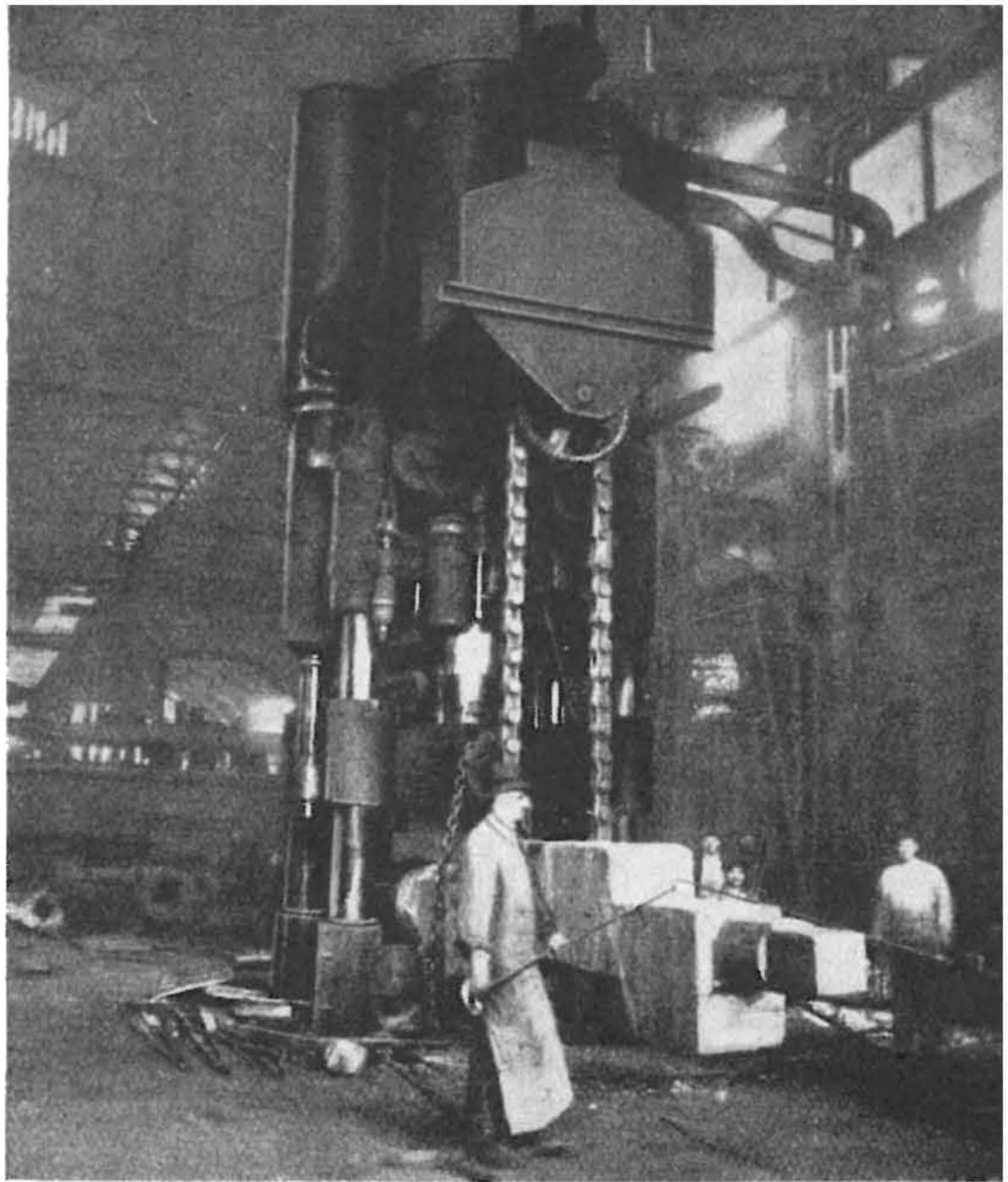
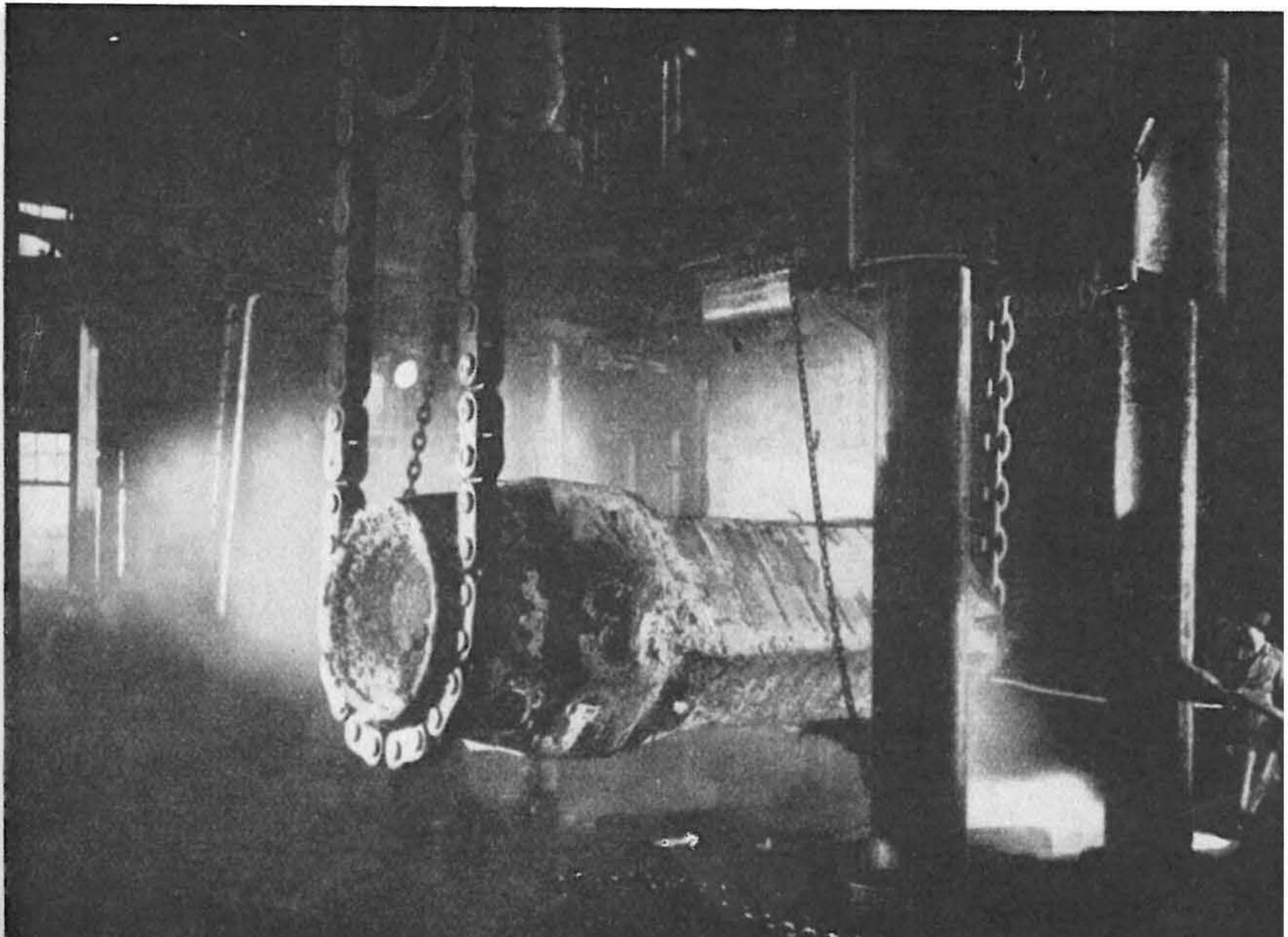


Bild 54 Rohblock unter der Schmiedepresse.



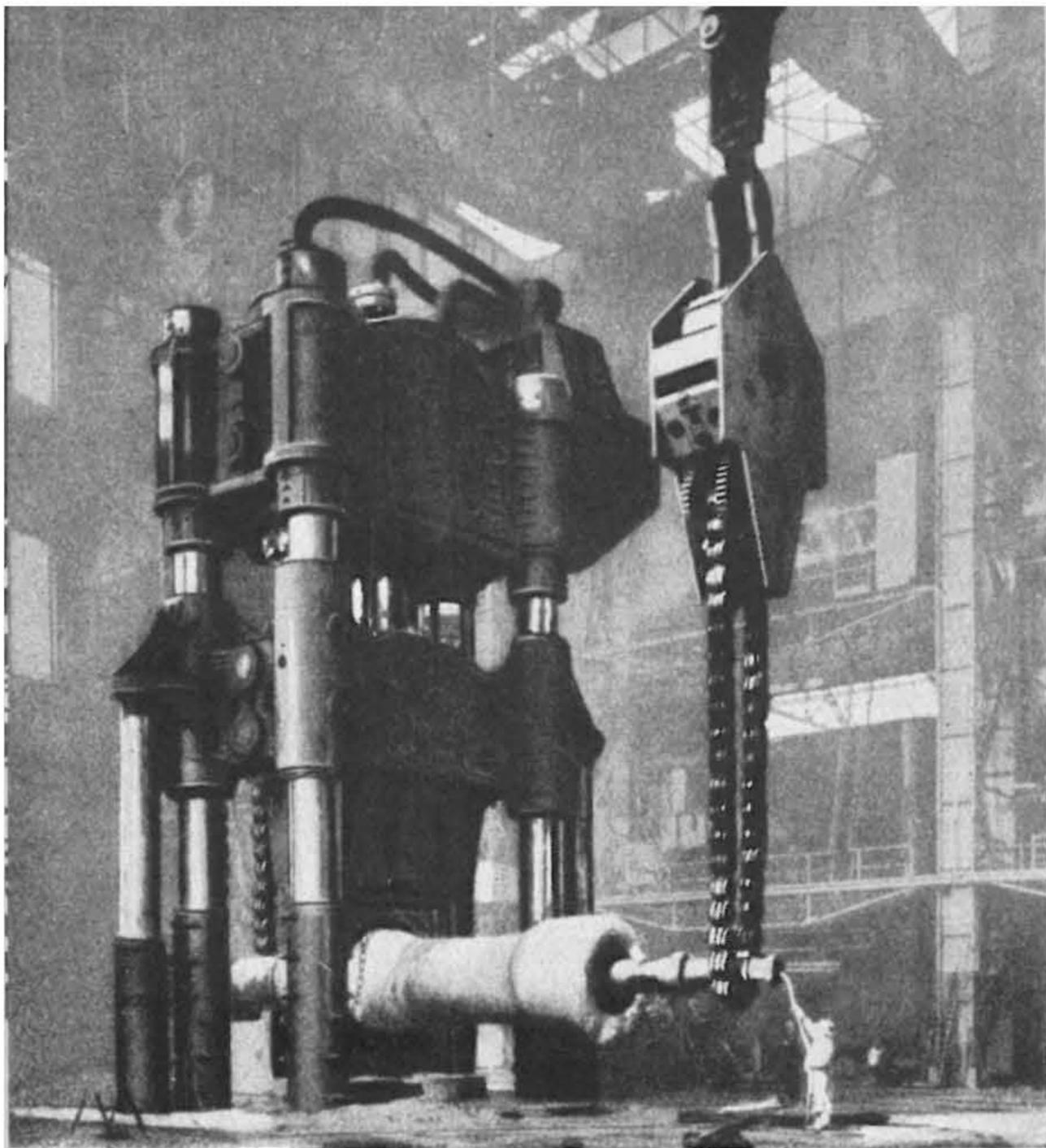
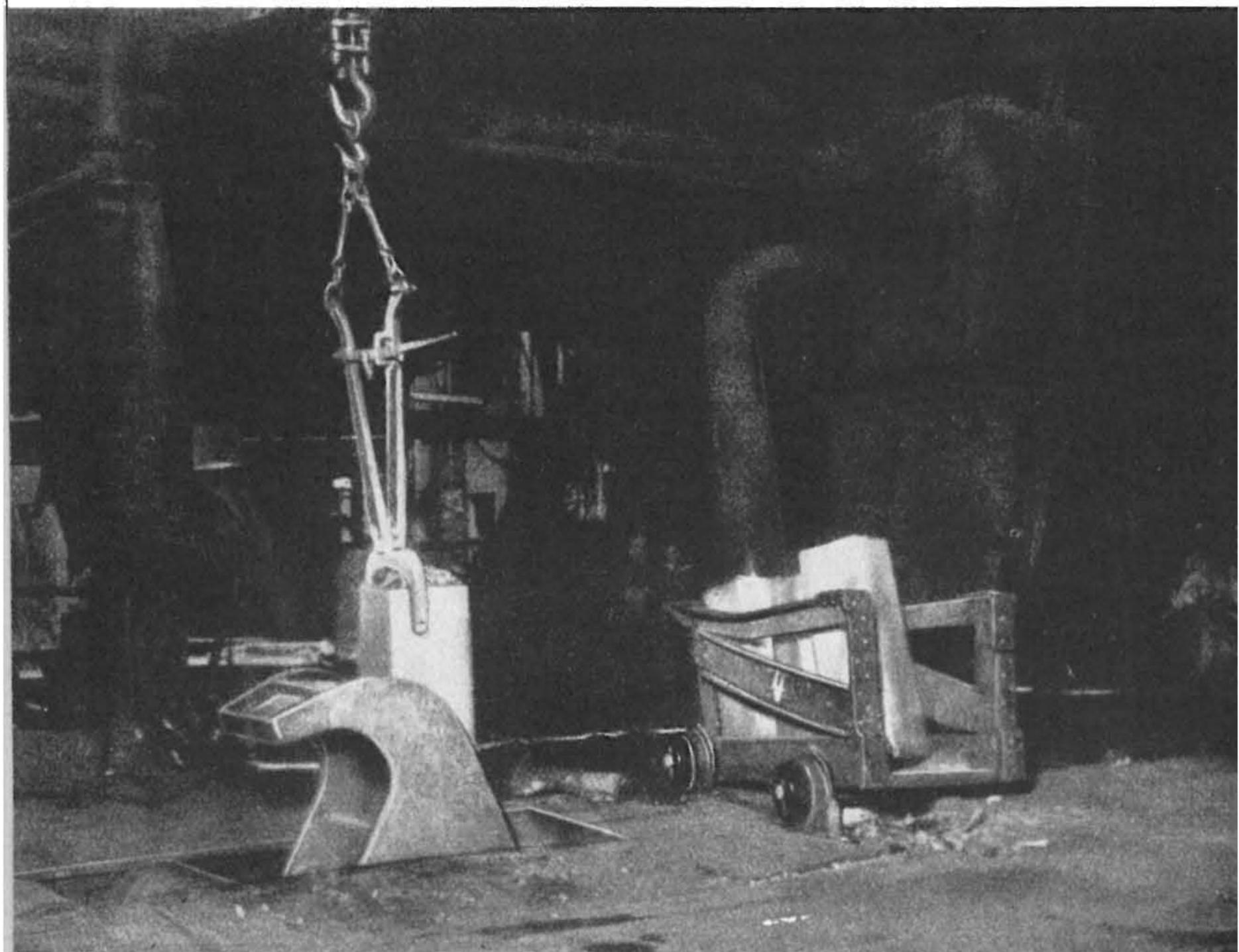


Bild 55
Dampfhydraulische
Schmiedepresse
bei der weiteren
Verarbeitung.

Bild 56 Aufsetzen des Stahlblocks auf den Kippstuhl der Rollbahn.



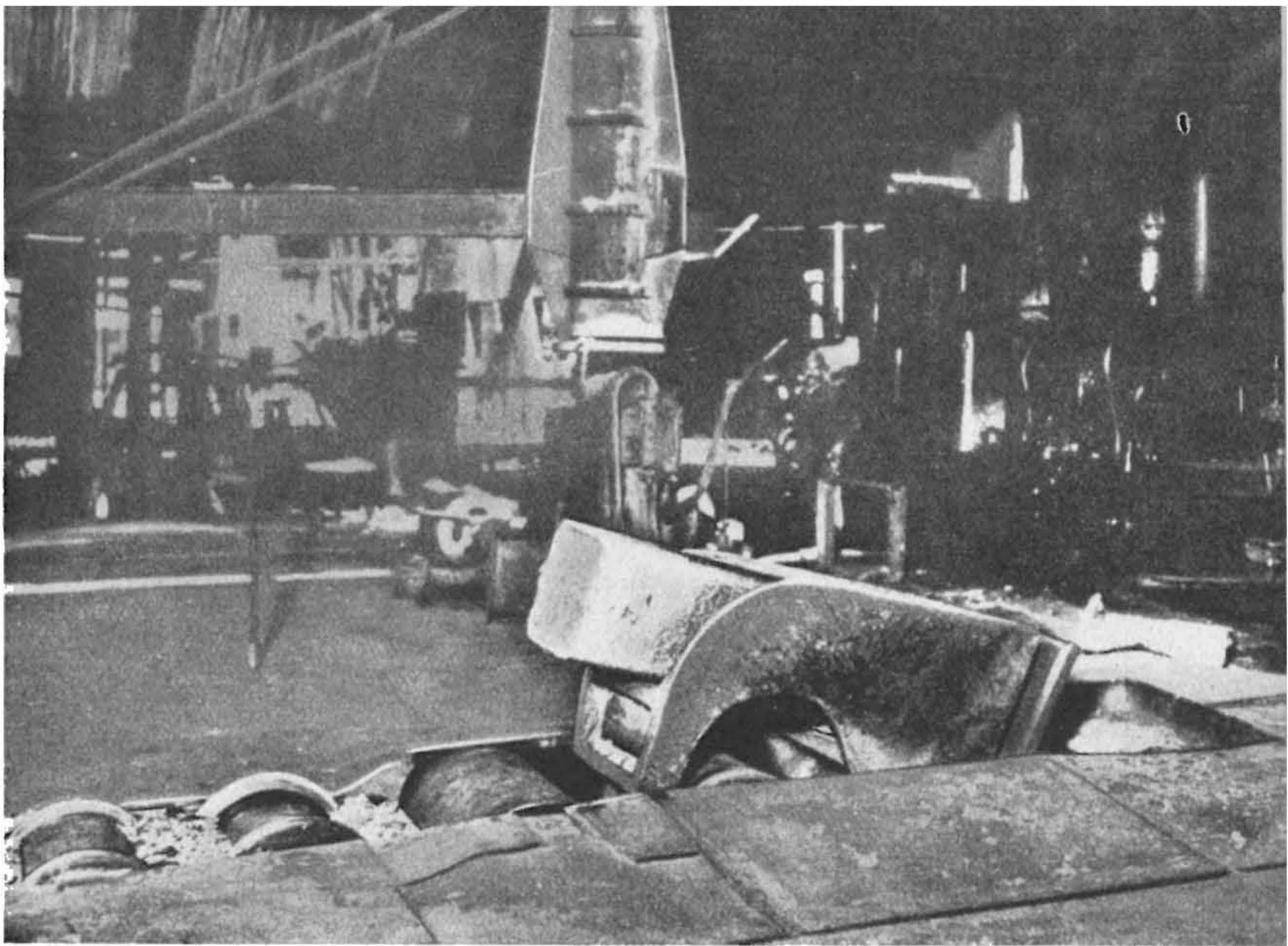
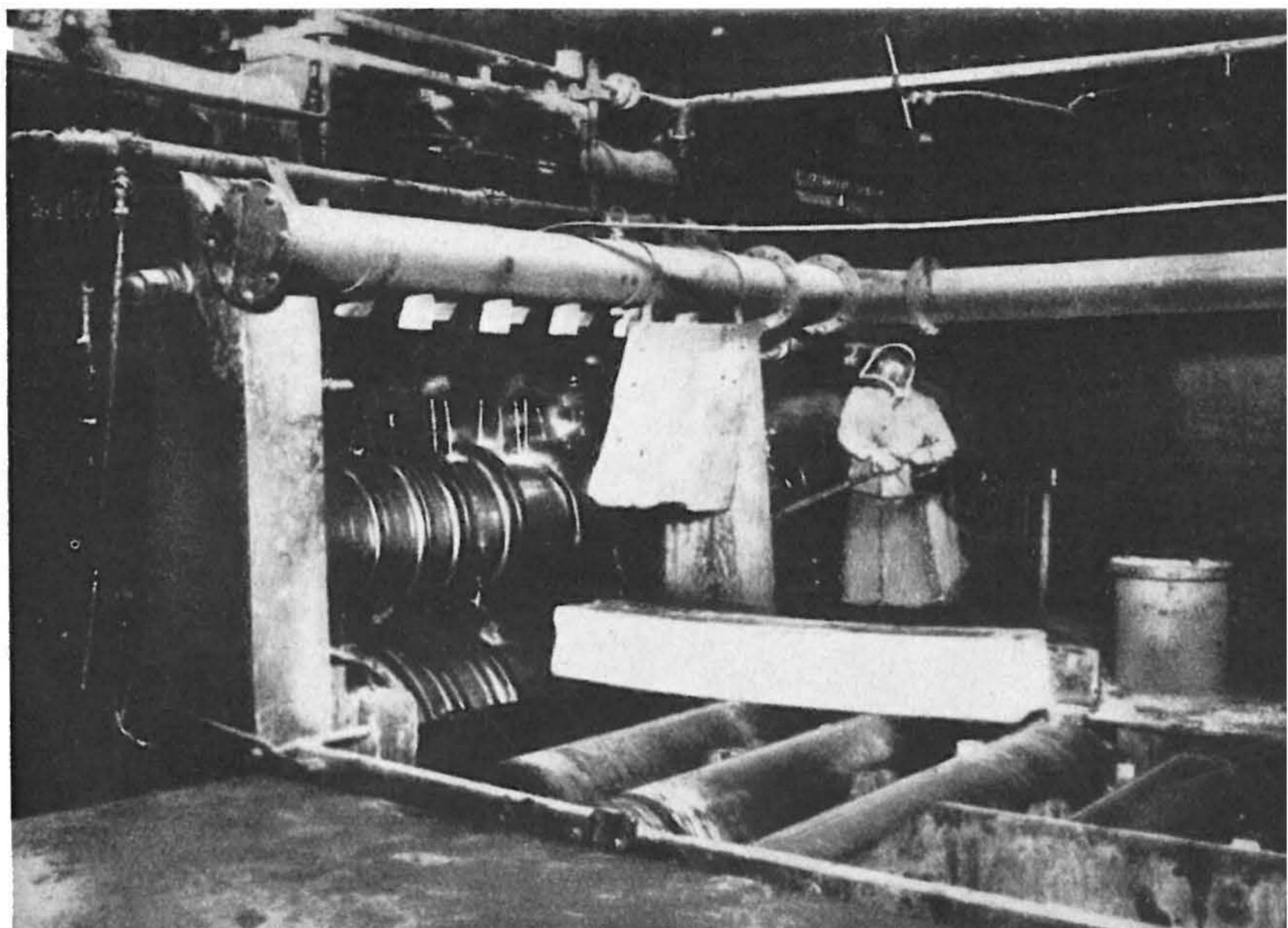


Bild 57 Der Block kippt auf die Rollen und wird von diesen zum Walzgerüst befördert.

Bild 58 Strecken des Blocks im Walzgerüst.



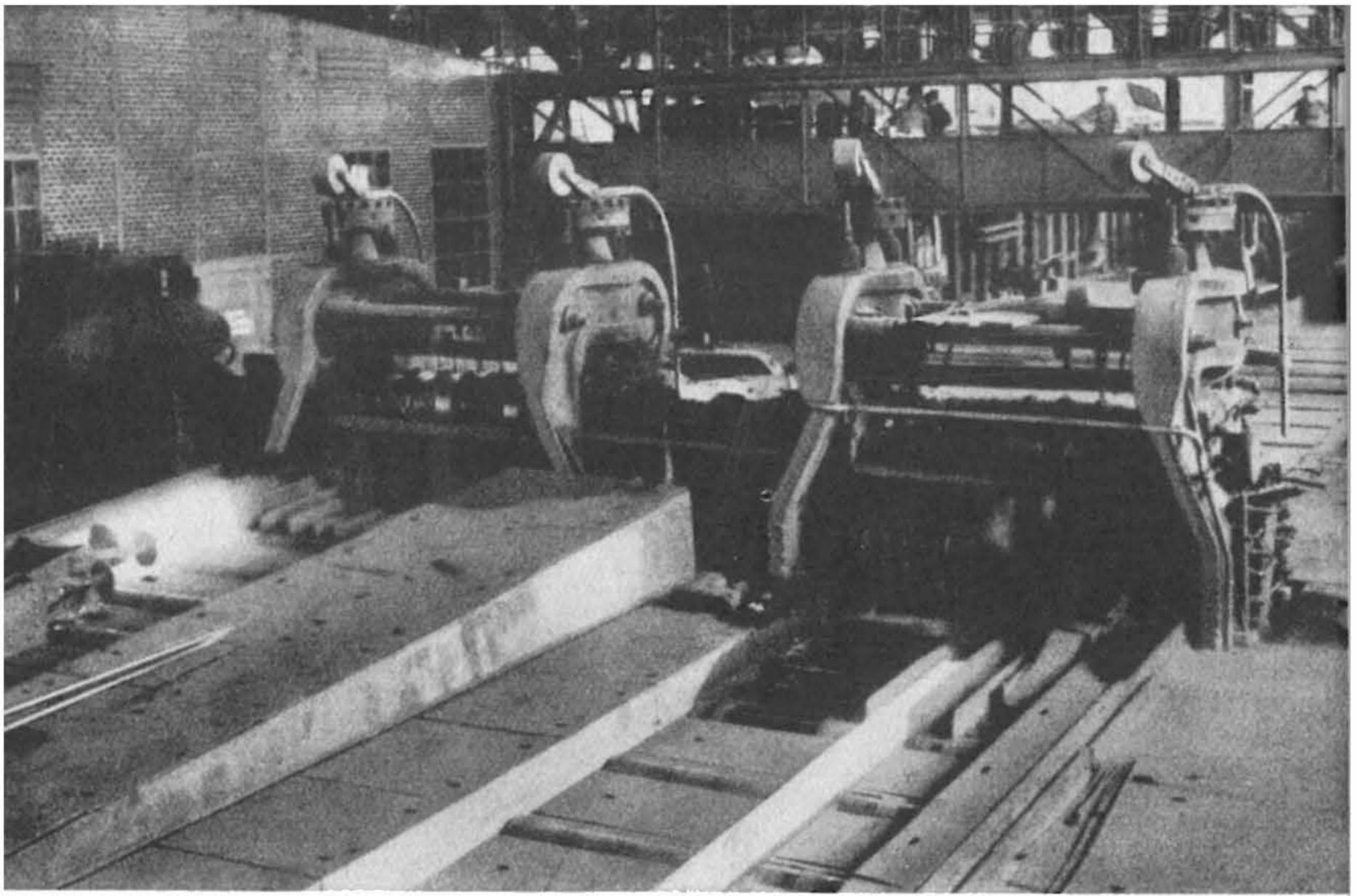
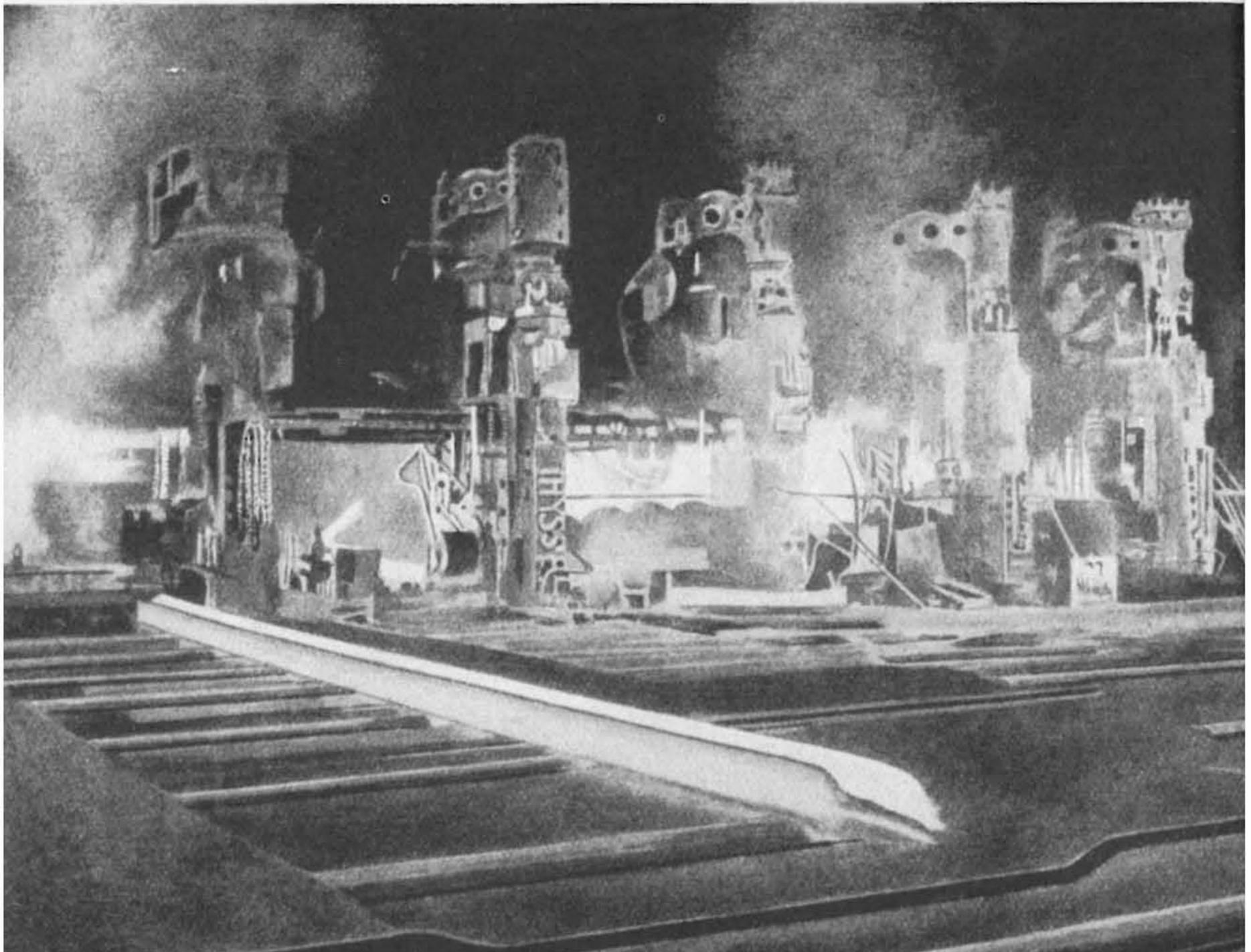


Bild 59 Walzgerüst mit Führungsschienen für die einzelnen Kaliber. Im Hintergrund die Bedienungsstände.

Bild 60 Im Walzwerk.



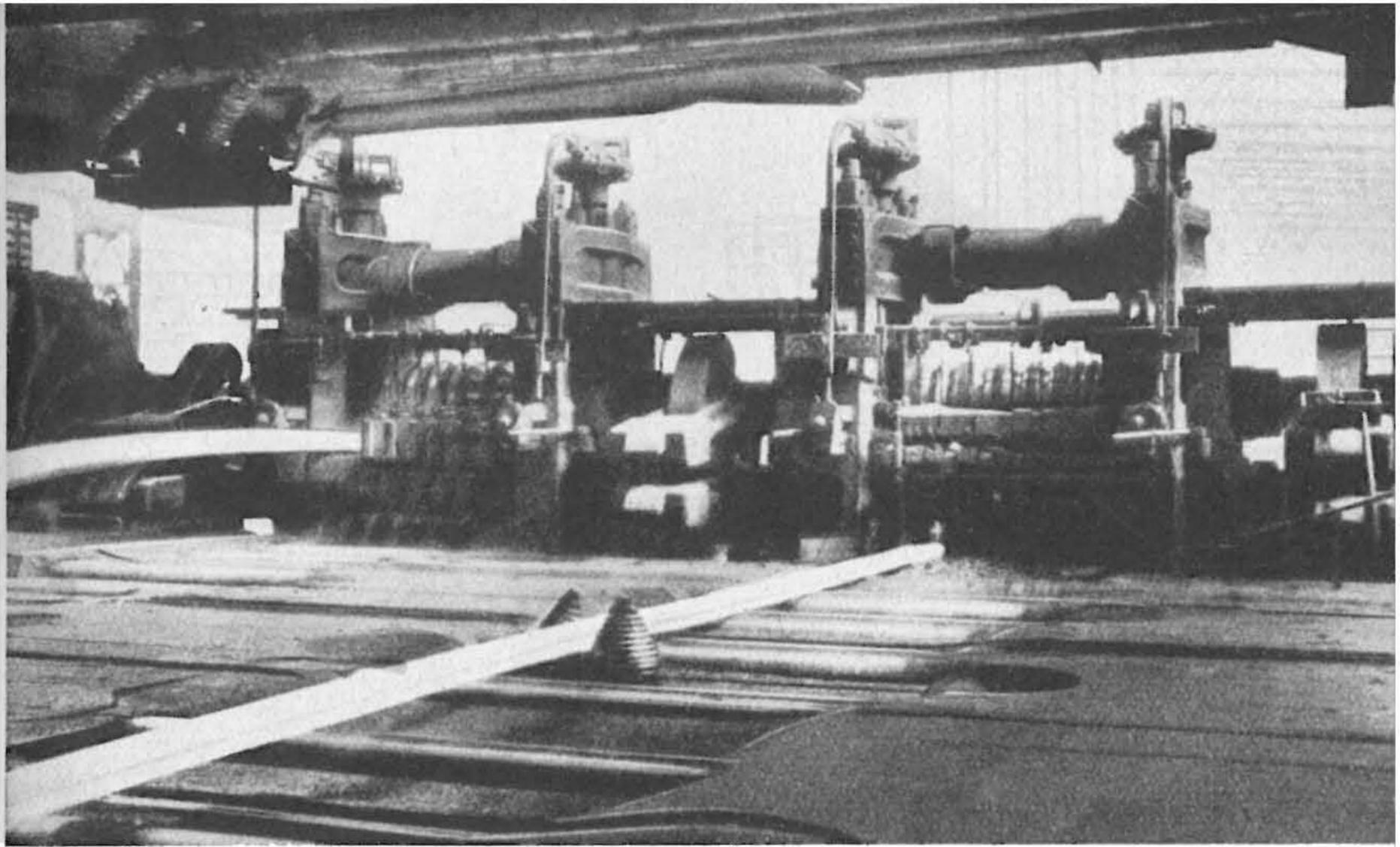
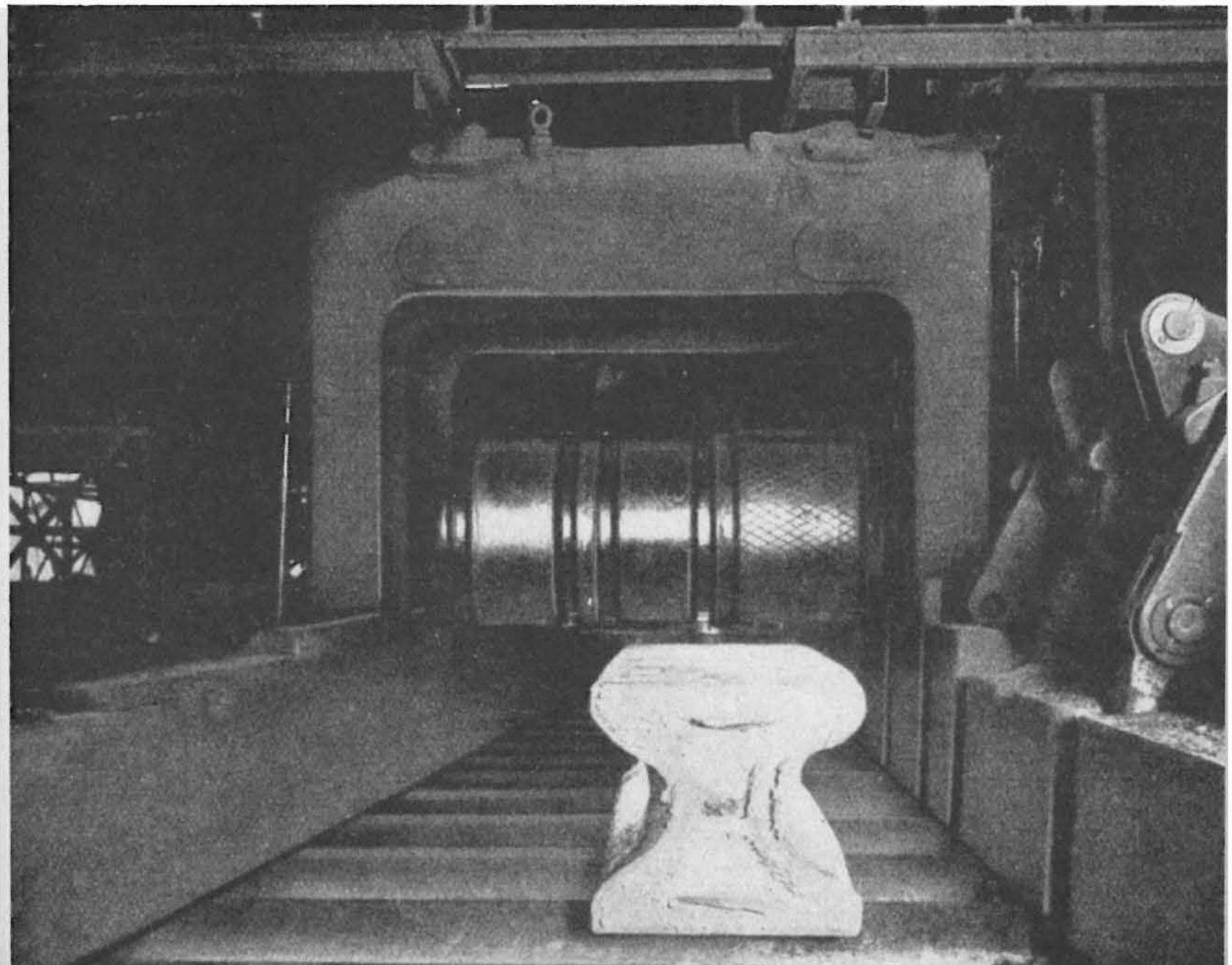


Bild 61 Endbearbeitung im Trägerwalzwerk.

Bild 62 Walzgerüst für Stahlblöcke bis 12 Tonnen.



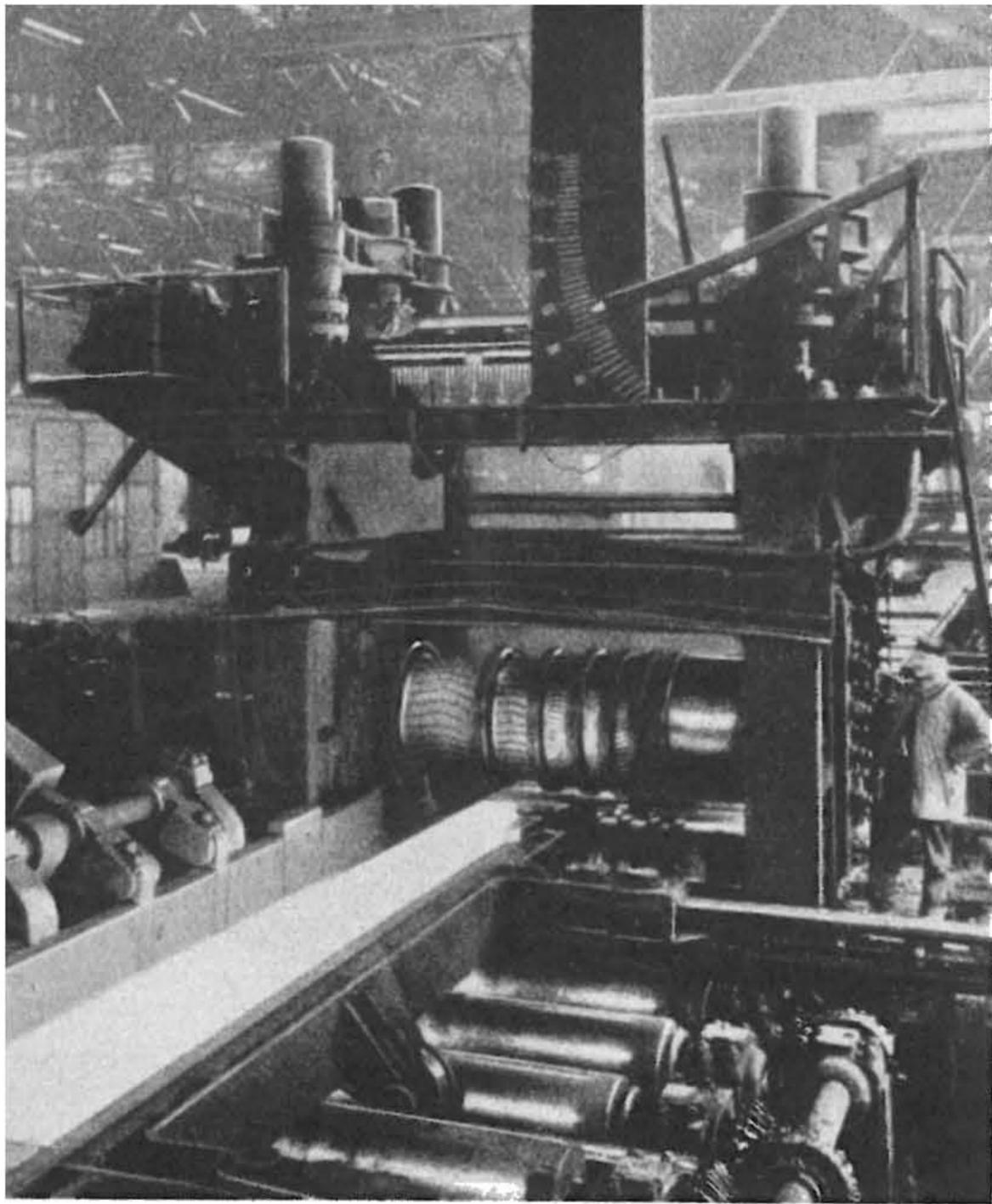
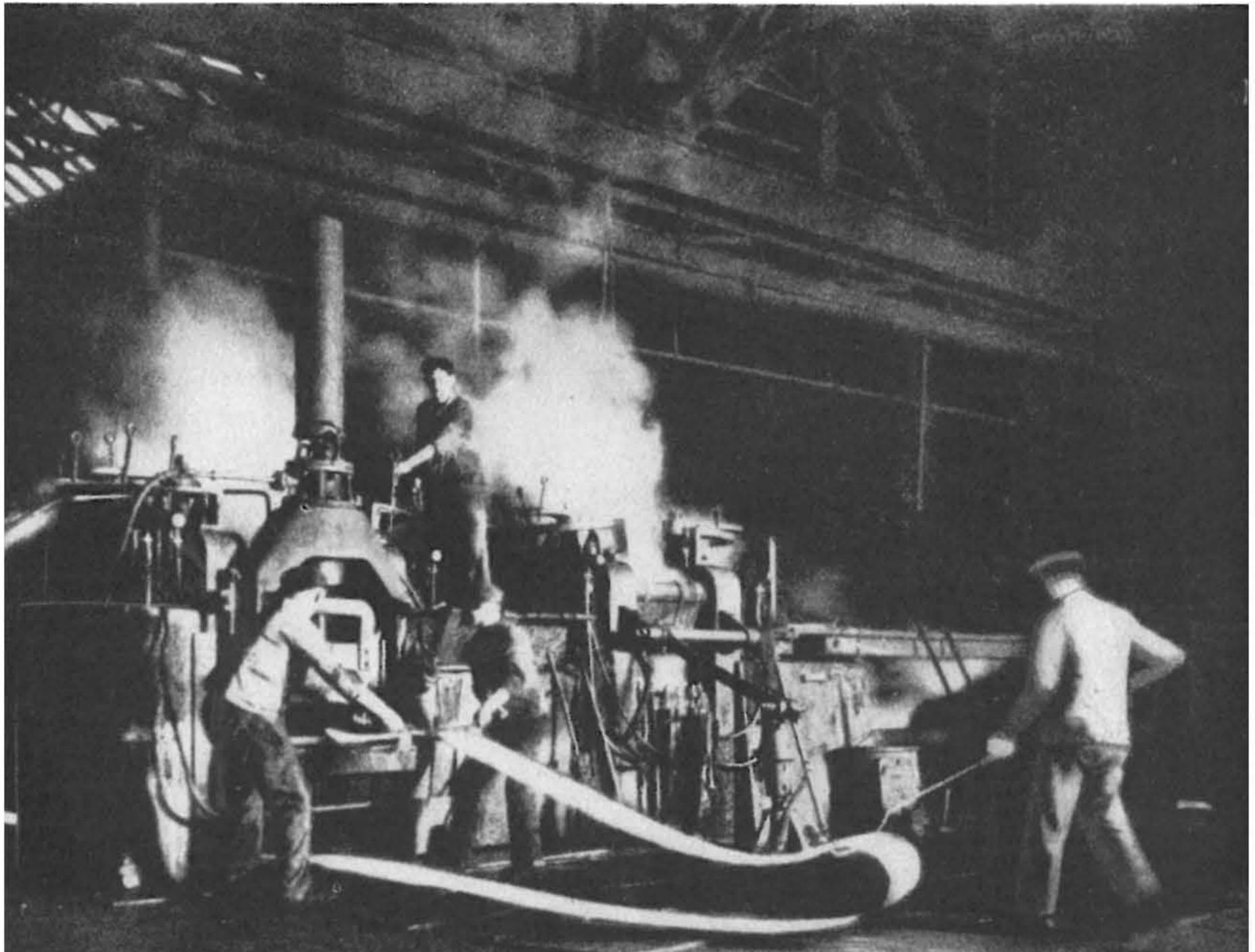


Bild 63
Moderne
Elektroblockstraße.

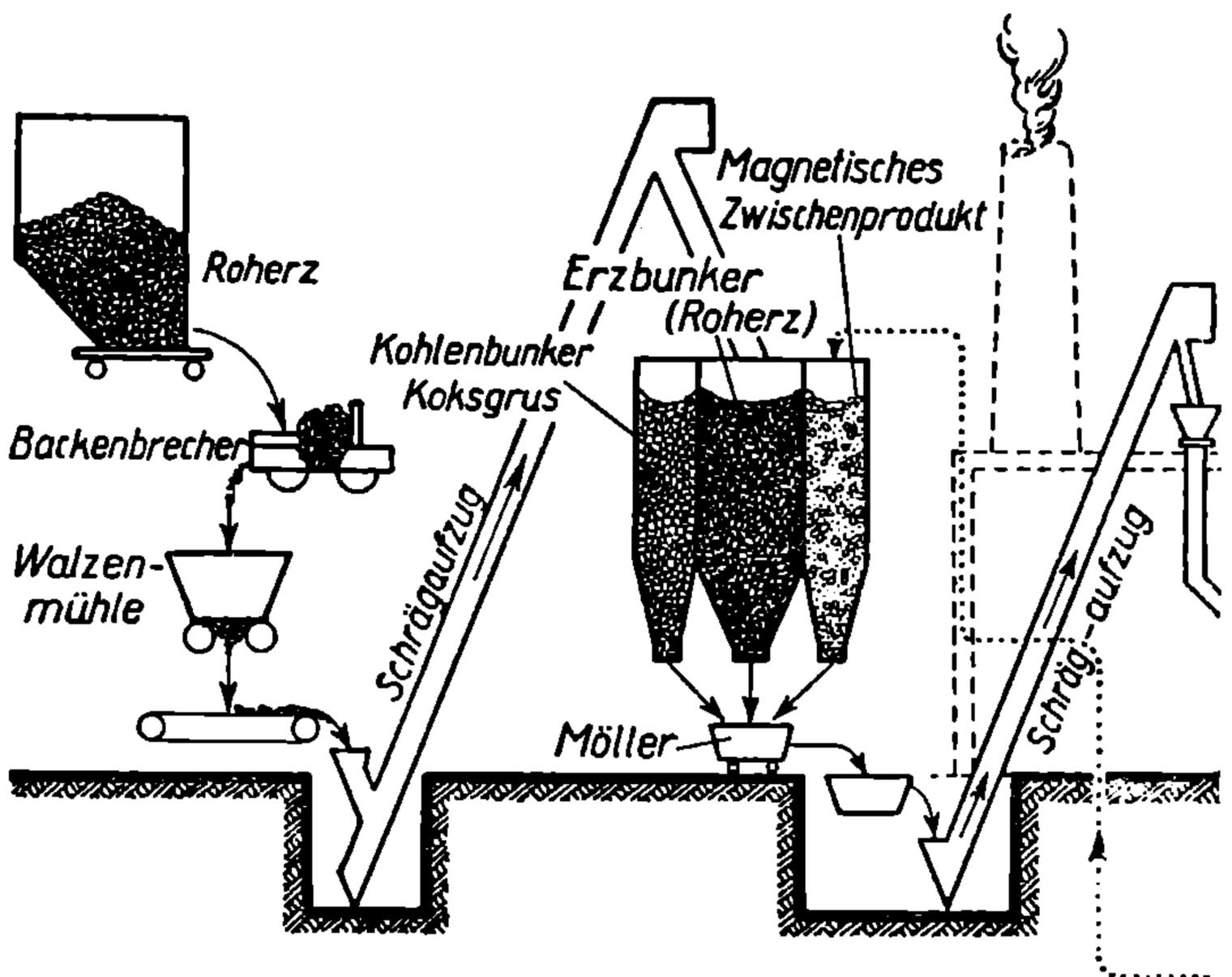
Bild 64 Streifenwalzwerk



zu können. In der Großkokerei Lauchhammer wird nach einem von Rammler und Bilkenroth entwickelten Verfahren Braunkohle verkocht und in einen relativ festen Hüttenkoks verwandelt, der sich durch geringen Aschegehalt und nicht zu hohen Schwefelgehalt auszeichnet. Dieser neu entwickelte Braunkohlen-Hüttenkoks soll in den metallurgischen Betrieben weitgehende Verwendung finden. Nun haben in der Maxhütte die alten, ehrwürdigen Hochöfen einen recht modernen, aber unansehnlich kleinen Konkurrenten bekommen, den Niederschachtofen. Er nimmt sich wirklich bescheiden neben den Riesen seines Geschlechts aus, und bescheiden, wie seine Größe, ist natürlich auch seine Leistung, sein Durchsatz. Bisher wurden die Niederschachtofen nur elektrisch betrieben. Neu ist ihre Anwendung im normalen Verhüttungsprozeß, und es ist das Verdienst der Hochöfner der Maxhütte, dieses neue Verfahren entwickelt zu haben. Die geringe Höhe der Erzsäule im Niederschachtofen erlaubt den Einsatz weniger standfester Kokssorten und vor allem auch die Mitverwendung von Braunkohlenkoks. Bei der Verhüttung im Hochofen würden die kieselsäurereichen Erze Störungen durch die vermehrte Schlackenbildung verursachen; im Niederschachtofen können sie ohne wesentliche Schwierigkeiten verhüttet werden. Man mischt dem Wind Sauerstoff zu. Die Ofentemperatur wird dadurch erhöht, und man braucht weniger Brennstoffe. Die hohe Temperatur begünstigt die Entschwefelung der Rohstoffe auch bei saurer Schlacke. In der kleinen Versuchsanlage der Maxhütte wurde der Niederschachtofen erprobt. Im Jahre 1952 erhielt dann das Eisenwerk West bei Calbe acht neue Niederschachtofen und wurde damit das erste Hüttenwerk der Deutschen Demokratischen Republik, das den Niederschachtofen im großen zur Verhüttung deutscher Erze zum Einsatz bringt. In Calbe werden besonders die stark sauren Brauneisenerze von Badeleben im Harz verhüttet. Sie stellen die letzten Ausläufer der Salzgittererze dar, die

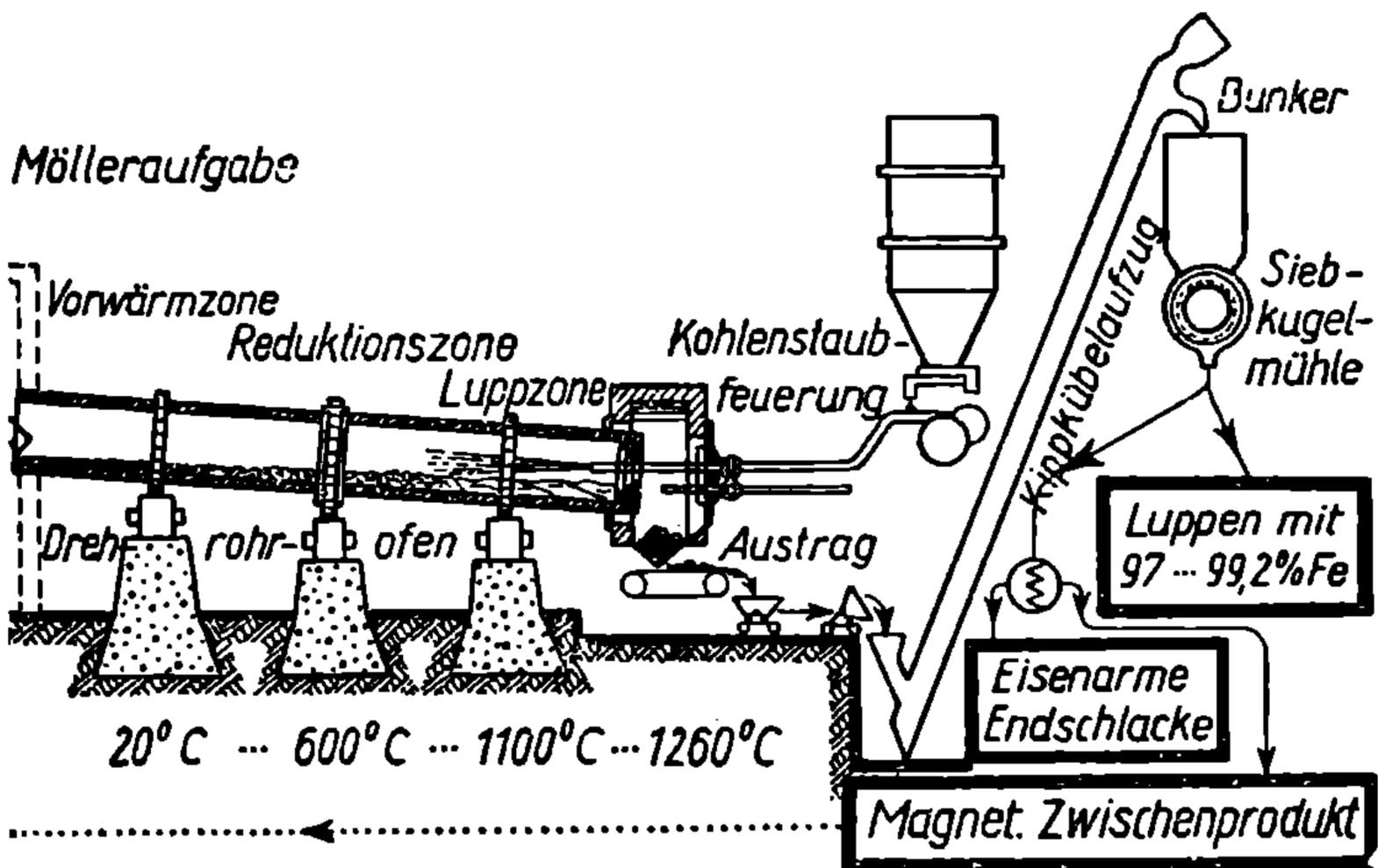
bis in den Bereich der Deutschen Demokratischen Republik herüberziehen und hier zum Teil im Tagebau gewonnen werden können.

Neben dem Verhüttungsprozeß im Niederschachtofen hat sich zur Aufbereitung kieselsäurereicher Erze das Krupp-Renn-Verfahren bewährt; es wird ebenfalls im Eisenhüttenwerk West angewendet. Im Gegensatz zum Hochofenprozeß erfordert es nur geringwertige Brennstoffe, wie Braunkohle, Grudekoks, Kohlen- und Koksstaub. In Backenbrechern und Walzmühlen wird das Erz auf 10 mm Korngröße zerkleinert und mit $\frac{9}{10}$ des erforderlichen Brennstoffes in Form von Feinkohle oder Kohlengrus vermischt. Der Rest von $\frac{1}{10}$ wird für die Kohlenstaubfeuerung verwendet. Durch die Mölleraufgabe gelangt das Brennstoff-Erz-Gemisch in die etwa 50 Meter langen, geneigt gelagerten Drehrohröfen, von denen jeder täglich



bis 600 Tonnen Erz verarbeiten kann. Mit Hilfe großer Zahnradkränze, die dem Mantel des Ofens aufsitzen, wird er langsam um seine Achse gedreht. In sechs bis acht Stunden rutscht die Beschickung infolge der Drehung des Ofens allmählich abwärts, und vom Ende des Ofens schlägt ihr die Flamme der Kohlenstaubfeuerung entgegen.

Erz und Kohlengrus werden zunächst in der Vorwärmzone des langen Röhrenofens vorgetrocknet, und das in ihnen enthaltene Wasser entweicht als Wasserdampf. In der Reduktionszone werden die Erze allmählich von 600°C auf 1100°C erhitzt. Wie im Hochofen, so wirken auch hier das sich bildende Kohlenmonoxyd und der fein verteilte Kohlenstoff reduzierend; sie entreißen dem Erz Sauerstoff und lassen aus ihm reines Eisen entstehen. Das immer von neuem sich bildende Kohlenmonoxyd lagert als



Krupp-Renn-Anlage (schematisch)

Gasschutzschicht über dem schwammförmigen, weichen Eisen und verhindert die Rückoxydation durch die eingeführte Luft. In der Endzone, der Luppenzone, wird die Luft direkt auf die Beschickung geblasen. Ein Teil des Eisenschwammes nimmt rückläufig Sauerstoff auf und wandelt sich unter Wärmeabgabe in Eisenoxyd FeO , das von der Schlacke aufgenommen wird. Die Ofentemperatur steigt in dieser Endzone auf 1200 bis 1400° C an. Die halbflüssige Schlacke trennt sich durch die Wälzarbeit des Ofens von den Eisenschwammteilchen, die zu schlackefreien Klumpen, den Luppen, zusammenschweißen. Kommt das Eisenoxyd der Schlacke mit Kohleteilchen in Berührung, so wird es wieder zu Eisen reduziert, das sich mit den bereits gebildeten Luppen vereinigt. So entstehen in einem Wechselprozeß von Reduktion und Oxydation eine eisenoxydarme Schlacke und schlackenfreie Luppen, die ständig wachsen. Beide fallen aus dem Ofen, werden abgekühlt und durchlaufen eine Mühle. Die spröde Schlacke zerspringt und gibt die Eisenluppen frei. Durch Magnetscheidung trennt man die zerkleinerte Schlacke in Endschlacke und ein magnetisches Konzentrat, das wieder in den Drehrohfen gegeben wird. Die Eisenteilchen des Konzentrats bilden dann die Ansatzkerne für neue Luppen. Die Eisenluppen, die man im Renn-Verfahren erhält, sind kein Endprodukt. Sie bilden einen schrottähnlichen, schwefelreichen Rohstoff, der im Hochofen zu Roheisen verarbeitet werden kann. Dabei nimmt die Schlacke den Schwefel auf.

Das Krupp-Renn-Verfahren gehört in die Reihe der Aufbereitungsverfahren, durch die geringwertige Rohstoffe verhüttungsfähig gemacht werden. Die Kosten des Renn-Prozesses sind relativ gering, und der Roheisenpreis liegt bei seiner Anwendung nicht über dem Preis des aus ausländischen Erzen im Hochofen direkt erschmolzenen Roheisens.

AUS ROHEISEN WIRD STAHL

Was ist Stahl?

Stahl und Eisen haben die gleiche stoffliche Grundlage, und doch sind ihre Eigenschaften denkbar verschieden. Fast keine praktische Verwendung findet chemisch reines Eisen. Erst Beimischungen geben ihm die Eigenschaften, die es als Werkstoff begehrenswert machen. Insbesondere bestimmt der Gehalt an Kohlenstoff weitgehend die Eigenschaften und damit die Verwendbarkeit des Eisens. Das aus dem Hochofen strömende Roheisen enthält durchschnittlich 4 % Kohlenstoff. Dieses kohlenstoff„reiche“ Roheisen ist spröde und läßt sich weder schmieden noch walzen. Beim Erhitzen geht es, sobald sein Schmelzpunkt erreicht ist, plötzlich vom festen in den flüssigen Zustand über. Es durchläuft nicht erst das teigige Übergangsstadium des glühenden Stahls, in dem dieser im Walzwerk geformt und unter dem Schmiedehammer bearbeitet werden kann. Dieser schmiedbare und formbare Übergangszustand ist für die Weiterverarbeitung zu Fertigwaren von unschätzbarem Wert. Etwas kann das Gußeisen diesem Idealzustand für die Weiterverarbeitung durch Tempern angeglichen werden. Es wird dann wenigstens in begrenztem Umfange schmiedbar. Erreicht wird dies durch Entkohlen der Oberflächenschicht des Roheisens. Entkohlung ist auch der Weg, der vom Eisen zum Stahl führt. Das Entkohlen ist ein Oxydationsprozeß. Man verbrennt den Kohlenstoff. Er vereinigt sich in der Hitze mit Sauerstoff zu Kohlenmonoxyd oder Kohlendioxyd, die gasförmig entweichen. Die Entkohlung des Roheisens nennt man Frischen, und man unterscheidet hierbei zwei Verfahren, in denen der gleiche Endzustand mit verschiedenen Mitteln erreicht wird. In dem einen Fall drückt man Preßluft durch den glühenden Schmelzfluß. Der Sauerstoff der Preßluft oder, wie der Stahlwerker sagt, des „Windes“ oxydiert den

Kohlenstoff des Roheisens. Wind ist das Oxydationsmittel; man bezeichnet daher das Verfahren als „Windfrischen“. In dem anderen Fall wird dem Roheisen in einem Herd entweder Schrott oder Eisenerz zugesetzt. Eine darüberstreichende Gasflamme schmilzt das Gemisch auf. Sowohl Schrott als auch die oxydischen Eisenerze enthalten chemisch gebundenen Sauerstoff. In der Hitze des Schmelzofens vereinigt sich dieser Sauerstoff mit dem Kohlenstoff im Roheisen; wieder bildet sich Kohlendioxyd, und das Eisen wird entkohlt. Außerdem wirkt auch der Sauerstoff der Verbrennungsluft entkohlend. Man bezeichnet dieses Verfahren als Herdfrischen.

In dem einen Fall wird also das Frischverfahren nach dem oxydierenden Stoff, im anderen nach dem Herd benannt, in dem das Eisen entkohlt wird.

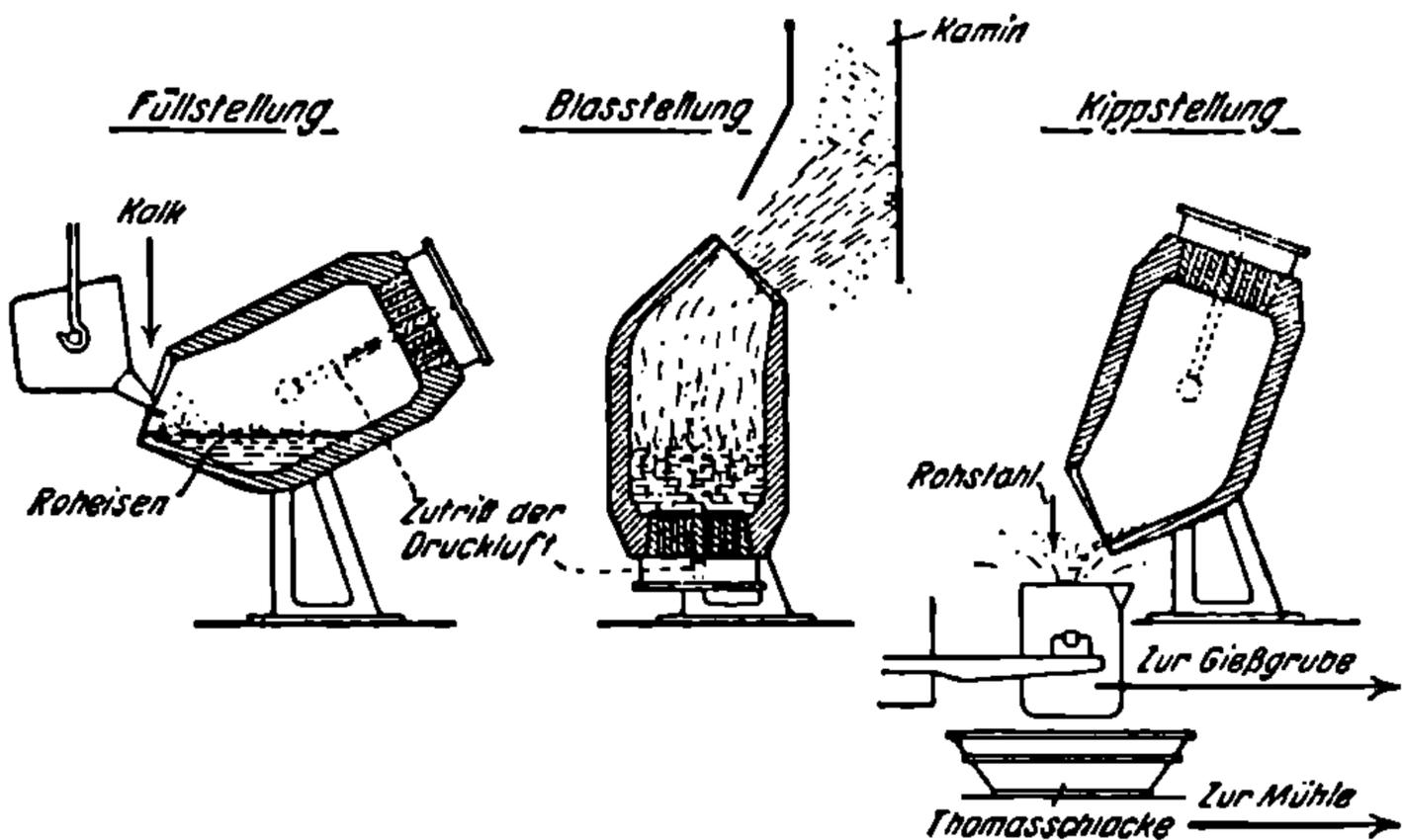
Im Thomasstahlwerk

Wir kehren noch einmal zum Hochofen zurück. Soeben wird weißes Roheisen abgestochen. Als Glutbach stürzt es die Abflußrinne herab in den Kübel des Transportwagens (Bild 25), der den Schmelzfluß unverzüglich zum Thomasstahlwerk bringt. Dort wird er sofort zu Thomasstahl verarbeitet. Ein Lastkran hebt den Kübel vom Wagen und entleert das Eisen in einen zylindrischen Sammelbehälter, den Mischer (Bild 26 und 27). Er faßt bis dreihundert Tonnen flüssiges Roheisen. Durch das Zusammengießen verschiedener Abstiche werden die unvermeidlichen Schwankungen in der Zusammensetzung des Roheisens so weit wie möglich ausgeglichen. Außerdem macht sich das Stahlwerk dadurch etwas unabhängig von schwankenden Roheisenzufuhren aus der Hütte. Werden größere Mengen auf einmal angeliefert, die nicht sofort weiter verarbeitet werden, so kann man den Mischer auch mit Gichtgas beheizen.

Düster liegt vor uns die lange Halle des Thomasstahlwerks. In Nischen eingebaut, stehen in Reih und Glied an der

Längswand die birnenförmigen Riesengefäße (Bild 28), in denen der Schmelzfluß gefrischt wird. Nach dem Erfinder des Verfahrens, dem englischen Metallurgen Thomas, der sie 1878 einführte, und nach ihrer eigenartigen Form nennt man sie „Thomasbirnen“.

Da sie um die waagerechte Achse gekippt werden können, bezeichnet man sie auch nach dem lateinischen „converter“, das „umwenden“ oder „drehen“ bedeutet, als Konverter. Ab und zu sprühen in dem düsteren Raume Feuerfarben auf, und der Widerschein des Feuers legt sich auf die rauchgeschwärzte Decke der Halle. Wir steigen zur Beschickungsbühne empor, wo ein geleerter Konverter gefüllt werden soll. Hellrot leuchtet seine Auskleidung aus gebranntem Dolomit, der chemisch dem gebrannten Kalk entspricht. Ein Gluthauch schlägt uns entgegen, als wir an ihn herantreten. Durch ein blaues Glas, das die ärgste Strahlung zurückhält, blicken wir in den weißglühenden Schlund. Der Boden des Konverters, der jetzt leicht nach oben zeigt, ist von zahlreichen Düsen durchbrochen, durch die beim Blasen der Wind in den Schmelzfluß gepreßt wird. Wir können nicht lange verweilen. Eben hat der Kran



Die Arbeitsstellungen des Thomas-Konverters

einen Gießkübel zum Mischer gebracht. Nun wird der Mischer um seine waagerechte Achse gekippt, und das Roheisen fließt in den Kübel. Jetzt hebt der Kran den mit flüssigem Eisen gefüllten Gießkübel empor, schwenkt ihn durch den Raum dicht an uns vorüber zur Konverteröffnung, und das Eisen fließt, 1200° C heiß, in den Glutraum (Bild 28 und 29). Ein kräftiger Hebeldruck, und der Stahlkoloß richtet sich auf. Im gleichen Augenblick wird durch den Drehzapfen des Lagers Preßluft eingeblasen, und zwar in einer Menge von 500 bis 800 Kubikmetern in der Minute. Sie strömt durch den Nadelboden in den Schmelzfluß. Da nur fünfzig Zentimeter Eisen über den Düsen stehen, kann die Luft den Druck des flüssigen Eisens überwinden, und sie bahnt sich den Weg durch das glühende Eisen.

Prasselnd sprüht ein Funkenregen in den Kamin (Bild 30), der Feuer, Rauch, brennende Metallteilchen und Asche abfängt. Wenn das Roheisen aus dem Hochofen kommt, enthält es etwa 4 0/0 Kohlenstoff, bis 3 0/0 Silizium, bis 6 0/0 Mangan und bis 2 0/0 Phosphor, daneben geringe Mengen Schwefel. Zunächst verbrennen unter starker Hitzeentwicklung Silizium und Mangan zu ihren Oxyden. Die neu gebildete Hitze gleicht die Wärmeverluste bei weitem aus, die durch das Einblasen des Kaltwindes entstehen. Bald schlägt eine blendendweiße Flamme aus dem Konverter, und unter donnerähnlichem Geräusch verbrennt der Kohlenstoff zu Kohlendioxyd. Dann verebbt das Rauschen, und der Phosphor brennt ab. Durch Zusatz von Schrott in den angekippten Konverter wird zum Teil die Temperatur des Schmelzflusses reguliert, zum Teil die Zusammensetzung des Stahls beeinflußt (Bild 31).

Bereits nach fünfzehn Minuten ist das Frischen beendet und das Eisen völlig entkohlt. Klappenförmig heben sich Teile der Beschickungsbühne, auf der wir eben noch standen. Der Konverter kippt in die Tiefe. Eine hohe Funkengarbe schießt durch den Raum, und die Glutwolke be-

leuchtet die Halle. Aus dem Konverter fließt die Schlacke in einen darunter stehenden Schlackenwagen (Bild 32). Die Schlacke und das basische Futter des Konverters haben während des Frischens den Phosphor des Erzes aufgenommen. Phosphor ist ein wichtiger Pflanzennährstoff, der im Ackerboden nur in ungenügender Menge vorhanden ist und dem Boden bei landwirtschaftlicher Nutzung als künstliches Düngemittel zugeführt werden muß. Darum wird die beim Frischen anfallende Schlacke sehr fein gemahlen und gibt als „Thomasmehl“ ein Phosphordüngemittel ab, das im Herbst auf die Felder gebracht wird.

Der Konverter wird noch einmal halb aufgerichtet. Um einen Stahl mit vorgeschriebenem, geringem Kohlenstoffgehalt herzustellen, muß die Beschickung durch Zusätze von kohlenstoffreichem Spiegeleisen bis zu dem gewünschten Grade rückgekohlt werden. Es folgt noch eine kurze Blasperiode bei steil aufgerichtetem Konverter. Wieder braust ein Funkenregen in den Kamin, dann ist der Stahl fertiggestellt; der Konverter wird gekippt und der Stahl fließt in die Gießpfanne ab (Bild 33).

Schnell fährt der Gießwagen davon und bringt den Stahl in die Gießhalle. Dort stehen in der Gießgrube dicht beieinander gußeiserne Blockformen, die Kokillen. Sie ruhen auf eisernen Platten, denn sie haben keinen Boden. Nach oben verjüngen sie sich, damit sie nach dem Guß leicht von den Gießblöcken abgestreift werden können. Der Gießkübel wird über der Gießgrube eingeschwenkt. Sein Bodenloch befindet sich nun über dem Fülltrichter der Kokillen. Ein Druck auf den Hebel (Bild 34), und das Bodenloch wird freigegeben. Der Schmelzfluß sinkt durch den Trichter nach unten, verteilt sich in sternförmig angeordneten Kanälen nach allen Seiten und steigt dann in den Kokillen wieder empor. So werden die Formen vom Boden aus mit Schmelzfluß gefüllt.

Längere Zeit bleiben die Kokillen sich selbst überlassen, bis sich die Oberfläche der Gießblöcke genügend gefestigt

hat. Dann geistern Greifer von der Hallendecke nieder, fassen die Formen bei ihren Haken und streifen sie von den Blöcken ab (Bild 35). Zangengreifer fassen die glühenden Blöcke, und der Kran trägt sie davon. Wie sie an uns vorüberziehen, trifft uns ihr Gluthauch, und wir wenden uns ab. Eben senkt sich der Greifer mit dem glühenden Block. Ein zweiter Arm hebt den Deckel eines Tiefofens empor (Bild 36). Noch ein kurzer Ruck, und schon sinkt der Stahlblock in die Tiefe und verschwindet in der engen, heißen Kammer. Über ihm schließt sich der Deckel. Und nun schmort er in dem Gluthauch, den er selbst gegen die Wände strahlt.

Schrott wird Stahl

In den Konvertern des Thomasstahlwerks wird flüssiges Roheisen auf Stahl verarbeitet. Die Thomas-Stahlproduktion ist immer abhängig von der Roheisenerzeugung, und nur die vorübergehende Speicherung des flüssigen Roheisens im Mischer kann Unregelmäßigkeiten in der Anlieferung für kurze Zeit ausgleichen.

Nun finden wir aber in der Tagespresse folgende statistische Angaben über die Eisen- und Stahlproduktion in der Deutschen Demokratischen Republik:

	Roheisenproduktion	Rohstahlproduktion
1946	129 000 t	200 000 t
1947	131 000 t	273 000 t
1948	182 000 t	332 000 t
1949	250 000 t	709 000 t
1950	335 000 t	1 250 000 t
1955 (Plan)	1 250 000 t	3 000 000 t

Vergleichen wir die Zahlen miteinander, so ergibt sich die zunächst überraschende Tatsache, daß die Rohstahlproduktion die des Halbfabrikates Roheisen bei weitem übertrifft. Dieser Widerspruch wiederholt sich in den statistischen

Angaben zahlreicher anderer Länder, die nur über begrenzte Eisenerzvorkommen verfügen. Wie erklärt sich das? Wir haben bisher eine Rohstoffquelle außer acht gelassen, die zu den inneren Reserven eines jeden Industriestaates gehört, die **Altmaterialverwertung**. Unzählige Gebrauchsgeräte, Maschinen und Bauteile bestehen aus Eisen. Sie unterliegen dem täglichen Verschleiß und werden auch durch Rost zerstört. Bei der Entrümmerung unserer zerstörten Großstädte wird viel Alteisen, Schrott, geborgen. Und wieviel Alteisen wird trotz aller Altmaterialsammlungen noch immer in zahlreichen Haushaltungen gedankenlos in den Müll geworfen! Die Produktionszahlen zeigen uns aber, daß mehr als die Hälfte unserer Rohstahlproduktion aus Altmaterial gewonnen wird. Die Stahlerzeugung kann erhöht werden, wenn auch die kleinsten Gegenstände aus Alteisen nicht gedankenlos weggeworfen, sondern der Schrottsammlung zugeführt werden. Häufig besteht der Schrott aus hochwertigen legierten Stählen, und der an der Oberfläche gebildete Rost ist der gleiche Rohstoff, den wir dem Hochofen in den Eisenerzen zuführen!

Das Altmaterial der Schrottsammelplätze gelangt als Schrott zu den Siemens-Martin-Stahlwerken. Im Gegensatz zu den Thomasstahlwerken liegen sie oft weit von den Hüttenwerken entfernt. Sie verarbeiten die Masseln, die in den Gießbetten neben den Hochöfen erstarrt sind.

Von weitem schon fallen uns die Siemens-Martin-Werke durch die riesigen Schrottlagerplätze auf; Abfalleisen ist ein sperriges Gut. Da türmen sich Konservendosen zu Bergen, leere Eimer und Kübel beanspruchen viel Platz, Karosserien liegen in buntem Durcheinander, und unbrauchbar gewordene Maschinen aller Art geben sich hier ein Stelldichein.

Kranbrücken überspannen den Lagerplatz, und mit Kränen werden die Eisenbahnloren, die den Schrott anrollen, entladen. Eben senkt sich ein Lastmagnet über einer beladenen

Lore nieder. Der Kranführer schaltet den elektrischen Strom ein, der durch ein Kabel in den Lastmagneten fließt. Ein magnetisches Kraftfeld bildet sich. Schrott wird emporgerissen. Klirrend und krachend klatscht er gegen die Deckplatte des Magneten und bleibt an ihr kleben. Schon bewegt sich der Magnet nach oben und zieht mit seiner schweren Last über unseren Köpfen dahin. Unwillkürlich zieht man den Kopf ein, wenn man die schweren Eisenbrocken nur wie angeklebt an der Deckplatte haften sieht. Aber der Magnet läßt die aufgenommenen Stücke nicht eher wieder los, als bis der Kranführer den Strom ausschaltet und damit das magnetische Feld beseitigt. Dann stürzen die Eisenmassen, sich in der Luft überschlagend, herab.

Nicht immer kann der Lastmagnet seine spielerisch anmutende Tätigkeit verrichten. Es gibt Stähle mit hohem Mangangehalt, die nicht magnetisch sind; ihnen gegenüber ist der Lastmagnet machtlos. Da muß der Polypgreifer helfen, der mit starren, langen Krallen in den sperrigen Schrott fährt, ihn emporreißt und davonträgt.

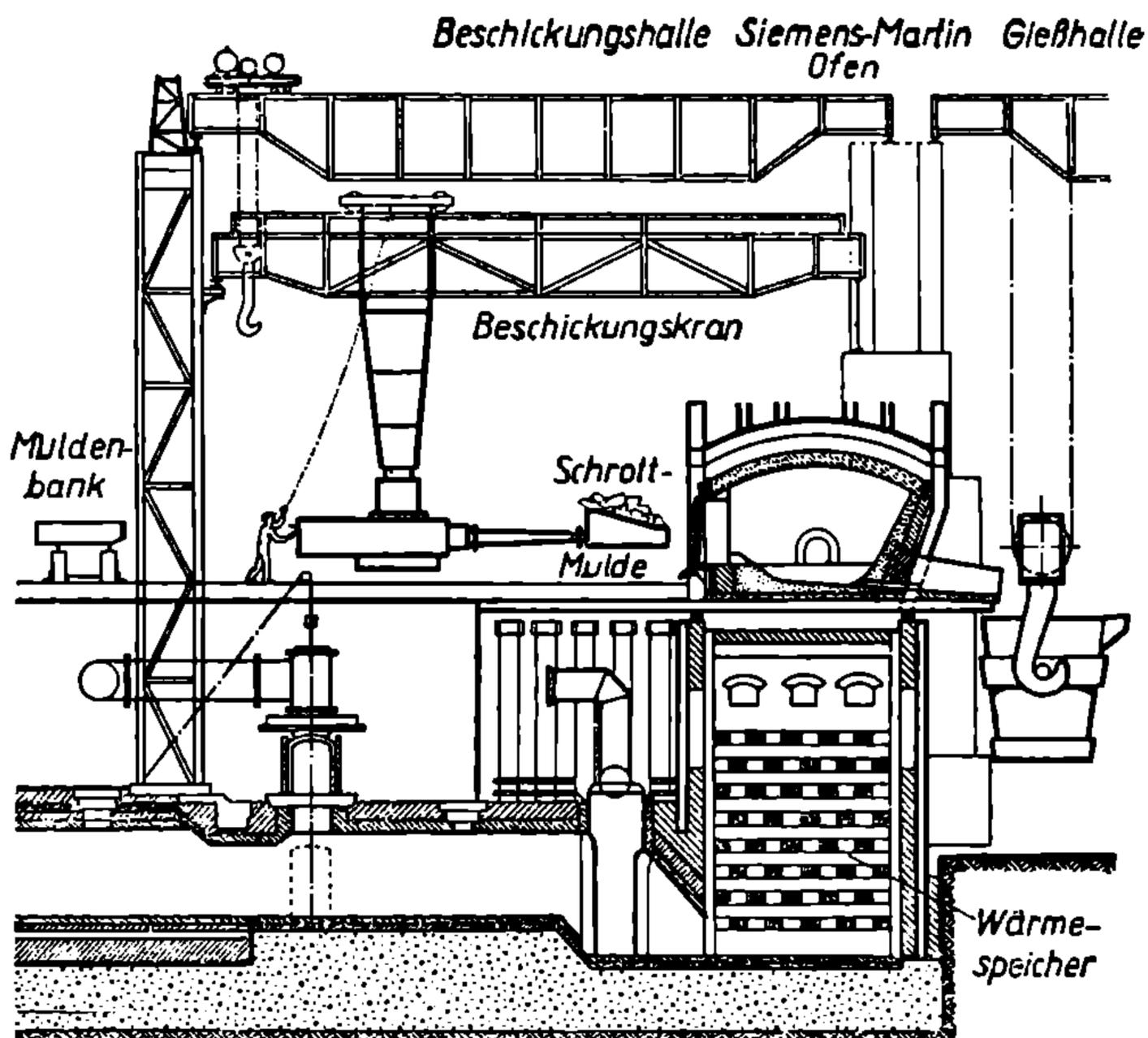
„Was werdet ihr Stahlwerker wohl mit diesen langen Eisenträgern anfangen und mit jenen umfangreichen Brocken, die niemals durch die kleine Tür der Schmelzöfen passen?“ fragen wir unseren Begleiter. „Macht euch nur keine Sorgen! Damit werden wir ‚spielend‘ fertig!“ Schon rasselt ein Fallwerkkran auf der Kranbrücke heran. Er hält unmittelbar über den großen Stahlteilen. An der Deckplatte seines Lastmagneten hängt eine Eisenkugel; man sieht ihr nicht an, daß sie zehn Tonnen wiegt. Der Kranführer unterbricht die Stromzufuhr. Da stürzt die Fallkugel herab. Mit unerbittlicher Wucht fällt sie auf das stählerne Wrack nieder und zerschlägt es in Stücke. Schon sinkt der Lastmagnet herab, nimmt die Fallkugel wieder auf, und das Spiel wiederholt sich so lange, bis der Schrott in handliche Stücke zerschlagen ist.

Der Stahlwerker des Schrottplatzes hat noch andere Sorgen. Was soll er mit all den Konservenbüchsen, den Blech-

kanistern und Eimern, dem sperrigen Draht und Blech anfangen? Nur wenig davon paßt in den Schmelzofen, und die Stahlausbeute wäre dann auch außerordentlich gering. Wollte man den Ofen aber wiederholt öffnen und füllen, so ginge viel Strahlungswärme verloren, und es würden Heizstoffe nutzlos vergeudet. Wie hilft man sich? Wir folgen dem Polypgreifer, dessen Klauen eben ein wirres Bündel sperrigen Schrotts umklammert haben. Er bringt es zur Paketierpresse und läßt das klappernde und polternde Gut in den Preßkasten fallen. Ein Stempel drückt es zusammen, fester und immer fester. Das Eisen knirscht und kreischt, und Büchsen, Eimer, Kotflügel und Gehäuse werden glatt zusammengequetscht. Dann preßt, während die Preßplatte in ihrer Lage verharrt, ein zweiter Stempel mit voller Wucht den Schrott von der Seite gegen die starren Wände des Preßkastens. Nun bildet der Schrott ein festes Paket, das nicht mehr auseinanderfällt, wenn der Stempel es aus dem Preßkasten herausstößt. Es ist fertig zum Einschmelzen und wird ebenso wie der dichtere Schrott in Beschickungsmulden geladen, die großen, eisernen Löffeln ähneln (Bild 37 und 39).

Jetzt stehen wir in der düsteren Beschickungshalle des Siemens-Martin-Stahlwerks. Eine Hängebahn bringt die mit Schrott, Masseln und Kalkzuschlägen gefüllten Beschickungsmulden heran und setzt sie nebeneinander auf die Muldenbank (Bild 37, linke Seite) der Halle. In langer Reihe stehen die Siemens-Martin-Öfen da und grenzen die Beschickungshalle von der Gießhalle ab (Bild 37). Ist das Stahlwerk noch direkt mit einem Hüttenwerk verbunden, dann werden die Öfen gleich mit flüssigem Roheisen beschickt. Es fließt aus dem Gießkübel in die Gießrinne, die auf einem Stahlbock schräg gelagert ist und in den Schmelzraum des Ofens ragt (Bild 38).

Der Beschickungskran jagt durch die Halle heran. Mit einem Ruck bleibt er stehen und nimmt mit seinem Ausleger, dem Schwengel, eine jener Beschickungsmulden auf,

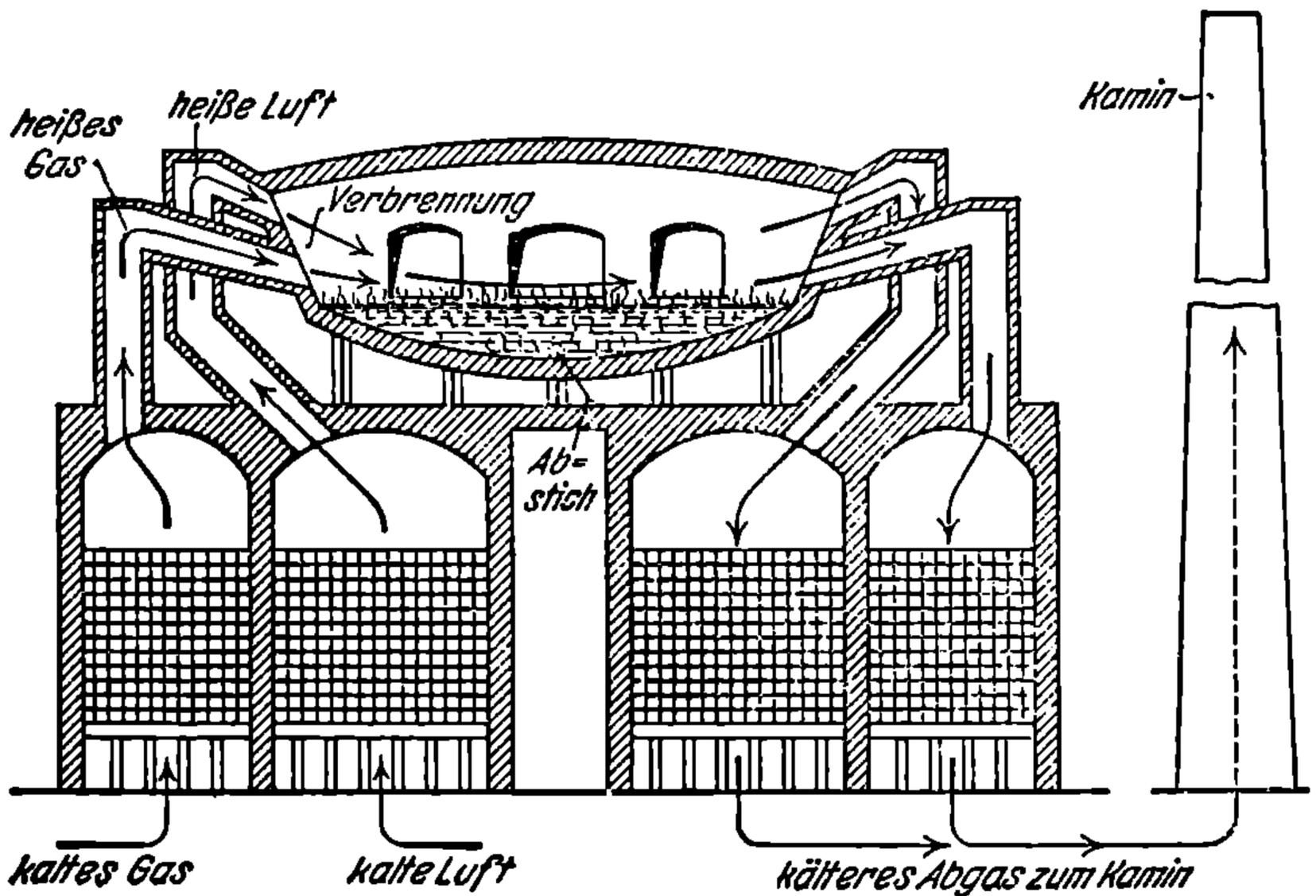


Schnitt durch ein Siemens-Martin-Werk
mit Querschnitt durch einen Siemens-Martin-Ofen

die von der Hängebahn herangebracht worden sind. Ketten rasseln und ziehen die Tür eines Siemens-Martin-Ofens für kurze Zeit in die Höhe (Bild 39). Inzwischen dreht sich der Kran um 180 Grad. Jede Bewegung ist auf das Genaueste bemessen. Kein Augenblick an Zeit darf verloren gehen! Schon schiebt sich der Schwengel mit der Beschickungsmulde in den Ofen. Ein Ruck, und die Mulde kippt ihren Inhalt aus (Bild 39). Durch Schaugläser blicken wir in den weißglühenden Ofen und sehen, daß die Beschickung in eine flache, tellerförmige Schmelzwanne fällt, in der sich das geschmolzene Eisen sammelt. Die äußeren Unterschiede zwischen Thomasstahlwerk und Siemens-Martin-Stahlwerk haben wir kennengelernt. Das eine verarbeitet den Schmelzfluß des Hochofens, das andere

überwiegend Masseln und Schrott. Das eine liegt neben der Hütte, das andere oft weit entfernt von ihr. Aber auch in der Arbeitsweise unterscheiden sich beide Verfahren grundlegend. Da fällt zunächst die unterschiedliche Ofenleistung auf. Die Konverter des Thomasstahlwerks fassen etwa 35 Tonnen Roheisen, die Siemens-Martin-Öfen bis 300 Tonnen. Aber im Konverter folgen die Schmelzen rasch aufeinander, während der Vorgang im Siemens-Martin-Ofen etwa 6 bis 12 Stunden dauert. So dient der Thomas-Stahlprozeß zur rasch ablaufenden Massenfabrikation von Stahl, während im Siemens-Martin-Prozeß mehr auf die Qualität des Stahles geachtet werden kann. Der zweite Unterschied betrifft die verschieden weit getriebene Entkohlung. Im Konverter wird der Kohlenstoff durch das „Windfrischen“ so schnell oxydiert, daß das Eisen zunächst vollkommen entkohlt wird und nachträglich auf den gewünschten Kohlenstoffgehalt rückgekohlt werden muß. Die lange Frischperiode im Siemens-Martin-Ofen gibt dagegen bessere Kontrollmöglichkeiten. Man kann Proben entnehmen und untersuchen. Man kann das Fortschreiten der Entkohlung im Roheisen überwachen und beim gewünschten Kohlenstoffgehalt des Rohstahls unterbrechen. Auf diese Weise spart man einen Arbeitsgang. Außerdem kann man der Beschickung Nickel, Chrom, Wolfram und andere Legierungsbestandteile zufügen und so legierte Stähle bestimmter Zusammensetzung erschmelzen.

Der dritte Unterschied betrifft die Wärmezufuhr. Der Thomaskonverter braucht nicht beheizt zu werden. Mit etwa 1200° C gelangt das flüssige Roheisen in den Konverter, und durch die rasch verlaufenden Oxydationsprozesse steigt die Temperatur des Stahlflusses schließlich auf 1650° C. Im Siemens-Martin-Ofen muß man aber die Masseln erst aufschmelzen; deshalb muß der Ofen mit Heizgasen befeuert werden. Wie in der Kokerei, so befinden sich auch hier unter den Öfen große Wärmespeicher, die mit einem Gitterwerk feuerfester Steine ausgelegt sind.



Längsschnitt durch einen Siemens-Martin-Ofen mit Wärmespeichern

So wird die Hitze der Abgase auf das Verbrennungsgemisch übertragen. Während die Abgase des Ofens die Gittersteine der Wärmespeicher 3 und 4 auf Rotglut erhitzen, überträgt sich die Hitze des Steingitters im Speicher 1 auf die durchstreichenden Heizgase und im Wärmespeicher 2 auf die Verbrennungsluft. Beide vereinigen sich, stark erhitzt, im Ofenraum, dessen Temperatur durch die Vorwärmung um mehrere hundert Grad ansteigt. Nun kann die Gasflamme, die über die Schmelzwanne schlägt, nicht nur das Masseisen, sondern auch den schwer schmelzbaren Schrott verflüssigen.

Schließlich unterscheiden sich beide Verfahren auch durch die Sauerstoffquelle. Die chemischen Vorgänge beim Windfrischen im Konverter und beim Herdfrischen im Siemens-Martin-Ofen sind Oxydationsprozesse. Es werden die Beimengungen des Roheisens (Schwefel, Silizium, Mangan,

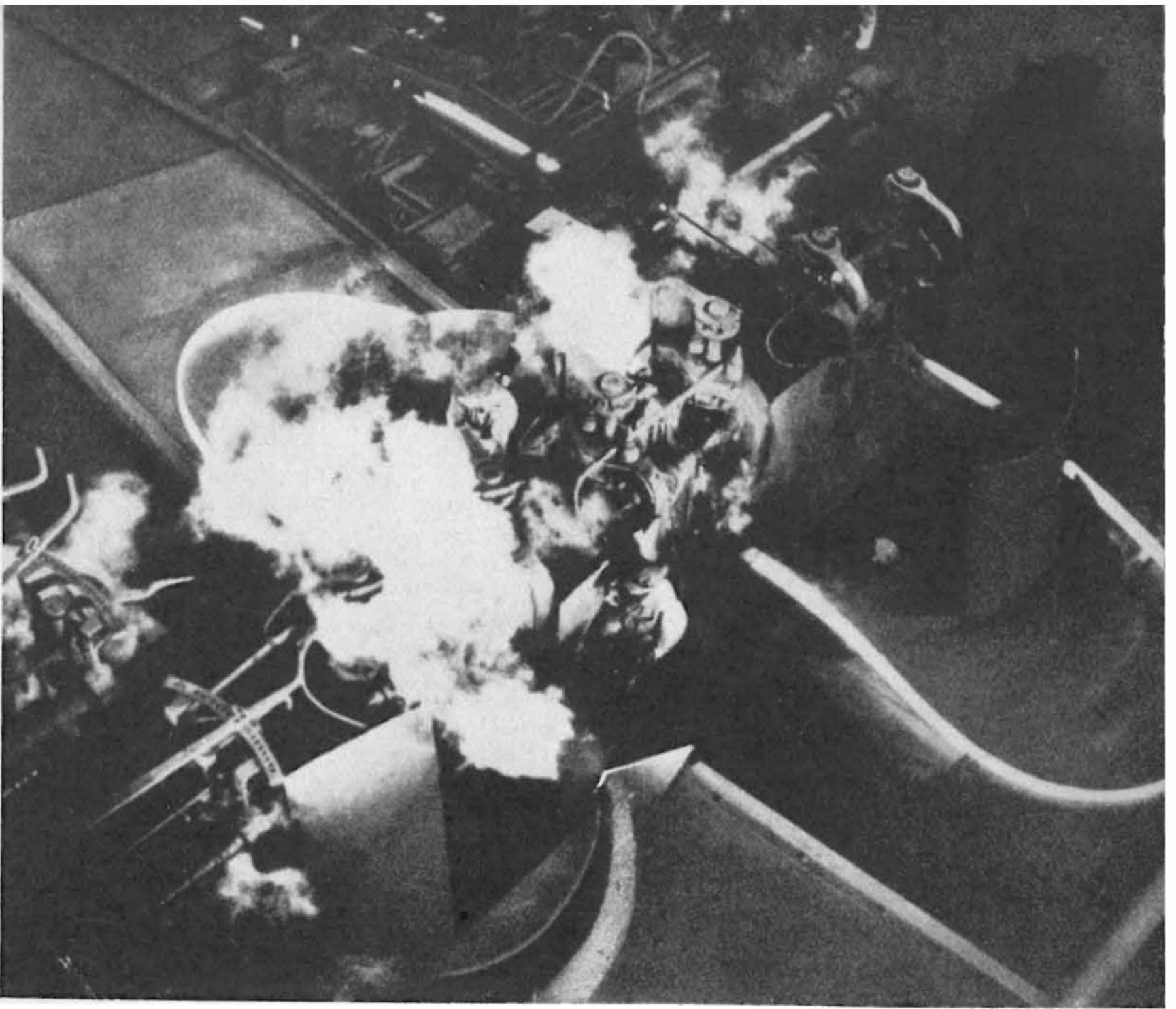
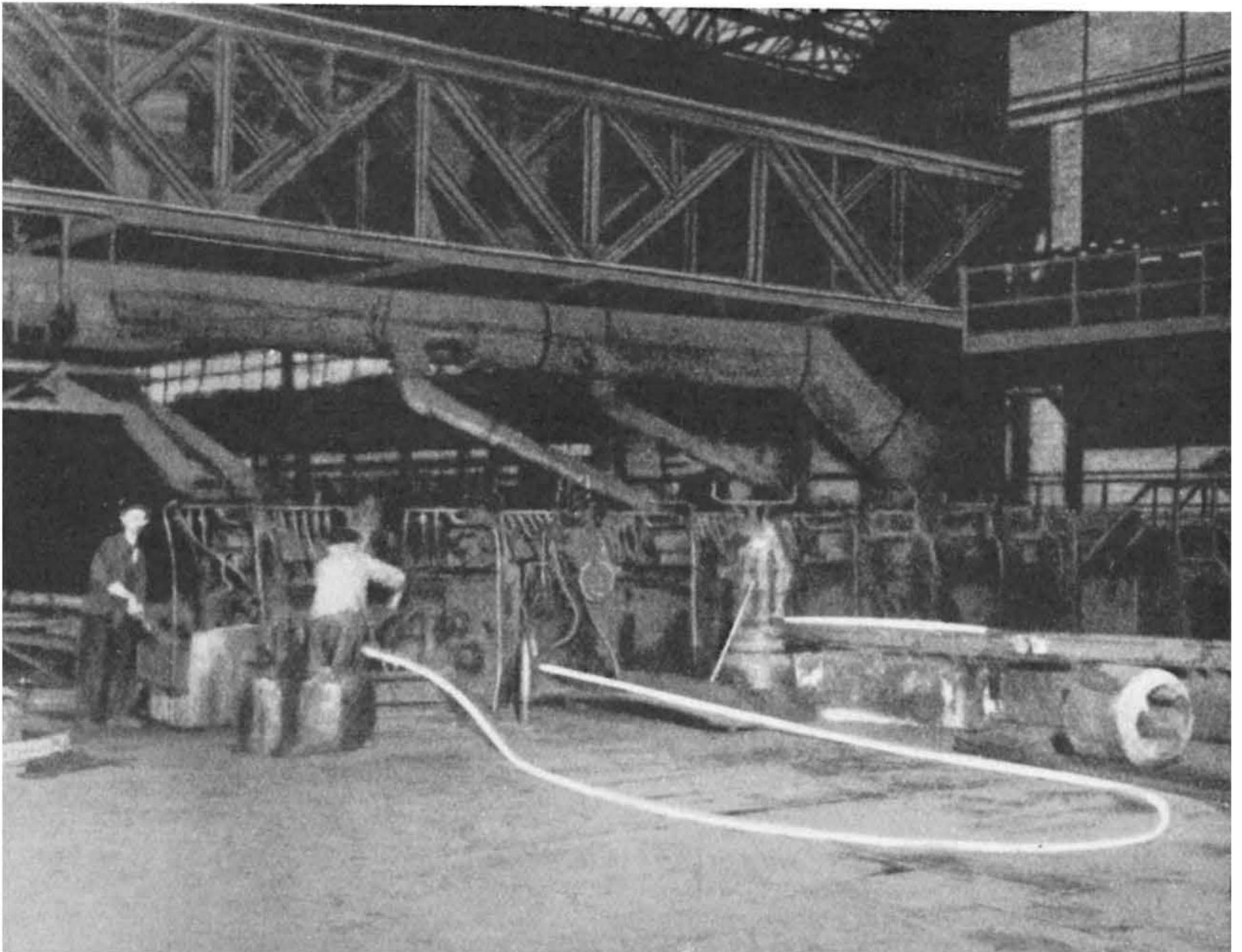


Bild 65 Bandeisenwalzwerk

Bild 66 Drahtwalzwerk



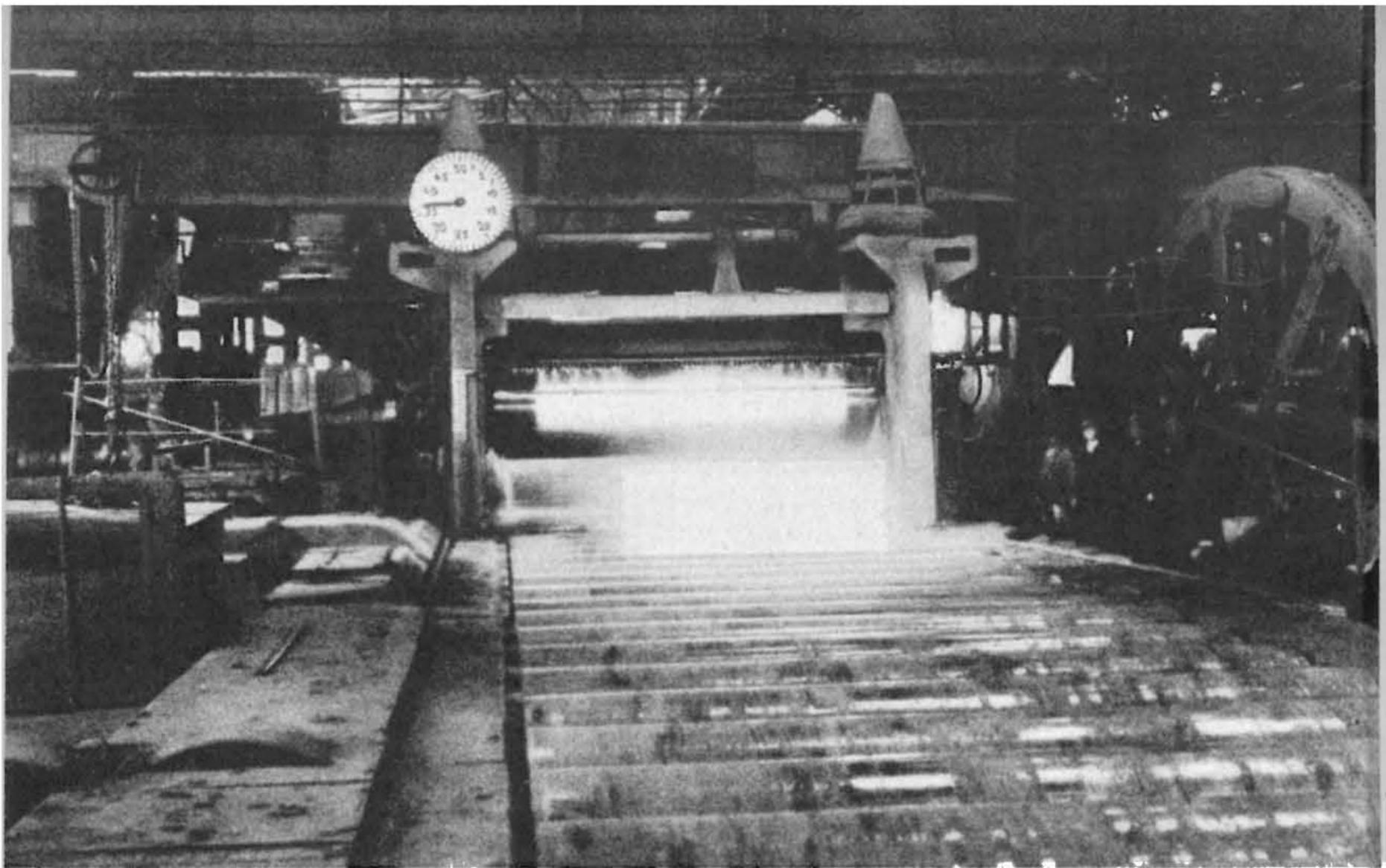
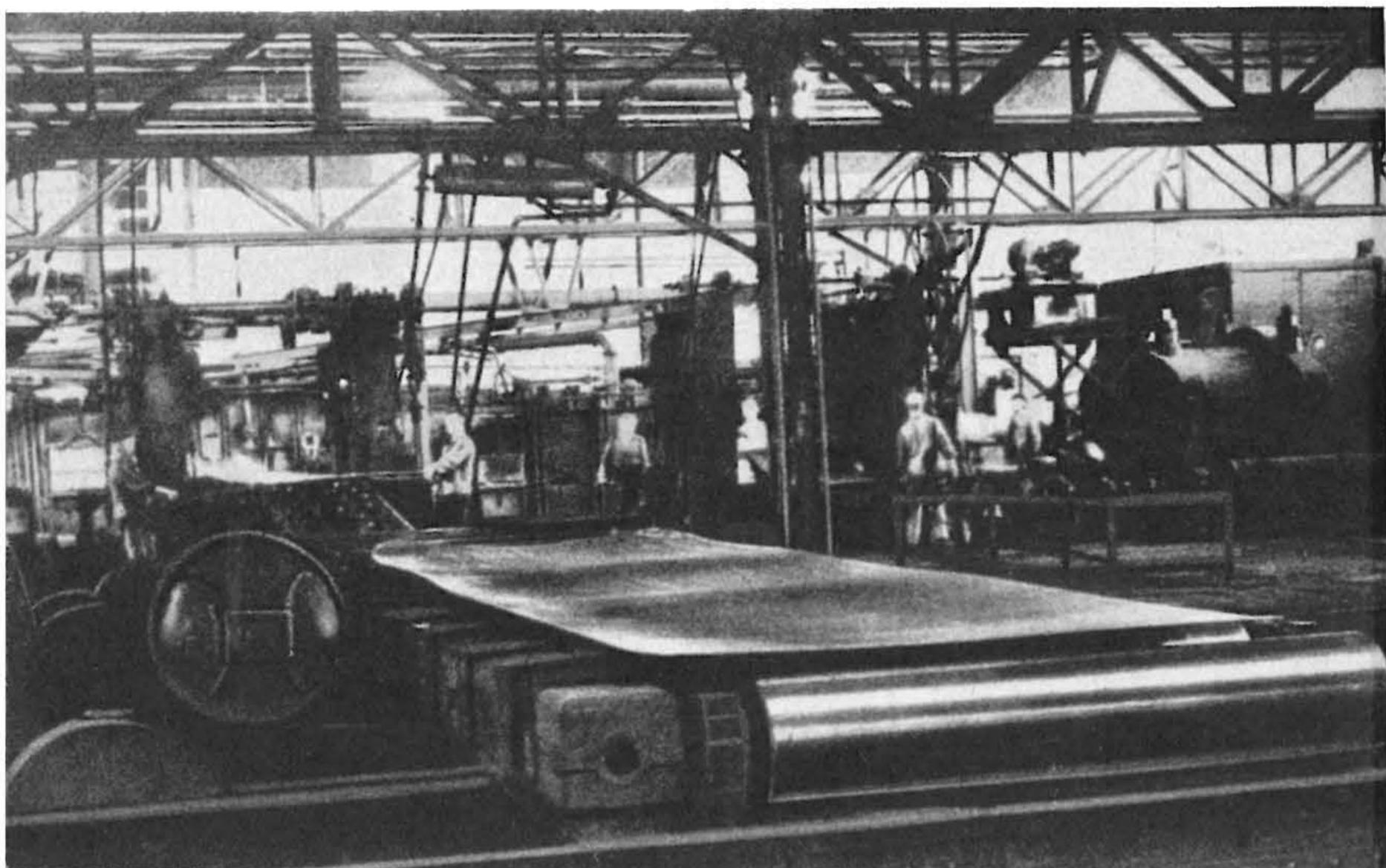


Bild 67 Walzgerüst in einem Grobblechwalzwerk.

Bild 68 Feinblechwalzwerk



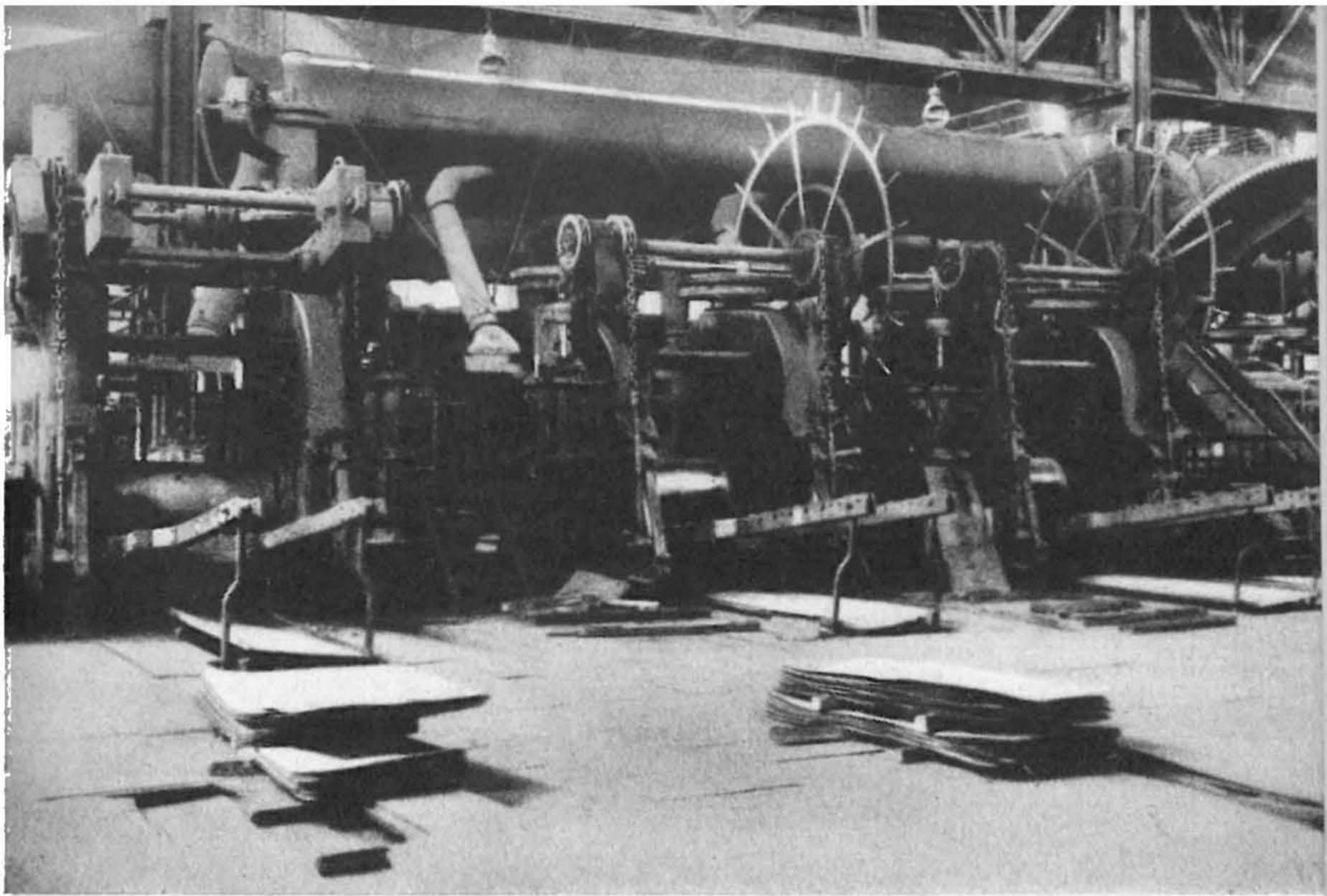
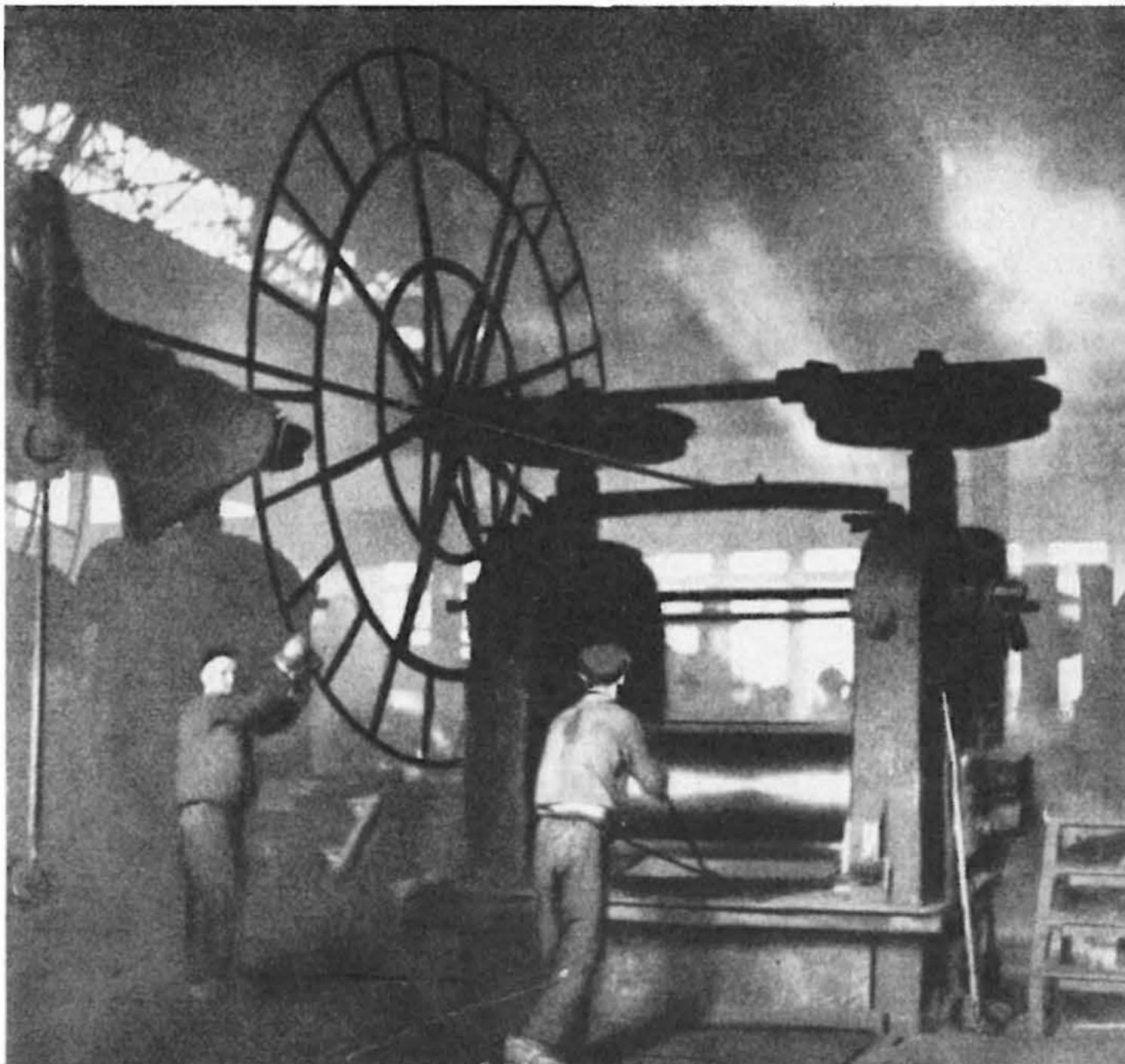


Bild 69 Walzgerüst für Qualitätsbleche mit Wipptischen.

Bild 70 Warmblechwalzwerk für Karosseriebleche.



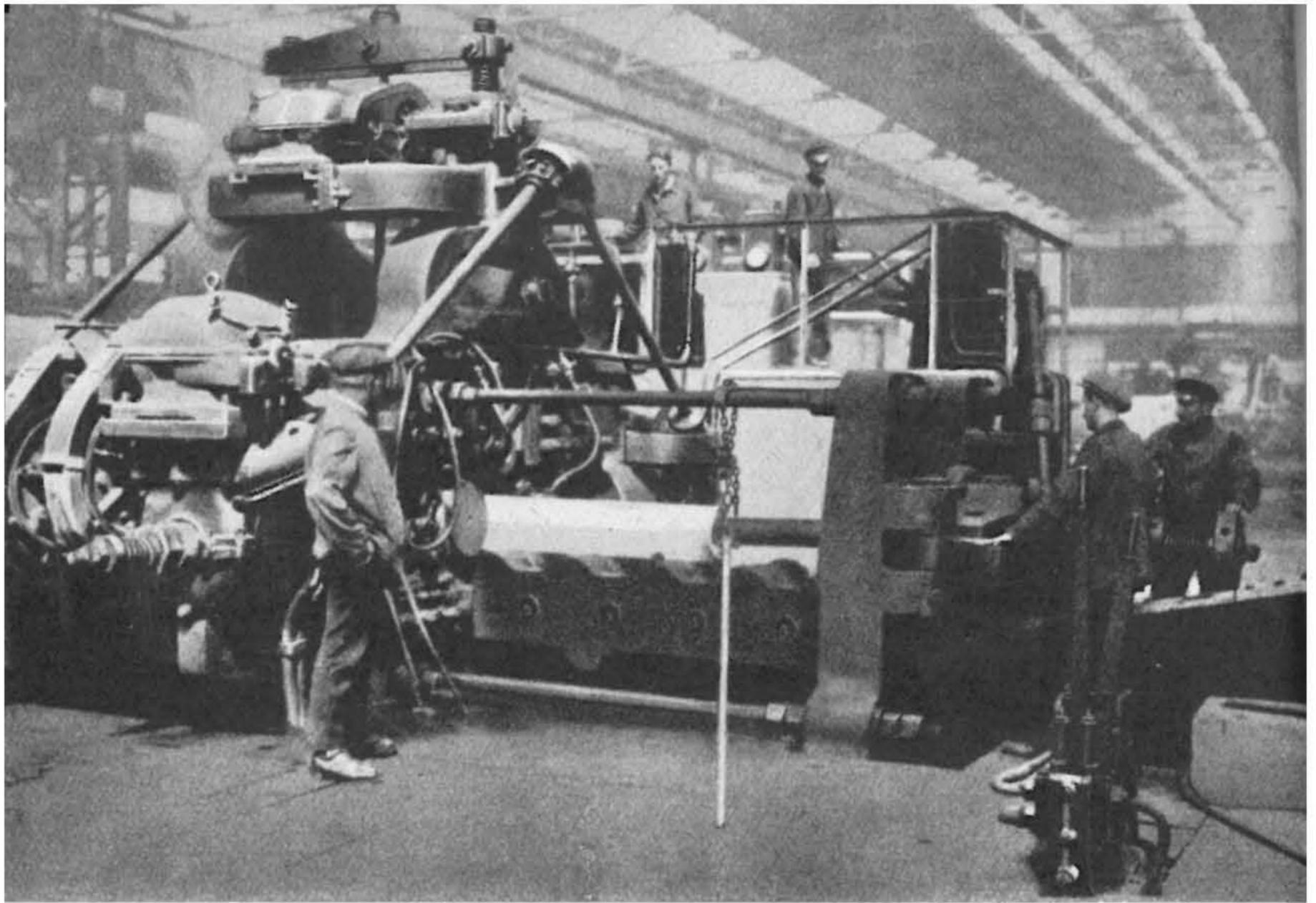
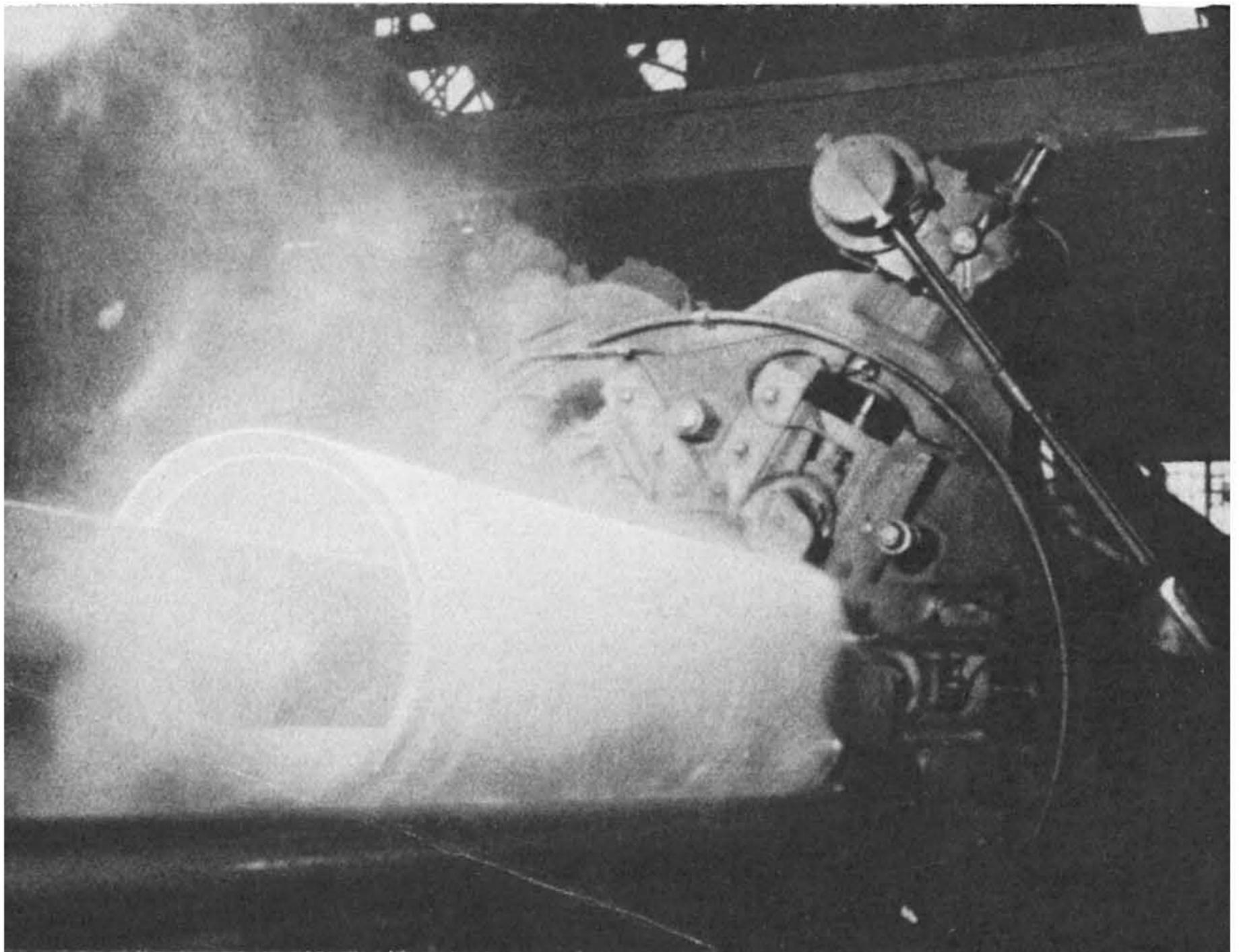


Bild 71 Schrägwalzwerk

Bild 72 Radialwalzwerk



Phosphor und Kohlenstoff) im Konverter durch den Sauerstoff des Gebläsewindes oxydiert. Im Siemens-Martin-Ofen wirken sowohl der Sauerstoff der Verbrennungsluft als auch derjenige des Rostes oxydierend. Man beschickt daher den Ofen im Roheisen-Schrott-Prozeß mit 20 bis 35 0/0 Masseisen und 80 bis 85 0/0 Schrott. Fehlt es an Alteisen, so wird der Schrott im Roheisen-Erz-Prozeß durch oxydische Eisenerze ersetzt.

Die Siemens-Martin-Öfen ruhen bei größerem Fassungsvermögen auf Kugellagern und können gekippt werden. Beim Abstich senkt sich die vordere Partie mit der Abstichrinne (Bild 40). Dann fließt die Stahlschmelze als Flußstahl in die Gießpfanne (Bild 41), und ein Sternchenregen verbrennender Eisenteilchen erfüllt die Luft über der Abstichrinne.

Die Veredlung des Stahls im Elektrostahlwerk

Der Thomasstahl und der Siemens-Martin-Stahl können nun auf Fertigprodukte verarbeitet werden, sofern sie nicht durch Umschmelzen in ihren Eigenschaften noch verbessert werden müssen; denn infolge Weiterentwicklung der Technik werden heute in steigendem Maße hochbeanspruchte Stähle verlangt, die sich durch ganz besondere Reinheit ihrer Zusammensetzung auszeichnen müssen. Dann ist es nötig, den im Thomas- und Siemens-Martin-Verfahren hergestellten Rohstahl durch Nachraffinieren im Elektrostahl-Verfahren zu reinigen (Bild 42). Besonders ungünstig wirkt sich vor allem ein Restgehalt an Phosphor und Schwefel aus. Schwefel macht den Stahl rotbrüchig, das heißt, der Stahl bricht dann sehr leicht bei Rotglut. Und Phosphor macht den Stahl kaltbrüchig. Der relativ phosphorreiche Thomasstahl ist zwar ein ziemlich guter, verschleißfester Schienenstahl. Er neigt aber zur Kaltversprödung und ist ziemlich empfindlich gegenüber Schlagbeanspruchung. Man kann ihn daher nicht ohne

weiteres für hochbeanspruchte Bauelemente oder im Schiffbau verwenden. Durch Nachraffinieren im Elektrostahlofen wird jedoch der Gehalt an Phosphor und Schwefel sehr stark herabgesetzt. Die Heizung durch elektrischen Strom ist zwar die teuerste Form der Beheizung eines Ofens, aber sie gibt die Gewähr, daß die Stahlschmelze nicht von neuem durch Bestandteile der festen Brennstoffe oder der Heizgase verunreinigt wird.

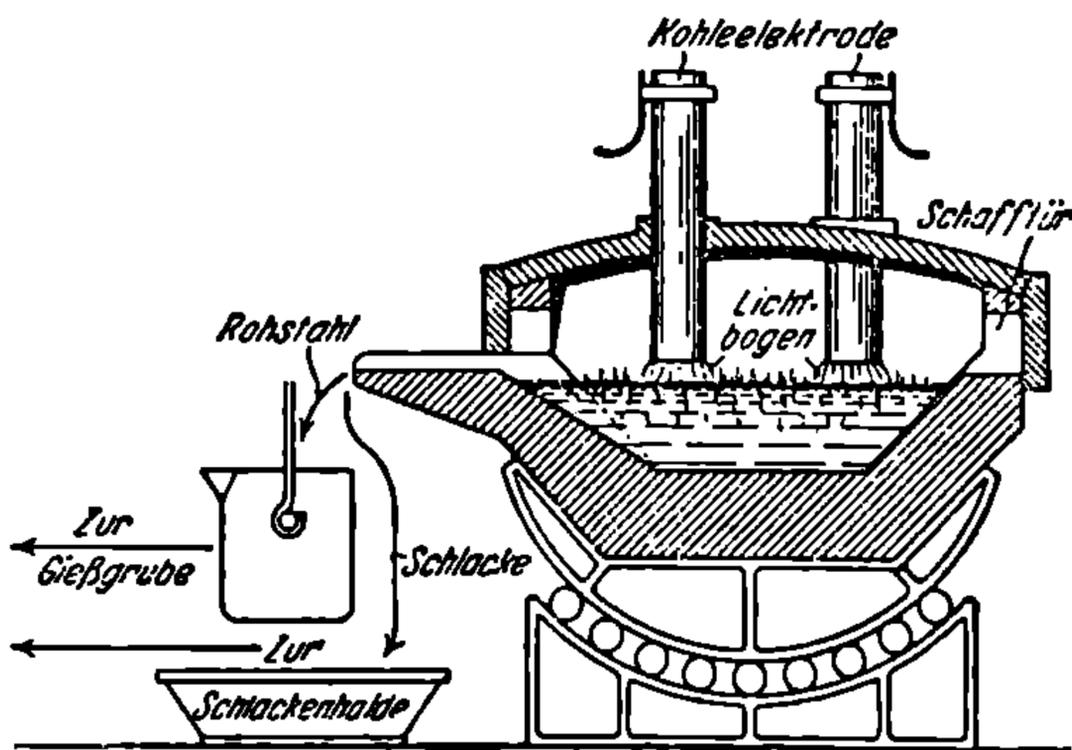
Der Elektrostahlofen kann mit festem Einsatz oder mit flüssigem Thomas- und Siemens-Martin-Stahl beschickt werden. Um Strom zu sparen, beschickt man ihn meist mit flüssigem Rohstahl aus dem Thomaskonverter oder dem Siemens-Martin-Ofen, und nur die Feinung wird im Elektroofen durchgeführt. Gibt man festen Einsatz in den Ofen, so muß die Beschickungszeit möglichst verkürzt werden, um allzugroße Wärmeausstrahlungen zu vermeiden. Darum füllt man den Rohstahl häufig in Körbe aus Blech oder Bandeisen, hebt die Ofendecke ab und setzt die Körbe als Ganzes in den Ofen.

Gelingt es, die Beschickungszeit abzukürzen, so wird damit gleichzeitig die Zahl der Schmelzen jedes Ofens erhöht. Der durch Windfrischen im Thomaskonverter und der durch Herdfrischen im Siemens-Martin-Ofen gewonnene und im Elektrostahlofen umgeschmolzene Stahl verlassen die Öfen in leichtflüssigem Zustande. Man faßt sie unter der Bezeichnung „Flußstahl“ zusammen.

Durch Nachschmelzen im Elektroofen erhält man zunächst einmal unlegierte Stähle, die Kohlenstoffstähle, von besonderer Reinheit. Niedrig legierte Stähle mit weniger als fünf Prozent Legierungsbestandteilen werden teils im Siemens-Martin-Ofen, vorwiegend aber im Elektrostahlofen verschmolzen; sie werden als Qualitätsstähle bezeichnet. Die hochlegierten Stähle, die mehr als 5 0/0 Legierungsbestandteile enthalten und die als Edelstähle bezeichnet werden, gewinnt man nur im Elektroofen. Sie werden besonders in kleinen Ofeneinheiten (Bild 43 und 44)

erschmolzen, während die großen Öfen zur Herstellung von Qualitätsstählen dienen (Bild 45, 46, 47). Daher kennen wir Elektrostahlöfen in den verschiedensten Formen und Größen.

Die Eigenschaften des Stahls werden sowohl durch Kohlenstoff als auch durch zahlreiche Metalle grundlegend verändert. Es entstehen dann Mischmetalle, die Legierungen, die charakteristische, neue Eigenschaften aufweisen. Meist



Elektrostahlöfen im Schnitt

setzt man die Legierungsmetalle in Form hochprozentiger Ferrolegierungen zu, z. B. Ferrochrom mit 12 bis 80 % Cr, Ferromolybdän mit 50 bis 90 % Mo, Ferrowolfram mit 60 bis 80 % W, Ferrovandän mit 50 bis 80 % V und Ferrotitan mit 40 bis 45 % Ti.

Nickel erhöht die Zähigkeit des Stahls und setzt bei höherem Nickelgehalt gleichzeitig die Ausdehnung beim Erwärmen stark herab. Invarstahl mit 36 % Nickel dient daher zur Herstellung von Präzisionsinstrumenten für die Meßtechnik. Chrom härtet den Stahl. So werden die Kugellager aus Chromstahl gebildet. Chromnickelstahl vereinigt in sich die Zähigkeit des Nickelstahls mit der Härte des Chromstahls; er ist der Rohstoff für Kurbelwellen, Zahnräder, Achsen und Ventile. Chromnickelstahl

wird außerdem von Luftfeuchtigkeit nicht angegriffen; er bildet die bekannten nichtrostenden Stähle für Haus- und Küchengeräte (Nirosta).

Wolframstahl ist warmbeständig. Während gewöhnlicher Stahl bereits beim Erhitzen auf 200 bis 300° C stark an Festigkeit verliert, bewahrt der Wolframstahl auch noch bei beginnender Rotglut seine natürliche Härte und behält bis 500° C unverändert seine Schneidkraft. Als Schnellarbeitsstahl für die Schneidwerkzeuge von Drehbänken hat er eine besondere Bedeutung. Bei seiner Anwendung kann man die Schnittgeschwindigkeit derart steigern, daß die abgeschälten Späne mit 200° C vom Werkstück ablaufen. Bei dieser Temperatur hat das Werkstück bereits stark an Festigkeit verloren, während Festigkeit und Schneidkraft des Werkzeugs noch voll erhalten sind. Mit dem Schnellarbeitsstahl kann man daher nicht nur schnell arbeiten, sondern man muß hohe Schnittgeschwindigkeiten anwenden, wenn man die Vorteile dieses Spezialstahls voll auswerten will. Dadurch werden die Arbeitsleistungen beträchtlich erhöht.

Molybdän und Vanadin wirken in ähnlicher Weise wie Chrom. Vanadinstahl zeichnet sich durch außerordentliche Feinheit des Kornes aus, und man erreicht bei seiner Anwendung erhebliche Gütesteigerungen bei Werkzeug- und Federstählen. Da die Vanadinstähle leicht und sehr hart sind und auch bei hohen Betriebstemperaturen noch hohen Druck aushalten, werden sie in der Automobilindustrie und als Baustähle für hochbeanspruchte Maschinenteile viel verwendet. Molybdän-Vanadin-Stähle sind die Werkstoffe für Kurbelwellen, Schrauben und Bolzen.

Manganstähle sind besonders elastisch. Sie sind die bevorzugten Werkstoffe für Eisenbahnräder und Weichen, für Gewindebohrer, Ambosse, Brikettpressen, Gasflaschen und Baggerteile. Kobalt-Wolfram-Stähle zeichnen sich durch besonders gute magnetische Eigenschaften

aus und dienen zur Herstellung permanenter Magnete, also solcher, die den Magnetismus dauernd behalten sollen. So wird also heute durch Legierungszusätze der verschiedensten Art der Werkstoff **S t a h l** in seinen Eigenschaften weitgehend beeinflußt und den einzelnen Verwendungszwecken angepaßt. Dem Elektrostahlwerker ist es vorbehalten, die Industrie mit solchen spezialisierten Edeltählen zu versorgen, dem Stahl immer neue Anwendungsgebiete zu erschließen und die Qualität des Stahles entsprechend den gesteigerten Anforderungen der modernen Technik weiter zu heben.

Ein Blick durchs Mikroskop ins Stoffgefüge

Äußerst wichtig ist das Gefüge von Eisen und Stahl. Wollen wir Einblick in dieses Gefüge nehmen, so sind langwierige vorbereitende Arbeiten erforderlich. Zunächst sägen wir mit einer Bandsäge eine Probescheibe des zu untersuchenden Werkstücks ab. Diese wird mit einer Feile vorgeglättet und dann auf der Schleifbank geschliffen. Wir halten sie unter leichtem Druck an die sich drehenden Schleifscheiben. Anfangs nehmen wir solche mit gröberer Körnung und gehen später allmählich zu Schleifscheiben mit feinstem Korn über. So erhalten wir schließlich eine glatte Fläche, die frei von Rissen ist. Nun beginnt das Polieren auf Scheiben, die mit weichen Tüchern bespannt sind. Als Poliermittel wird auf diese Tücher feinste geschlämmte Tonerde aufgespritzt. Es entsteht ein Schliff mit spiegelnder Oberfläche. Prüfen wir den Schliff unter dem Mikroskop selbst bei starken Vergrößerungen, so erkennen wir noch immer nicht das Gefüge des Stahls, denn dessen einzelne Bestandteile heben sich nicht voneinander ab. Wir müssen den Schliff vorher mit Ätzmitteln behandeln. Ihre Wirkung auf die einzelnen Bestandteile des Gefüges ist unterschiedlich, so daß sie verschieden stark gelöst werden. Auf dem anfangs glatten Schliff entsteht ein leichtes

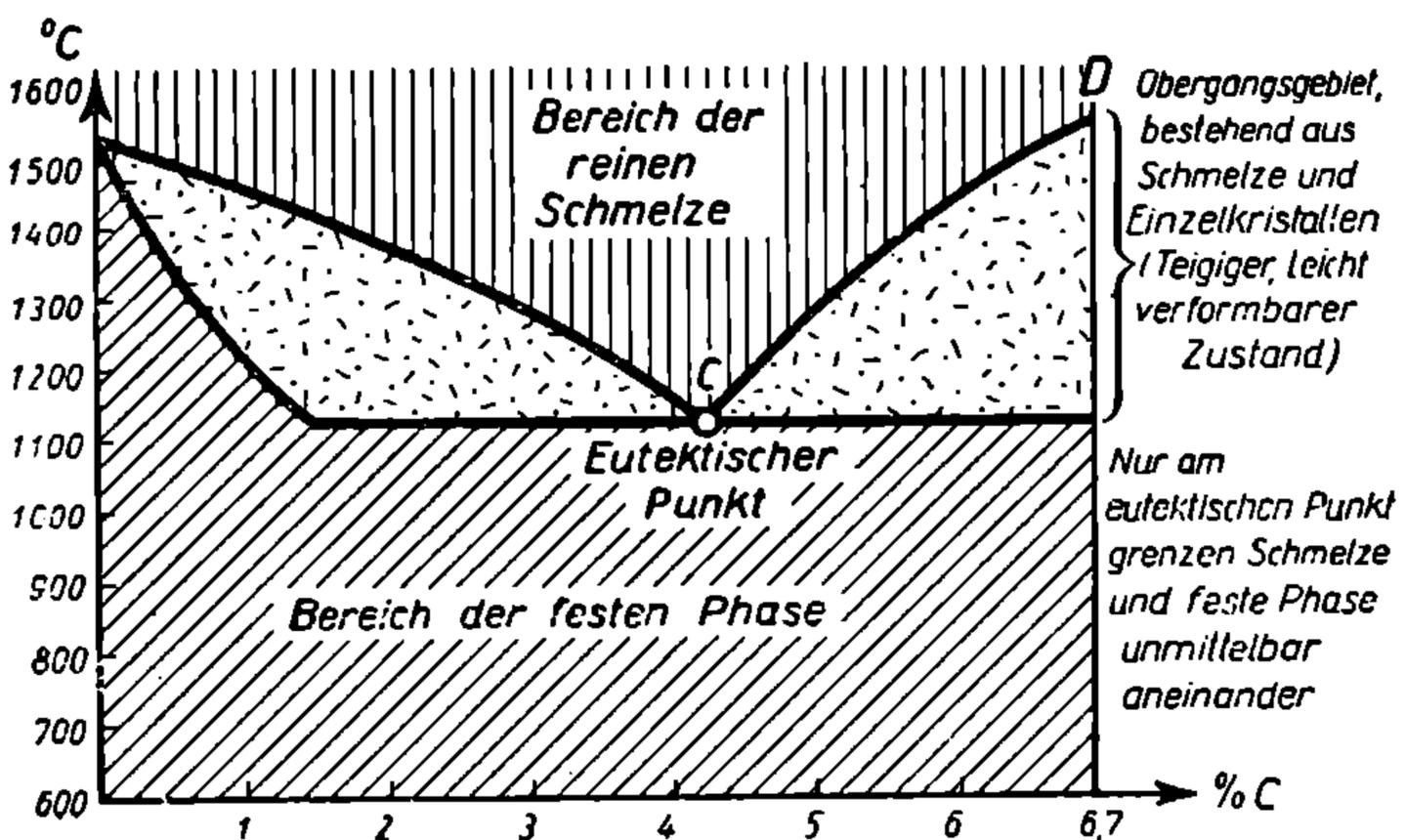
Relief, in dem sich bei seitlicher Beleuchtung die Begrenzungslinien der Einzelteile durch Schatten markieren. Außerdem wird einfallendes Licht in verschiedener Weise reflektiert, und die Bestandteile heben sich voneinander ab.

In jedem Lehrbuche und auf jedem Arbeitsplatz des Stahlwerkers finden wir das Zustandsdiagramm der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen (Bild 48) als arbeitstechnische Grundlage. Es ist ein System von Linien und Kurven, das dem Fachmann wichtige Hinweise auf die Gefügebildung gibt. Wir wollen versuchen, in dieses Geheimnis des Stahlwerkers ein wenig einzudringen. Und das ist gar nicht so schwer und auch nicht so uninteressant, wie es im ersten Augenblick scheinen könnte.

„Zustandsdiagramm“ bedeutet: Schaubild, aus dem wir den festen, flüssigen oder gasförmigen Zustand der Legierungen ablesen können. Der Zustand aber ist von der Temperatur und vom Kohlenstoffgehalt abhängig. Diese beiden Größen bestimmen gleichzeitig wesentlich das Gefüge der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen. So können wir auch das Gefüge aus dem Zustandsschaubild ablesen. Um die Abhängigkeit von Temperatur und Kohlenstoffgehalt darzustellen, nehmen wir Millimeterpapier zur Hand. Wir begrenzen das Kurvenbild links durch eine senkrechte und unten durch eine waagerechte Linie. Die Senkrechte, die Ordinate, gibt uns die Temperatur an. Wir beginnen im Schnittpunkt beider Linien mit 600°C , wählen als Einheit für 100° einen Zentimeter und tragen die Temperaturen bis 1600°C auf. Auf der Waagerechten, der Abszisse, tragen wir den Kohlenstoffgehalt auf und zwar von 0 bis $6,7\%$.

Nun tragen wir in dem Kurvenfeld die Schmelzpunkte aller nur denkbaren Eisen-Kohlenstoff-Legierungen ein. Wir beginnen mit dem Schmelzpunkt des reinen Eisens, dem Punkt *A*, bei 1528°C . Mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt sinkt der Schmelzpunkt und erreicht im Punkt *C*,

dem eutektischen Punkt, mit 1145°C seinen tiefsten Wert bei einem Gehalt von $4,3\%$ Kohlenstoff. Bei höherem Kohlenstoffgehalt steigt er wieder steil an und erreicht bei $6,7\%$ C den Schmelzpunkt D des Eisenkarbids Fe_3C . Das Eisenkarbid ist keine Legierung mehr; es ist eine Kohlenstoff-Eisen-Verbindung mit einer feststehenden chemischen Formel und damit auch mit einer feststehenden Zusammensetzung. Das Gefüge aus reinem Eisenkarbid bezeichnet man in der Hüttenkunde als *Zementit*. Verbinden wir alle Schmelzpunkte durch eine Kurve, so erhalten wir die Schmelzkurve ACD . Sie trennt das gesamte Feld in zwei Teile. Der obere Teil ist die flüssige Phase, der Bereich einer Lösung von Kohlenstoff in Eisen. Mit dem Abkühlen, das heißt, dem Absinken der Temperatur, wird beim Überschreiten der Kurve der Sättigungspunkt der Lösung überschritten, und es scheiden sich in der Schmelze einzelne Kristalle ab. Dieses Übergangsstadium, in dem feste und flüssige Teile nebeneinander bestehen, wird durch die Kurve $AECF$ nach unten begrenzt. Beim Überschreiten dieser Kurve erstarrt die Restschmelze, und wir haben nur noch die feste Phase.



Wie das Diagramm angelegt wird

Das reine Eisen, das den linken Rand des Diagramms bildet, tritt in mehreren Erscheinungsformen auf, die als α -Eisen, γ -Eisen und δ -Eisen unterschieden werden. Bei 906°C verwandelt sich das α -Eisen in γ -Eisen, und bei 1401°C geht dieses in δ -Eisen über. Bei 1528°C schmilzt das letztere auf. Damit haben wir den Schmelzpunkt des reinen Eisens, den Punkt *A* im Zustandsdiagramm, erreicht.

Der Kohlenstoff löst sich bei höherer Temperatur im Eisen auf. Teils bildet er mit dem γ -Eisen Mischkristalle, in denen beide Atomarten wohlgeordnet zu einem Kristallgefüge vereinigt sind. Teils reagiert er mit dem Eisen und bildet die Verbindung Eisenkarbid Fe_3C , das sich in Form dünner Plättchen in den Eisenkristallen ablagert.

Betrachten wir einmal die Gefügebilder des Stahls unter dem Zustandsdiagramm näher! Im Bild 1 sehen wir die Einzelkristalle des α -Eisens, des Ferrits, dicht aneinanderstoßen. Bei der Kristallisation engen sie einander ein und begrenzen sich gegenseitig in ihrem Wachstum; sie sind daher unregelmäßig geformt. Mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt lagern sich Eisenkarbidplatten in den Ferritkristallen ab, und die hellen Flächen der Ferritkristalle treten entsprechend immer mehr zurück (Gefüge 2, 3 und 4). Bei 0,85 % Kohlenstoff ist dieser Einlagerungsprozeß zum Abschluß gekommen. Alle Ferrit-Kristalle sind dann gleichmäßig von Eisenkarbidplatten durchsetzt, und wir erhalten das charakteristische, gleichmäßig-streifige Gefüge des Perlits (Gefüge 5). Eisenkarbid ist viel härter als reines Eisen. Die Härte des Stahls steigt daher mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt und hat im Perlit eine beachtliche Größe erreicht. Steigt der Kohlenstoffgehalt über 0,85 %, so können sich keine neuen Eisenkarbid-Platten in den Ferritkristallen ablagern. Das übrigbleibende Eisenkarbid legt sich schalenförmig um die Einzelkristalle, die dann von einem Korngrenzen-Zementit-Netzwerk wabenförmig umgeben sind (Gefüge 6). Und wie-

der steigt dabei die Härte des Stahls bis zu einem Kohlenstoffgehalt von 1,7 0/0 an. Dann plötzlich beginnt eine neue Entwicklungsrichtung. Das überschüssige Eisenkarbid ballt sich zu groben Körnern zusammen, die sich unregelmäßig in die perlitische Grundmasse einlagern. Sie machen den Werkstoff spröde, so daß er nicht mehr durch Walzen und Schmieden bearbeitet werden kann. Damit haben wir den Bereich des Stahls verlassen und kommen in das Gebiet der Eisengußwerkstoffe.

Ein Stahl mit 0,85 0/0 Kohlenstoffgehalt hat bis 721° C ein reines Perlitgefüge. Oberhalb dieser Temperatur lösen sich die Eisenkarbidlamellen im Eisen auf, und es entstehen Mischkristalle von Austenit. Steigt die Temperatur weiter an, so schneidet unsere 0,85 0/0 Kohlenstoff-Linie die untere Kurve des Diagramms bei 1250° C. Der Stahl beginnt langsam zu schmelzen. Aber in der Schmelze finden sich zunächst noch sehr viele feste Austenit-Kristalle; der Stahl wird teigig. Das ist der verformbare Zustand des Stahls. Mit zunehmender Temperatur wird der Stahl immer weicher und schmilzt schließlich beim Überschreiten der Schmelzpunktkurve bei 1460° C vollkommen auf. In der gleichen Weise geht auch das Eisenkarbid in Stählen, deren Kohlenstoffgehalt mehr als 0,85 0/0 beträgt, beim Erwärmen allmählich in Lösung. Es bilden sich Austenitkristalle, die mit steigender Temperatur die Karbidschalen in den Korngrenzen allmählich aufsaugen, bis oberhalb der unteren Kurve wiederum eine Schmelze mit festen Austenitkristallen auftritt.

Wie sich die Eigenschaften des Stahls durch Warmbehandlung verändern, können wir in ganz einfachen Versuchen erproben. Wir brauchen dazu nichts als die Flamme eines Gaskochers, einige gebrauchte Rasierklingen, etwas Schmirgelpapier und eine Flachzange. Die Rasierklinge besteht aus hartem, elastischem Stahl. Beim Biegen gibt sie nach und springt dann elastisch in die Ausgangsstellung zurück. Wir fassen eine unserer Rasierklingen mit

der Flachzange und erhitzen sie einige Minuten in der Gasflamme. Dann lassen wir die glühende Klinge an der Luft abkühlen. Sie ist weich und biegsam geworden und könnte nun ihre ursprüngliche Aufgabe bei weitem nicht mehr erfüllen. Aber indem wir die Härte des Stahls verringerten, erhöhten wir seine Biegsamkeit. Wir halten die veränderte Klinge wieder in die Flamme, erhitzen sie abermals zum Glühen und werfen sie dann in kaltes Wasser. Prüfen wir nun die abgekühlte Klinge, so stellen wir überrascht fest, daß der Stahl bei dieser Behandlung glasartig spröde geworden ist und beim Biegen bricht. Man spricht vom „Abschrecken des Stahls“. Gleichzeitig hat die Härte derart zugenommen, daß wir mit der Klinge Glas ritzen können. Noch einmal nehmen wir die abgeschreckte Klinge zur Hand und reinigen ihre Oberfläche durch Abschmirgeln. Nun halten wir sie nicht unmittelbar in die Flamme, sondern nur in deren Nähe. Allmählich erwärmt sie sich und läuft farbig an, und zwar nach der unten angegebenen Skala. Auf der reinen Metalloberfläche bilden sich zarte Oxydhäutchen, die uns durch Lichtbrechung in verschiedenen Farben erscheinen. Die Anlauffarben geben uns gleichzeitig einen Anhaltspunkt über die „Anlaßtemperaturen“, die erreicht worden sind. Doch spielt auch die Zeitdauer des Erwärmens eine Rolle; erhitzt man Stahl längere Zeit auf die gleiche Temperatur, so entstehen Anlauffarben, die sonst bei kurzem Erhitzen auf höhere Temperaturen auftreten.

Temperatur in °C:	200°	225°	230°	240°	250°	
Anlauffarbe:	weiß- gelb	hell- gelb	gelb	dkl.- gelb	braun	
Temperatur:	275°	290°	300°	310°	320°	340°
Anlauffarbe:	rot	vio- lett	dkl.- blau	korn- blum.- blau	hell- blau	grau

Nachdem die Klinge blau angelaufen ist, lassen wir sie allmählich an der Luft abkühlen. Und was haben wir er-

reicht? Durch das Anlassen ist wieder unsere elastische Klinge entstanden, von der wir ausgegangen sind.

Ziehen wir aus unseren Versuchen die Nutzenanwendung für die Praxis! Erkalte der Stahl langsam, so hat er nur eine geringe Härte. Verkürzen wir die Abkühlungszeit, indem wir den glühenden Stahl abschrecken, so wird er sehr hart, aber gleichzeitig sehr spröde. Diesen spröden Stahl können wir nicht ohne weiteres verwenden. Durch nachfolgendes Anlassen, das heißt, durch vorsichtiges Wiedererwärmen, nehmen Härte und Sprödigkeit gleichermaßen wieder ab, und nun müssen wir einen Mittelweg finden, der den praktischen Erfordernissen am besten entspricht. Federmesser, Zieheisen, Äxte, Meißel, Hobel und Scheren müssen aus vorwiegend sehr hartem Stahl bestehen; er braucht dagegen weniger elastisch zu sein. Dazu genügen Anlaßtemperaturen von 200° bis 265° C. Sägen und Uhrfedern hingegen erfordern einen vor allem elastischen Stahl und stellen dafür nicht derart hohe Härteansprüche; bei ihnen erhöhen wir die Anlaßtemperatur auf 270° bis 330° C. Beim Anlassen aber auf 400° bis 650° C wird die Härte weiterhin erheblich vermindert, dafür nehmen aber Dehnbarkeit und Zähigkeit beträchtlich zu.

Alle diese Änderungen beruhen auf der Wandlung des Stahlgefüges. Beim Abkühlen gehen die Mischkristalle des Austenits in α -Eisen über, indem das innere Kohlenstoffatom der Austenitkristalle gegen ein Eisenatom ausgetauscht wird. Beim Abschrecken fehlt die zum Austausch erforderliche Zeit. Dann drängen sich Kohlenstoff- und Eisenatome dichter zusammen, und der Stahl nimmt ein nadeliges Gefüge an, das man als *M a r t e n s i t* bezeichnet. Beim Anlassen zerfällt der Martensit, und die nun eintretenden Gefügeänderungen wirken sich in der verschiedenen Härte, Sprödigkeit und Zähigkeit aus, die sich aus den verschiedenen Formen der Warmbehandlung ergeben.

Das Geheimnis des Stahlwerkes, die Grundlagen seiner Arbeit, fußen auf den theoretischen Grundlagen der Metall-

urgie, im besonderen auf der Mikroanalyse der Metalle. Aus ihr entwickelte sich die Metallographie, die sich speziell mit der Untersuchung des Gefügebaues der Metalle und ihrer Legierungen beschäftigt. Die Metallographen stellen Metallschliffe her und untersuchen sie unter dem Mikroskop. Ihnen verdanken wir die Zustandsdiagramme, aus denen wir die Abhängigkeit des Gefüges von der Zusammensetzung der Legierung und der angewendeten Temperatur ersehen. Sie erschließen die theoretischen Grundlagen der Eisen- und Stahlerzeugung; sie erforschen die stofflichen Arbeitsbedingungen der Eisen- und Stahlwerker.

DIE WEITERVERARBEITUNG DES STAHLS

In der Stahlgießerei

Lang ist der Weg vom Erz zum Stahl und zu den Stahllegierungen. Aber nun strömt der glühende Schmelzfluß aus den gekippten Konvertern, aus Siemens-Martin- und Elektrostahlöfen in die Gießkübel. Vom flüssigen Roheisen des Hochofens wurde etwa ein Sechstel abgezweigt und zu Grauguß verarbeitet. Auch vom Stahlschmelzfluß wird nur ein relativ sehr geringer Prozentsatz, nämlich zwei Prozent, unmittelbar in der Stahlgießerei zu Stahlguß verwendet. In der gleichen Weise wie in der Eisengießerei werden Gußformen hergestellt. Während man aber aus Gießereiroheisen billige Massenartikel formt, entstehen aus Stahlguß Werkstücke von hoher Festigkeit, und zwar vor allem solche Werkstücke, die wegen ihrer verwickelten Gestalt weder durch Pressen noch durch Walzen hergestellt werden können.

Im Laufe der Zeit hat man gelernt, auch sehr dünnwandige Gegenstände zu gießen, die vor allem die Maschinen- und die Fahrzeugindustrie verlangen, weil sie für bewegte Teile das Gewicht möglichst gering bemessen wollen. Damit nun die schmalen Hohlräume der Form allseitig gut ausgefüllt werden, muß man dünnflüssigen, heißen Schmelzfluß verwenden, wie er zum Beispiel im Elektrostahlöfen entsteht. Zwar ist der Elektrostahl teurer als die übrigen Stähle, aber weil er sehr rein ist, liefert er nahezu fehlerfreie Endprodukte. Nehmen die Gußstücke größere Dimensionen an, dann muß man allerdings Siemens-Martin-Stahl vergießen, damit man die erforderlichen Mengen Schmelzfluß gleichzeitig zur Verfügung hat.

Nach langen Arbeiten ist die Form fertiggestellt. Von allen Seiten werden Gießkübel herangebracht, und in hellen Kaskaden stürzen die Schmelzflüsse in die Gießtrichter. Noch

einmal ist die Halle vom Sternchenfeuerwerk verbrennender Eisenteilchen erfüllt und vom Widerschein der Glut in helles Rot getaucht. Beachtliche Mengen werden bewegt. Bei dem Arbeitsgang, der im Bild 49 dargestellt ist, werden 120 t Stahl zu einem Werkstück vergossen, das 105 Tonnen Rohgewicht hat. Der überstehende Betrag entfällt auf die Eingüsse und Steigtrichter und wird in der Zureicherei wieder entfernt.

Achtundneunzig Prozent des Stahlschmelzflusses hingegen gießt man im Stahlwerk in Walzblock- und Schmiedeblockformen zu Blöcken, die ein Gewicht von 250 kg bis 250 Tonnen haben. Sie werden in der Schmiede oder im Stahlwerk weiter verarbeitet. Dadurch wird die Güte des Stahles wesentlich gesteigert; er wird zäher und fester.

Schmieden und Pressen

Die Formen werden nach oberflächlichem Erkalten des Schmelzflusses von den Schmiedeblocken abgestreift. Dann legt man die Blöcke auf flache Wagen und bringt sie in den Glühofen (Bild 50). Dies ist ein Tunnelofen mit langem, tunnelartigem Innenraum und mit breiter Tür an der Front, die zum Beschicken und Entleeren des Ofens emporgezogen werden kann. Hier sind die Blöcke einer gleichmäßigen Hitzestrahlung ausgesetzt. Während des Abkühlens in den Gießformen ist zwar die Oberfläche fest geworden, aber das Innere des Blocks ist noch glutflüssig geblieben. Nun vollzieht sich im Glühofen ganz allmählich der Ausgleich der Temperaturen zwischen Innen und Außen, und dadurch erst nehmen die Blöcke eine gleichmäßige Beschaffenheit an.

Seit undenklichen Zeiten werden glühende Stahlblöcke durch Schmieden vergütet. Im Maschinenzeitalter trat neben die handwerkliche Schmiedekunst die maschinelle Bearbeitung. In den Talgründen entstanden die Hammerwerke, die unter den Schlägen mechanisch bewegter

Hämmer erdröhnten. Bisweilen treffen wir solche Hammerwerke in den mitteldeutschen Gebirgen noch heute an, wie zum Beispiel den etwa fünfhundert Jahre alten Frohnauer Hammer im Erzgebirge. Heute sind sie nur noch Museumsstücke einer technisch weit überholten Entwicklungsstufe. Die langen Hebebäume wurden durch Wasserkraft bewegt, und die Hämmer, die sie tragen, muten heute spielerisch klein an. Aber größer und schwerer wurden im Laufe der Zeit die Hämmer; immer größer wurden die Werkstücke, die mit ihnen bearbeitet wurden. Die Wasserkraft genügte nicht mehr, um die Hämmer zu bewegen. Die ersten Dampfhämmer kamen auf, von denen uns Bild 51 eine Vorstellung gibt. Zu ihrer Zeit wurden sie als Wunderwerke der Technik bestaunt. Uns läßt das Bild die Schwere der Arbeit ahnen, die von den Menschen vor etwa 100 Jahren geleistet werden mußte, um die großen Stahlblöcke unter dem Hammer zu bewegen. Man baute Hämmer bis zu 50 Tonnen Schlaggewicht. Wuchtig fielen sie auf den Block nieder, bearbeiteten dessen Gefüge und zwangen ihn in eine Form. Sie trieben die erhitzten Werkstücke in Hohlformen aus Stahl, in die Gesenke, die damit etwa die Aufgabe von Gußformen erfüllten. Meist wurden mehrere Gesenke nacheinander angewandt, bis die endgültige Form des Werkstücks erzielt wurde.

Die modernen Giganten der Technik haben völlig andere Gestalt. Sie werden mit Druckluft oder Dampf betrieben (Bild 52). Ihre Hämmer sind so schwer, daß die Schmiede unter ihren Schlägen erzittert und ringsum die Erde erbebt. Interessant ist ein Vergleich der Bilder 51 und 52. Sie zeigen die Weiterentwicklung der Technik in den letzten hundert Jahren. Und sie zeigen, wie Werkzeuge entwickelt wurden, mit deren Hilfe die körperliche Arbeit des schaffenden Menschen auf ein Mindestmaß herabgesetzt wird. In doppelter Hinsicht wurde der Entwicklung eine Grenze gesetzt. Die Beanspruchung der Menschen, die diese Riesen der Technik bedienen, und die Beanspruchung

der Gebäude, in denen die Schmiedehämmer stehen, erreichten einen Punkt, an dem sie nicht mehr weiter gesteigert werden konnte. Und wie der Hammer größer wurde, so wuchs auch das Werkstück und kam zu einer Größe, in der die Tiefenwirkung des Hammers verloren ging und das Gefüge nur noch oberflächlich verändert wurde. Das Werkstück wurde nicht mehr in seiner Gesamtheit von der Bearbeitung erfaßt und verwandelt. Darum sind Schmiedehämmer heute nicht mehr allzu häufig anzutreffen. Meist findet man nur noch Hämmer kleineren Ausmaßes in den Schmiedewerkstätten zum Bearbeiten kleinerer Stücke. An die Stelle der großen Hämmer sind mehr und mehr die Schmiedepressen getreten.

Die Pressen schlagen nicht, sie setzen ruhig auf und drücken nieder. Scheinbar spielend bearbeiten sie das Material. Kein Schmiedeblock ist ihnen zu groß. Langsam, stetig, mit ungeheurer Gewalt, drücken sie das Werkstück in die verlangte Form. Sie werden mit Druckwasser betrieben, in dem die Kraft des fließenden Wassers zusammengeballt und vervielfältigt ist, bis zu einem Preßdruck von 20 000 Tonnen. Und das verändert nicht nur die Struktur der Oberflächenschicht; es wirkt auch in die Tiefe des Werkstücks. Unter dem Schmiedehammer wird das Material durch Schlag oder durch Aufprallen eines Fallgewichts bearbeitet; beim Pressen wird es durchgeknetet.

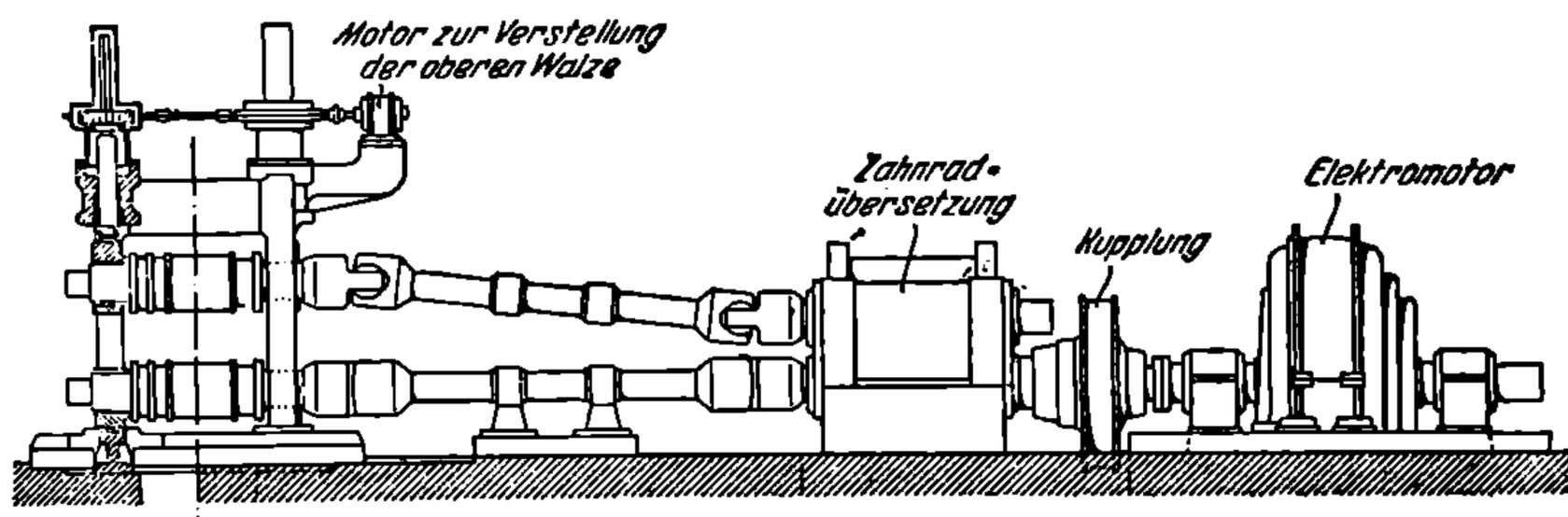
Langsam drehen sich die Werkstücke während der Behandlung. Sie werden durch einseitiges Anziehen oder Nachlassen der Ketten bewegt, die um sie geschlungen sind (Bild 53, 54, 55). Langsam, aber stetig verändert sich vor unseren Augen die Form der glühenden Blöcke. Will man Hohlformen herstellen, so wird zunächst ein Dorn in den Block getrieben. Er ruht auf kräftigen Stützen und bildet das Widerlager beim Ausschmieden. Durch ständig wiederholte Drehbewegungen des Dorns und des Hohlkörpers wird die Wandung des letzteren ringsum gleichmäßig ausgeschmiedet und auf eine festgelegte Wand-

dicke verringert, wobei gleichzeitig der Durchmesser des Werkstücks größer wird.

Auf der Blockstraße

Die Stahlwerke arbeiten im einzelnen verschieden, aber alle haben die gleiche Endbearbeitung des Schmelzflusses. Durch Abstechen der Stahllöfen oder durch Kippen wird der flüssige Stahl in die Gießkübel entleert und in diesen zur Gießgrube befördert. Dort gießt man ihn für die Walzwerke in kleine Walzblockformen. Dann werden die Formen abgedeckt und bleiben stehen, bis die Oberfläche der Blöcke fest geworden ist. Das Innere der Blöcke ist noch flüssig. Aber schon streifen Tiefofenkräne die Formen ab, ergreifen die Blöcke mit ihren Zangen und bringen sie zum Tiefofen. Mit einem zweiten Greifarm heben sie den Ofendeckel in die Höhe und senken den glühenden Block in den engen gemauerten Schacht. Dort glüht er in der von ihm selbst ausgestrahlten Hitze. Das flüssige Innere des Blocks gibt seine Hitze nach außen ab, wo sie vom eng anschließenden Mauerwerk zurückgestrahlt wird. Nacheinander Zeit ist ein Ausgleich zwischen Innen und Außen geschaffen, und der Block nimmt eine gleichmäßige Temperatur an. Wieder rollt der Tiefofenkran heran, hebt den Deckel ab, ergreift den Block und zieht ihn hervor. Mit dem glühenden Block eilt er davon und setzt ihn auf den Kippstuhl einer Rollenbahn nieder (Bild 56). Der Stuhl kippt (Bild 57), während sich gleichzeitig die Rollen der Bahn mit großer Geschwindigkeit um ihre Achse drehen. Sie bewegen den Block, der von Rolle zu Rolle weiterwandert, zum Walzgerüst. Die beiden Walzen des Gerüsts, die sich übereinander befinden, bewegen sich gegeneinander, erfassen den glühenden, nachgiebigen Block und zwängen ihn zwischen sich durch. In die Walzen sind Formen geschnitten, die Kaliber. Wären die Walzen glatt, dann würde der Block zu einem Blech ausgewalzt. So streckt er sich unter Ver-

ringerung seines Querschnitts in die Länge und verläßt das Walzenpaar weitgehend verformt (Bild 58). Da beim Zusammenpressen des Blocks viel Reibungswärme entsteht, wird ein Teil der Wärmeausstrahlung ausgeglichen, und der Block kühlt nicht merklich ab. Kaum ist der Block zwischen den Walzen hindurchgequetscht worden, stehen auch schon die Rollen der Rollenbahn still. Stählerne Finger schieben sich zwischen ihnen empor und kippen



Bau des Walzgerüsts (schematisch)

den Block auf die Seite. Die Rollen der Bahn laufen in entgegengesetzter Richtung wieder an und befördern den Block zurück zum Walzgerüst, dessen Walzen sich ebenfalls entgegengesetzt drehen, und schon wird der Block wieder durch die Walzen gepreßt, deren Abstand durch Tieferschrauben der Oberwalze verändert worden ist. So wird der Block länger und länger gestreckt und schießt als Glutstrang durch das Gerüst hin und her. Nur ab und zu wird er durch Führungsschienen in neue, engere Kaliber des gleichen Walzenpaares geleitet (Bild 59). In rascher Folge laufen die Bewegungen des Walzgerüsts und seiner Rollbahnen nacheinander ab, damit der Block nicht erst auskühlt. Ein Mann steuert die Bewegungen, ähnlich wie es im Stellwerk der Eisenbahn ist. Wenn wir zum ersten Male im Walzwerk stehen, beachten wir diese Bedienung des Walzgerüsts kaum. Wir sehen nur überall Bewegung,

nirgends Stillstand, sehen den Block als glühende Schlange hin- und herschießen, und jedesmal, wenn er an uns vorübergleitet, trifft uns sein Gluthauch. Scheinbar mühelos vollziehen sich diese Bewegungen. Wie plastischer Ton wird der Block verformt, ändert immer mehr seinen Querschnitt, wird schlanker und immer schlanker und streckt sich unheimlich in die Länge (Bild 60 und 61). Zuletzt schießt er als glühender Strang die düstere, lange Rollenbahn dahin und gelangt in einen der anschließenden Walzwerksbetriebe.

Die Walzgerüste, die den glühenden Stahl formen, sind Wunderwerke neuzeitlicher Werkstoffbearbeitung. Welche riesige, gebändigte und dennoch unbändige Kraft besitzt ein solcher Mechanismus, der zwölf Tonnen schwere Stahlblöcke in eine bestimmte Form hineinzwängen kann, die durch das Walzenkaliber gegeben ist (Bild 62)! Wie kompliziert ist der Bau einer modernen Elektrobloßstraße mit all ihren technischen Einzelheiten (Bild 63)! Wie kunstvoll greift bei einem Walzgerüst eins in das andere! Durch Elektromotor wird es angetrieben. Links ist das Gerüst mit der feststehenden Unterwalze und der in der Höhe verstellbaren Oberwalze dargestellt; beide werden durch Zahnradübersetzungen bewegt.

Verformung der Stahlblöcke im Walzwerk

Auf der Blockstraße entstehen zunächst die Rohblöcke mit verschiedenen Querschnitten. Sie werden von der Blockschere in Knüppel bestimmter Längen geschnitten. Diese bilden dann das Ausgangsprodukt für die weitere Verformung in Stab-, Träger-, Schienen-, Draht-, Blech- und Radialwalzwerken. Dabei wiederholen sich die Arbeitsprozesse der Blockstraße in abgewandelten Formen.

Magnetkrane bringen die noch warmen Knüppel in die weiterverarbeitenden Betriebe. Dort erhitzt man sie in Blockwärmöfen zunächst wieder auf Walztemperatur. Sie

werden beim Einsetzen von Blockdrückern in den Stoßofen geschoben und drücken auf der anderen Seite des Ofens die fertig durchwärmten Blöcke gleichzeitig heraus. Diese gleiten auf einer schiefen Ebene herab, werden von Zangenkränen erfaßt und auf Rollbahnen gesetzt.

Im Schienen- und Trägerwalzwerk (Bild 60 und 61) ist die Oberwalze nicht mehr verstellbar. Die Herstellung maßhaltiger Querschnitte erfordert ein feststehendes Kaliber. Beide Walzen des Gerüsts besitzen daher eine Serie von verschieden weiten Kalibern nebeneinander, und durch Führungsschienen werden die Walzblöcke von Kaliber zu Kaliber weitergeleitet. Wenn andere Profile verlangt werden, so wechselt man die Walzen aus. Anders noch als diese Duogeräte arbeiten die Triowalzgerüste, die drei Walzen übereinander besitzen. Hier läuft der Block zunächst zwischen Unter- und Mittelwalze alle Kaliber durch. Dann wird er durch Wipptische, die hochkippbaren Enden der Rollengänge, gehoben und passiert die Kaliber zwischen Mittel- und Oberwalze.

Bei schwierig herzustellenden Querschnitten durchläuft der Block hintereinander sechs bis acht verschiedene Gerüste und wird bei immer wechselndem und enger werdendem Kaliber schließlich zur fertigen Schiene oder zum Träger ausgeformt. Am Ende der Formung schneidet man die profilierten Stränge mit Hilfe von Kreissägen auf bestimmte Längen. In der Zurichterei werden die Grate abgeschliffen, die Einzelstücke gefräst und geglättet und die erforderlichen Schraubenlöcher eingebohrt. Zuletzt passieren die Werkstücke zwei Reihen ausgerichteter profilierter Rollen (Bild 61) und werden geradegestreckt, ehe sie von den Kränen zu den Lagerplätzen geschafft und dort verladen werden.

In den Streifenwalzwerken formt man die Blöcke bei enger Führung zwischen glatten Walzen zu langen Blechstreifen aus (Bild 64). In den Bandisenwalzwerken entstehen aus den Blöcken endlos scheinende

Bänder in den gewünschten Breiten. Wichtig ist dabei die geregelte Führung der langen glühenden Stahlstreifen. Meist winden sie sich schlingenförmig durch mehrere Walzgerüste (Bild 65); die Formung erfährt dann keine Unterbrechung und kann kontinuierlich ablaufen. Eine ähnliche Materialführung ist in den Drahtwalzwerken üblich (Bild 66). Die Blöcke durchlaufen zunächst die sechs Gerüste der Vorstraße und werden zu Stäben ausgewalzt. Diese trennt man in zwei Stränge von je 200 Kilogramm Gewicht. Beide laufen parallel durch sechs weitere Gerüste, in denen ihr Querschnitt stark verringert wird. Dann treten sie in die acht Gerüste der ersten und in die vier Gerüste der zweiten Fertigstraße ein, in denen sie zu Drähten gewünschter Stärke ausgewalzt werden. Mit einer Geschwindigkeit von etwa 25 Metern in der Sekunde werden dann die fertigen Drähte von elektrisch betriebenen Haspeln zu Bündeln aufgewickelt; das sind 1500 Meter in der Minute und 90 000 Meter oder 90 Kilometer in der Stunde! Die Drähte laufen also durch die Maschine mit der Geschwindigkeit, die von unseren schnellsten D-Zügen erreicht wird. Die noch heißen, fertig gewickelten Bündel werden vollautomatisch von Förderketten aufgenommen und kühlen sich auf dem Wege zur Verladung allmählich ab.

Während im Drahtwalzwerk die Blöcke in die Länge gestreckt werden, walzt man sie im Blechwalzwerk in die Breite (Bild 67 und 68). Hier besitzen die Walzen keine Kaliber; sie haben eine glatte Oberfläche, nehmen bei ihrer Bewegung Blöcke mit rechteckigem Querschnitt, die Brammen, auf und walzen sie breit. Die Bleche laufen durch die Gerüste hin und her. In den Triowalzgerüsten werden sie nach dem Passieren des Spaltes zwischen Unter- und Mittelwalze durch Wipptische (Bild 69) aufgenommen und gehoben, so daß sie beim Rückwärtsgang durch den Spalt zwischen Mittel- und Oberwalze weiter ausgewalzt werden.

Nach den Fertigprodukten unterscheidet man Grobblechwalzwerke für Bleche von 2 bis 8 mm und Feinblechwalzwerke für Bleche von weniger als 2 mm Dicke. Während des Auswalzens huschen an den Walzgerüsten Zeiger über Skalen und zeigen bei jedem Arbeitsgang die erzielte Blechdicke an. Bei dem Grobblech, das auf unserem Bilde soeben das Walzgerüst passiert hat, zeigt das Zifferblatt 3,4 Millimeter an.

Während in den Warmwalzwerken (Bild 70) die Bleche in heißem Zustand ausgeformt werden, erreicht man in den Kaltwalzwerken eine Gütesteigerung der warm vorgewalzten Bleche durch nochmaliges kaltes Auswalzen. Bei der Warmverformung hat sich auf den Blechen eine Oberflächenschicht von schwarzem Hammerschlag gebildet. Diese beizt man zunächst in einem Säurebad ab. Dann wird die am Blech haftende Säure durch gründliches Wässern und anschließende Behandlung mit einer Base, der Kalkmilch, beseitigt und das Blech geputzt und getrocknet. Danach geht es durch die Walzen. Der kräftige Druck bewirkt eine Verfeinerung des Gefüges und der Oberflächen. Nun sind aber die Bleche zu hart und spröde geworden. Darum werden sie auf kleinen Wagen langsam durch einen langen Kanalofen gezogen und dabei durch Glühen vergütet. Dann werden sie anschließend nochmals geputzt. Bei einem letzten Durchgang durch mehrere Walzengerüste erhalten sie einige Polierstriche und gelangen mit spiegelblanker Oberfläche zur Rollenrichtmaschine. Nach dem Richten werden sie in der Einfettmaschine mit einem dünnen Fettfilm überzogen und in der Beschneidemaschine in die bestellten Längen geschnitten. Ein Teil der Bleche wird durch Vernickeln, Verzinnen, Verzinken und Lackieren besonderen Verwendungszwecken angepaßt.

Eine eigene Stellung nehmen die Walzwerke ein, in denen man die nahtlosen Rohre herstellt. Da werden die gut durchgewärmten Rundblöcke im Schrägwalzwerk (Bild 71) schraubenförmig zwischen die Arbeitswalzen

gezogen und über einen Dorn gewalzt. Es entsteht ein Hohlblock, der anschließend im Radialwalzwerk zum fertigen Rohr ausgewalzt wird.

Im Rohrstoßverfahren kann man die Rohre auch aus etwa 50 Zentimeter langen Knüppeln stoßen, indem man sie gegen einen Dorn drückt und zunächst zu einem fingerhutartigen Körper ausformt. Dieser wird dann über einen Zieh-dorn gestülpt und nacheinander durch eine größere Zahl von Ziehringen mit immer enger werdendem Querschnitt gestoßen, so daß sich das Rohr mehr und mehr in die Länge streckt. In einem abschließenden Arbeitsprozeß wird das Rohr geglättet und vom Dorn gelöst.

Nach dem Roeckner-Verfahren (Bild 72) werden die großen Walzblöcke verarbeitet. Sie werden durch die sich drehenden Walzenpaare um ihre eigene Achse gedreht und hierbei gleichzeitig in Längsrichtung vorwärtsbewegt. Die Walzen bearbeiten den Block in Schraubenlinien. So erhält man Hohlkörper, die ein Gewicht von 20 und mehr Tonnen besitzen.

Spanabhebende Verformung

Die meisten Werkstücke werden durch spanabhebende Verformung vollendet. Mit Hilfe schneidender Werkzeuge werden ihre Oberflächen durch Drehen, Hobeln, Fräsen und Schleifen geglättet, und sie werden dabei genau auf Maß gebracht. Die Bearbeitung setzt voraus, daß Werkzeuge verwendet werden, die eine noch größere Härte besitzen als das zu bearbeitende Werkstück. Nun erinnere dich dessen, wie man gelernt hat, die Eigenschaften des Stahls durch Legierungszusätze abzuwandeln und die Härte des Stahls zu steigern. Durch Zusätze von Molybdän werden die Warmfestigkeit und der Verschleißwiderstand, durch Vanadin Härte und Festigkeit und durch Wolfram die Härte, der Verschleißwiderstand und die Schneidhaltigkeit der Stähle erhöht. Darum enthalten die Schnellarbeits-

stähle 18 0/0 Wolfram, 2 bis 11 0/0 Kobalt, 4 0/0 Chrom, 1,5 0/0 Vanadin und 0,7 0/0 Kohlenstoff.

Für die Herstellung von vielerlei Werkzeugen verwendet man Hartmetalle. Dazu gehören die Stellite, die gegossenen Karbidhartmetalle und die gesinterten Hartmetalle. Die Stellite bestehen aus 40 bis 45 0/0 Kobalt, 15 bis 35 0/0 Chrom, 10 bis 25 0/0 Wolfram und 0 bis 10 0/0 Eisen. Sie sind rotglutbeständig und verschleißfest, aber auch spröde. Darum eignen sie sich nicht für Werkzeuge, die Stöße aushalten müssen. Den Stellites ähnlich in ihren Eigenschaften sind die gegossenen Karbidhartmetalle. Sie enthalten 50 bis 95 0/0 Wolfram, bis 37 0/0 Molybdän und bis 15 0/0 Tantal.

Erhitzt man Mischungen von Wolframkarbid, Kobalt und geringfügigen anderen Bestandteilen bis zum Sintern, so erhält man die gesinterten Hartmetalle, wie Widia, das will sagen „wie Diamant, und Titanit. Sie sind noch wesentlich härter als die Stellite und weniger spröde und bewahren ihre Festigkeit auch beim Erhitzen auf hohe Temperaturen, während der gewöhnliche Stahl bereits bei 400° C seine Härte nahezu völlig einbüßt. Daher verwendet man die gesinterten Hartmetalle überwiegend zur Herstellung schnell drehender und schnell sich bewegender Werkzeuge, die sich durch Reibung an dem zu bearbeitenden Material sehr erhitzen, aber nur dort. Wollte man sie unter gewöhnlichen Arbeitsbedingungen einsetzen, so würden sie das Höchstmaß ihrer Leistungsfähigkeit nicht erreichen und würden nicht voll ausgewertet. Beim Schnelldrehen und Schnellzerspanen werden Werkzeug und Werkstück durch die raschen Bewegungen und die starke Reibung auf hohe Temperaturen erhitzt. Nun büßt das Werkstück stark an Härte ein, aber das Werkzeug aus einem gesinterten Hartmetall bewahrt bis 900° C seine natürliche Härte. Dann ist die Härte­differenz zwischen beiden beträchtlich und ergibt einen Nutzeffekt, den nur die Schnellbearbeitung bieten kann. Schnellarbeitsstähle und Sinterhartmetalle geben die

geeigneten Werkzeuge zur spanabhebenden Verformung auch ausgesprochen harter und fester Stähle.

Die gesinterten Hartmetalle, das sei noch einmal klar hervorgehoben, gehören eigentlich nicht in das Gebiet des Stahls und Eisens, denn sie enthalten überhaupt kein Eisen. Sie bilden aber eine konsequente technische Fortentwicklung vom unlegierten Stahl über die legierten Hartstähle, die Schnellarbeitsstähle, hin zu den modernen Produkten der Metallkeramik. So geht man in der Sowjetunion vom Aluminiumoxyd aus und stellt daraus keramische Stoffe her, die zum Zerspanen von Metallen dienen. Mit ihnen hat man die Schnittgeschwindigkeiten der Hartmetalle wesentlich übertroffen; sie liegen um 60 bis 80 % höher als zum Beispiel die eines Hartmetalls mit 15 % Titankarbid mit 6 % Kobalt.

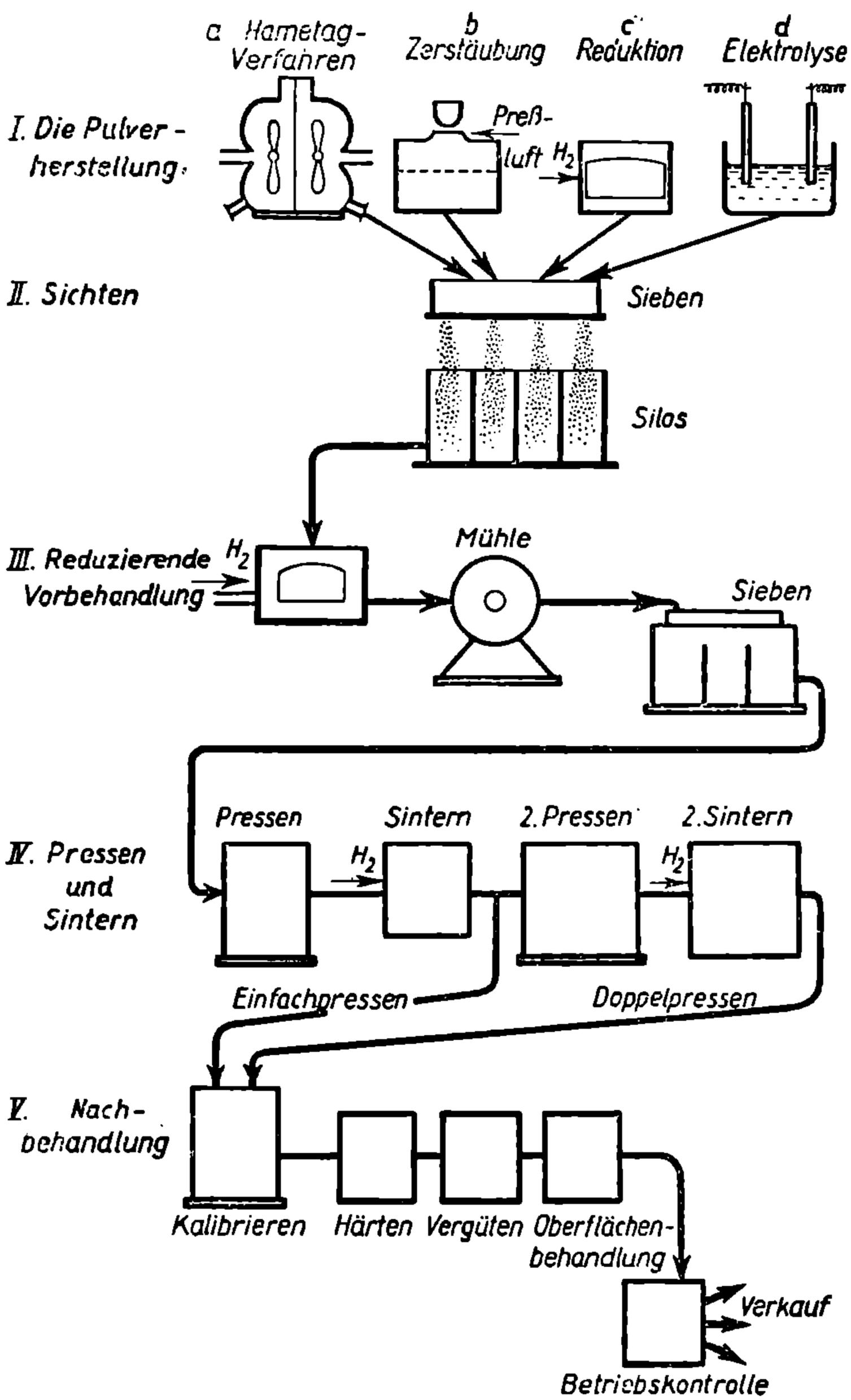
Die Pulvermetallurgie

Seit undenklichen Zeiten wird das Eisen durch Gießen oder durch Formen im Walzwerk oder unter dem Schmiedehammer zu Fertigwaren verarbeitet. Nach der Formung müssen die rohen Gießlinge und Formlinge geglättet und mit spanabhebenden Werkzeugen bearbeitet werden, damit sie eine glatte Oberfläche ohne Grate erhalten, genau Maß halten und formengetreu sind. Je nach der Art der Formung und der geforderten Maßhaltigkeit entstehen dann mehr oder weniger große Mengen von Abfällen. Walzwerkserzeugnisse müssen beschnitten, Gußstücke von Eingußtrichtern, Steigern, Graten und anderen überstehenden Teilen befreit werden. Da fallen Schienenköpfe weg, dort Schnittkanten von Blechen, hier wieder häufen sich Drehspäne zu Bergen. Beim Stanzen bleiben ganze Metallgerippe stehen, wenn auch die Arbeit so sorgfältig als möglich verrichtet wird. Und wenn auch die Abfälle wieder in den Stoffkreislauf zurückkehren, so bedeuten sie doch einen hohen Verschleiß an Energie und menschlicher Arbeits-

kraft. Die Abfälle auf ein Mindestmaß herabzusetzen, war daher das Ziel zahlreicher Versuche, die in den letzten Jahrzehnten durchgeführt wurden; es ist heute ganz besonders eine dringende Aufgabe unserer metallverarbeitenden Betriebe. Die Schnittköpfe an Schienen, die Schnittkanten an Blechen können verkleinert werden. Bei der spanabhebenden Verarbeitung lassen sich durch verbesserte und neue Arbeitsmethoden und durch die verantwortungsbewußte Einstellung jedes Werktätigen zu seiner Arbeit Einsparungen an Rohstoffen erzielen. Aber vermeiden lassen sich diese Abfälle nicht.

Eine überraschende Totallösung der „verlustlosen“ Verformung der Metalle brachte die Pulvermetallurgie mit sich. Sie wurde während des letzten Krieges entwickelt und vervollkommnet, hat in den letzten Jahren die klassischen Verfahren der spanabhebenden Verformung in ihrem Anwendungsbereich erheblich zurückgedrängt und wird sie auch in naher Zukunft noch weiter zurückdrängen. Erst war das Wort nur in weniger Munde. Heute kennen bereits viele Menschen das Wesen der Pulvermetallurgie aus Kulturfilmen und Pressenotizen.

Rohstoff der Pulvermetallurgie ist nicht mehr das flüssige oder in Formen gegossene Metall, sondern das Metallpulver. Man gewinnt es auf den verschiedensten Wegen. Im Hametagverfahren werden Abfallbleche und Abfalldrähte in Schrottmühlen zerkleinert. Das muß in einer Schutzgasatmosphäre geschehen, da feinstes Eisenpulver brennbar und explosiv ist. Die Eisenstäubchen haben nach dem Passieren der Schlagmühlen abgerundete Formen. Man kann aber als Ausgangsmaterial für die Pulvergewinnung auch Erze, Schweißschlacken und Walzzunder verwenden und diese Rohstoffe in direkter Berührung mit Kohlenstoff oder durch Wasserstoff zu schwammförmigem Eisen reduzieren. Die Form der Eisenstäubchen ist dann schwammig, nadelig, kristallinisch verfilzt. Eine weitere Methode ist die elektrolytische Gewinnung. Ganz beson-



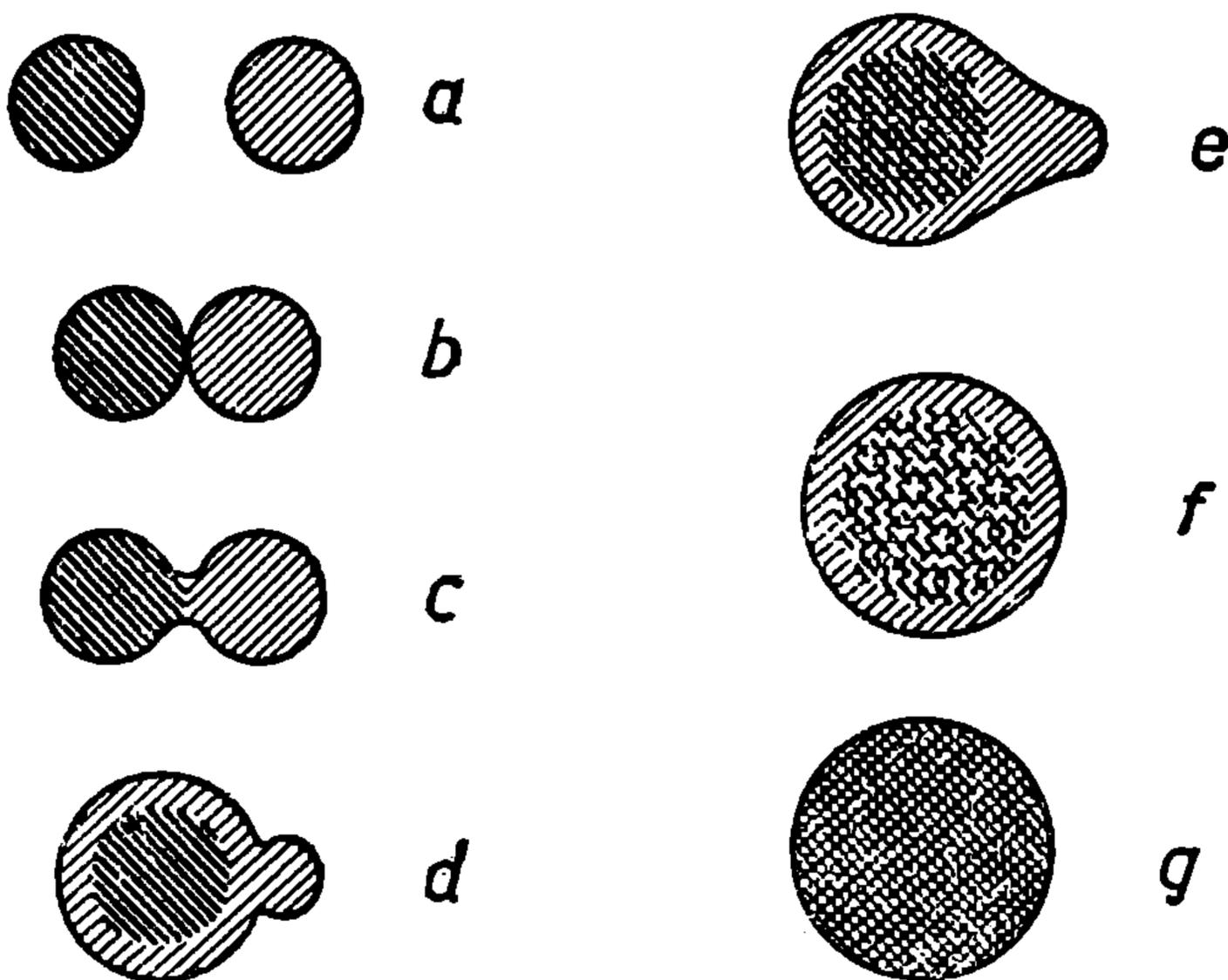
Fertigung nach dem Sinterverfahren

ders rasch ausweitbar ist die industrielle Metallzerstäubung und die Verdüsung flüssiger Metallschmelzen.

Die nach den verschiedenen mechanischen oder chemischen Verfahren entstandenen Metallpulver bringt man in Formen und preßt sie mit hohem Druck. Dann erhitzt man die Preßlinge auf Temperaturen, die noch unterhalb des Schmelzpunktes der Metalle liegen, so daß die einzelnen Metallkörnchen zwar nicht schmelzen, aber zusammensintern. Das entstehende Werkstück verläßt die Form genau formengerecht und maßhaltig, so daß es nicht mehr mit spanabhebenden Werkzeugen bearbeitet werden muß. Sein Gefüge ist nahezu fehlerfrei und übertrifft in dieser Beziehung die meisten gegossenen Werkstücke. Die Werkstoffabfälle bei der Formung schrumpfen auf ein Mindestmaß zusammen. Damit ist die Pulvermetallurgie das ideale Verfahren zum Formen kleiner Einzelteile. Es werden Arbeitsgänge eingespart und Verluste an Arbeitszeit, an Material und an Energie vermieden, die mit den klassischen Verfahren der Metallverformung unvermeidbar zusammenhängen. Die Pulvermetallurgie bedeutet einen Wendepunkt in der Metallverarbeitung.

Worin besteht nun eigentlich das Wesen der Werkstückformung aus Pulvern? Da liegt zunächst Metallkörnchen neben Metallkörnchen. Es ist ein Haufwerk loser kleinster Teilchen, die ebenso auseinanderfallen, wie sie zusammengeschüttet worden sind. Nun setzt aber der Druck von außen ein. Die Körnchen werden fest zusammengepreßt. Sie liegen eng beieinander und können sich aus ihrer Lage nicht mehr befreien. Bereits beim Zusammendrücken bei Raumtemperatur zeigt sich eine lockere Bindung, die auf einer einfachen Anziehung, Adhäsion, beruht, und bei der die Körnchen an einzelnen Stellen gewissermaßen miteinander verwachsen. Werden die Preßlinge dann auf mittlere Temperaturen erhitzt, so gerät die Materie in Bewegung. Dann wandern die Atome des einen Körnchens um das andere herum. Man spricht von einer Oberflächendiffusion,

die zu einer festeren Verkittung der Körnchen untereinander führt. Wird die Temperatur noch weiter erhöht, so bewegen sich die Atome nicht nur um das zweite Metallkörnchen herum, sondern dringen in dieses ein. Die Materie beider Körnchen durchdringt sich wechselseitig, und es



Pulvermetallurgie

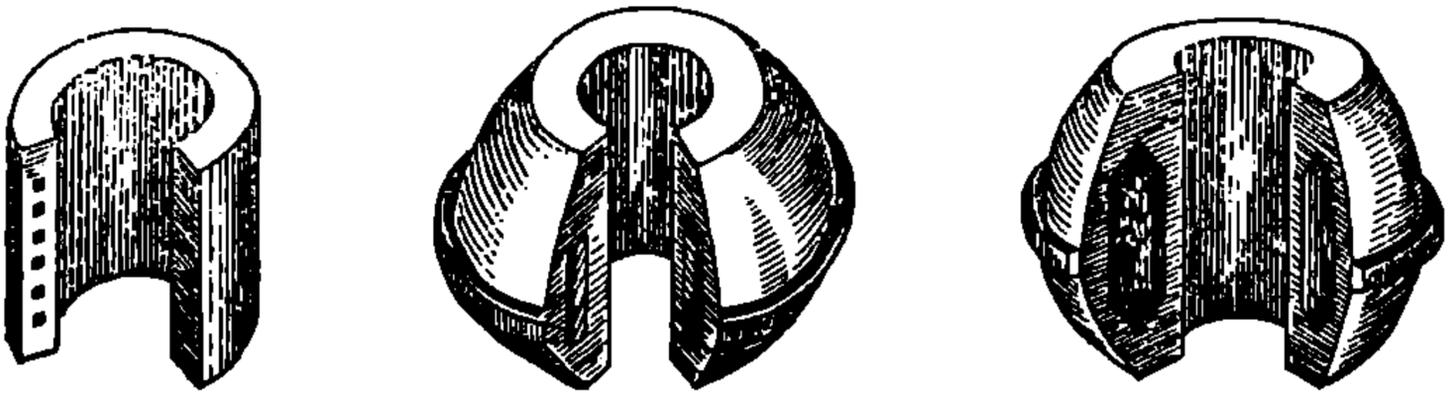
- a) die beiden Ausgangsstoffe
- b) Teilchen in Berührung
- c) lockere Bindung durch Adhäsion
- d) beginnende Oberflächendiffusion
- e) fortgeschrittene Oberflächendiffusion
- f) beginnende Gitterdiffusion
- g) abgeschlossene Gitterdiffusion

entsteht als Endprodukt ein einheitliches oder, wie man sagt, homogenes Gefüge, das aus den Atomen beider Metallkörnchen besteht. Das ist die Gitterdiffusion, die zu einer einheitlichen Struktur, zur Homogenisierung, führt. Ihr Endzustand ist ein Sammelkristall, der sich aus den Atomen beider Metallkörnchen zusammensetzt.

Solange es sich um ein einheitliches Metallpulver handelt, kann man die vollkommene Mischung, die Homogenisierung, nicht unmittelbar beobachten, denn das Ganze ist von vornherein einheitlich und wird nur zu einer gemeinsamen Kristallisation gebracht. Gehen wir aber von Pulvergemischen aus, so ändert sich schlagartig das Bild. Wieder entstehen zu Beginn des Prozesses bei niedrigen Temperaturen lose Adhäsionskonglomerate aus den beiden Partnern. Dann beginnt die Atomverschiebung. Die Atome des Metalls mit dem niedrigeren Schmelzpunkt bewegen sich aktiv um die Körnchen des Metalls mit dem höheren Schmelzpunkt, das die passive Rolle übernimmt. Schließlich ist das letztere ringsum von Atomen des ersteren umgeben; die Oberflächendiffusion ist zu einem Abschluß gekommen. Bei weiterem Temperaturanstieg dringen die beweglichen Körnchen des Metalls mit dem niedrigeren Schmelzpunkt in das Innere der Komponente mit dem höheren Schmelzpunkt ein; es beginnt die Gitterdiffusion, die im Endstadium bei vollständiger Homogenisierung beider Bestandteile zu einem einheitlichen Sinterkörper führt.

Damit haben sich völlig neue Möglichkeiten der Metallverarbeitung eröffnet. Metalle, die untereinander weder chemische Verbindungen bilden noch feste Lösungen eingehen, können mit Hilfe der Pulvermetallurgie durch Gitterdiffusion zu einem homogenen Endzustand vereinigt werden, der, entsprechend seiner Zusammensetzung, völlig neue, uns noch unbekanntere Eigenschaften aufweist. So erhält man zum Beispiel durch Zusatz von 5 bis 10 % Bleipulver zu Eisenpulver durch Pressen und Sintern bei hohen Temperaturen Sinterkörper, die sich ebenso auswalzen lassen, wie wir dies vom Zinn kennen. Wir können also die feinen Zinnfolien, die unter dem Namen Stanniol allgemein bekannt sind, durch Eisenfolien ersetzen. Durch geringen Bleizusatz sind sie auswalzbar geworden. Allein an diesem Beispiel erkennen wir schon, wie die Pulvermetallurgie zum

Einsparen von Rohstoffen beiträgt. In gleicher Richtung hilft die Pulvermetallurgie bei Spezialstählen, die kostbare Legierungszusätze enthalten. Meist sind die fertigen Werkstücke recht unterschiedlichen Beanspruchungen ihrer Teile ausgesetzt. Die Beanspruchung konzentriert sich auf einzelne Stellen. An diesen hochbeanspruchten Stellen können wir im Sinterverfahren den kostbaren Legierungsbestandteil anreichern und ihn dafür an den



Sinterlagerkörper mit künstlichen Hohlräumen für selbstschmierende Lager

weniger beanspruchten Stellen einsparen. So erzielen wir, im ganzen gesehen, einen wesentlich geringeren Verbrauch hochwertiger, seltener Legierungsbestandteile.

Nach den Grundsätzen der Pulvermetallurgie werden auch Metalle mit sehr hohen Schmelzpunkten verformt und ebenso zahlreiche Metallkarbide, Metall-Kohlenstoff-Verbindungen, die sich durch außerordentliche Härte auszeichnen. Das Wolframmonokarbid WC zum Beispiel zerfällt in der Hitze des Schmelzflusses. Es könnte gar nicht im Schmelzfluß verarbeitet werden; die Formung gelingt nur auf pulvermetallurgischem Wege.

Ein ganz neues Arbeitsgebiet eröffnet sich in der Produktion poröser Sinterkörper für selbstschmierende Lager. Unter den porösen Sinterkörpern haben die Bronze- und Eisenlager ein Porenvolumen von etwa 30 Volumenprozent. Wenn man sie mit Schmierölen tränkt, schmieren sich die Lager selbst ein und bedürfen keiner besonderen Wartung. Heute werden vor allem Sinterlager hergestellt, die noch

zusätzliche Ölspeicherräume enthalten. Man legt in die Metallpulver hohle oder mit lockerem Eisenpulver gefüllte Kupferrohre oder Spiralen aus organischen Stoffen ein. Beim Erhitzen nach der Formung wird das organische Material ausgetrieben, oder das Kupfer wird in den Eisenskelettkörper aufgenommen; der Fachmann spricht dann vom Einseigern des Kupfers in den Eisenkörper. Es entstehen in dem Lagerkörper Hohlräume, die eine Art künstlich erzeugter Lunken darstellen. Sie werden ebenfalls mit Öl gefüllt und stellen eine hervorragende Ölreserve des selbstschmierenden Lagerkörpers dar.

So werden in der Maschinenindustrie heute zahlreiche Teile aus Sintereisen, Sinterstahl und Sinterbronze hergestellt. Man gewinnt auf pulvermetallurgischem Wege nickel-, mangan- und kupferhaltige Einsatzstähle.

Rosten und Rostschutz

Die Fertigprodukte aus Eisen und Stahl kommen auf den Markt. Aber Eisen wird unter der Einwirkung feuchter Luft chemisch verändert, es rostet. Es nimmt Sauerstoff, Kohlendioxyd und Wasserdampf aus der Luft auf und geht allmählich in Eisenhydrogenkarbonat $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ über. Dieses nimmt wieder Wasserdampf und Luftsauerstoff auf und verwandelt sich in rotbraunes Eisen(III)-hydroxyd $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Es ist der gleiche Stoff, der sich aus eisenhaltigen Wässern beim Einwirken von Luftsauerstoff absetzt. So entsteht an der Oberfläche eine rotbraune Rostschicht. Sie bildet aber keine festhaftende Oberflächenschicht, die das darunterliegende Metall vor weiteren Zerstörungen schützt. Der Rost ist vielmehr porös und krümelig, so daß Wasser und Luft in die Tiefe dringen. Beim Übergang von Hydrogenkarbonat in Hydroxyd wird zudem wieder Kohlendioxyd frei, das sofort am Ort der Bildung weiterhin Eisen in Hydrogenkarbonat verwandeln kann; das heißt, der Rostvorgang setzt sich in die Tiefe

fort. Bald blättern grobe Rostschuppen ab, wie wir sie allenthalben am Grunde ungepflegter Eisengitter finden. Immer weiter schreitet der Rostprozeß, bis schließlich das gesamte Werkstück in Rost verwandelt worden ist und zerfällt. Jährlich werden Werte von drei Milliarden DM auf der Welt durch Rost vernichtet. So ist das wichtigste Endproblem von Eisen und Stahl die Erhaltung geschaffener Werte, indem man das Rosten verhindert. Es gibt verschiedene Wege. Man kann die Oberfläche des Werkstückes chemisch verändern, oder man überzieht Eisen und Stahl mit nichtrostenden metallischen oder nichtmetallischen Oberflächenschichten.

Es gibt ja auch nichtrostenden Stahl, wie er zum Beispiel als „Nirosta“ für Bestecke verwendet wird; er enthält Chrom und Nickel. Aber er ist so teuer, daß man ihn nur für kleinere Gegenstände verwendet oder für Werkstücke, die den erhöhten Preis rechtfertigen. Auch dem Rostschutz durch Metallüberzüge sind Grenzen gesetzt, da die Überzugsmetalle aus dem Ausland eingeführt werden müssen und das Fertigprodukt wesentlich verteuern. Am häufigsten wird das Verzinken angewendet. Man taucht das Werkstück in flüssiges Zink; es überzieht sich dabei mit einer geschlossenen Zinkhaut, die es vor dem Einfluß der feuchten Luft schützt. Da Zink aber von Säuren leicht gelöst wird, kann man nicht etwa Speisen in verzinkten Gefäßen zubereiten oder aufbewahren. Darum verwendet man zum Beispiel für Konservendosen verzinntes Blech, das Weißblech. Beide Überzüge haben ihre Vorteile und Nachteile. Werden die Schutzüberzüge verletzt, so bilden sich bei Zutritt von Wasser kleine elektrische Lokalelemente, und das unedlere der beiden Metalle wird aufgelöst. Nun ist Zink weniger edel als Eisen und dieses weniger edel als Zinn. Beim Zinkblech wird also der Zinküberzug zerstört, beim Weißblech aber rostet das Eisen rascher durch, als wenn es unverzinkt vorläge. Wir kennen diese Erscheinung an alten und wiederholt verwendeten Konservendosen, an

denen sich kleine Korrosionsstellen bilden. Wertvollere Gegenstände werden vernickelt oder verchromt. Der Nickelüberzug ist billiger, aber chemisch nicht so widerstandsfähig wie Chrom, und Chrom ist teurer, neigt aber zur Bildung von Haarrissen. Meist werden daher die Eisengegenstände zunächst vernickelt und dann noch verchromt. Dabei hängt man sie als negative Elektrode in eine Lösung aus Nickel- oder Chromsalz. Beim Durchgang des elektrischen Stromes setzt sich das Überzugsmetall als eine gleichmäßige Oberflächenschicht auf dem Werkstück ab.

Besonders wichtig sind die **D i f f u s i o n s v e r f a h r e n** geworden. Man umgibt etwa ein eisernes Werkstück mit Zinkstaub und erhitzt es in geschlossenen Muffelöfen auf 400° C. Dann bilden sich Zinkdämpfe, die in die Poren des Werkstückes eindringen. Die äußeren Teile verwandeln sich in eine zähe Zink-Eisen-Legierung, die nicht mehr abblättern kann und einen wirksamen Rostschutz bildet. In der gleichen Weise wie bei der Zinkdiffusion können die Werkstücke auch mit Chrom behandelt werden, sie werden „**inchromiert**“.

Eine Veränderung der Oberflächenschicht erreicht man auch auf einfacherem Wege. Man glüht das Werkstück und behandelt es mit Wasserdampf. Das glühende Eisen entreibt ihm den Sauerstoff, und es entsteht eine Oberflächenschutzschicht von blauschwarzem Eisenhammerschlag Fe_3O_4 , wie wir sie bisweilen auf gußeisernem Kochgeschirr oder gußeisernen Pfannen finden.

Häufig werden auch die teuren Metallüberzüge durch nichtmetallische Rostschutzanstriche ersetzt. Man bestreicht das mit Drahtbürsten oder mit Hilfe des Sandstrahlgebläses gereinigte Metall mit Teer oder Zement. Beide Anstriche sind leicht und billig durchzuführen. Den Teer trägt man in erhitztem Zustande auf, weil er dann dünnflüssig ist. Streicht man ihn über verrostete Teile, so blättert der Rost mit dem Anstrich ab. Zement wird als Rostschutz mit Wasser streichfertig angerührt; man be-

streicht die Eisenteile mehrmals mit Zement, wobei man jeden Anstrich zunächst trocknen läßt. Zementanstrich sieht zwar nicht besonders schön aus, aber er ist ein wirksamer Rostschutz und vor allem bequem in der Anwendung. Man kann ihn auch auf verrostete Eisenteile auftragen, ohne erst den Rost entfernen zu müssen.

Bei den Ölfarbenanstrichen wird nach dem Entrosten zunächst ein Grundanstrich mit Bleimennige aufgetragen. Bleimennige bildet einen dichten Überzug; man kann auch Eisenmennige verwenden, doch ist dann der Anstrich weniger dicht. Nach dem Antrocknen werden noch zwei oder drei Ölfarbenanstriche aufgetragen. Die Ölfarben sind Gemische von Leinölfirnis mit mineralischen Farbstoffen. Unter Einwirkung des Luftsauerstoffs verharzt der Firnis, und die Ölfarbe trocknet zu einem festhaftenden Überzug an. Bei wertvolleren Teilen trägt man Kunstharz- oder Nitrozelluloselacke auf. Letztere werden besonders als Autolacke viel verwendet. In ähnlicher Weise kann man die Metallgegenstände auch mit Gummiüberzügen versehen und erhält „Vulkoferan“.

Im Haushalt und in der Industrie endlich ist als Rostschutzüberzug verbreitet das Email. Es ist ein borsäurehaltiger Glasschmelzfluß, der durch Zusätze getrübt und durch Farbstoffe angefärbt worden ist. Email ist ein äußerst wirksamer Rostschutzüberzug. Zu unserem Leidwesen dehnt sich das Glas aber in anderer Weise aus als das Eisen. Bei schroffem Temperaturwechsel entstehen derart große Spannungen, daß der Emailüberzug abplatzt. Außerdem ist er natürlich auch spröde und zerbrechlich wie Glas.

Stahl, ein Werkstoff unserer Zeit

Einst war Stahl ein kostbarer Werkstoff, aus dem nur Pflugschar, Waffen und wenige andere Geräte hergestellt wurden. Allmählich weitete sich die Stahlproduktion aus,

und dem Stahl wurden immer neue Anwendungsmöglichkeiten erschlossen. Heute sind Eisen und Stahl zu allgemein verbreiteten, unentbehrlichen Rohstoffen geworden, und die Eisen- und Stahlindustrie ist eine der wichtigsten Grundindustrien jedes Kulturstaates. Riesige Hellinggerüste aus Stahl überspannen die Werften. Dort entstehen die stählernen Schiffsrümpfe, die zu modernen Ozeandampfern ausgebaut werden und mit ihren Überseefahrten die Kontinente verbinden und einander näher bringen. Auf stählernen Schienen ziehen Lokomotiven aus Stahl stählerne Züge durchs Land, brausen auf stählernen Brücken über die Flüsse und fahren sie als Hochbahnen über die Städte. Obusse und Lastkraftwagen, Autos und Fahrräder werden aus Stahl hergestellt. Sie alle dienen dem Verkehr und befördern Menschen und Waren. Der Verkehr ist einer der größten Stahlverbraucher geworden.

Aber auch das menschliche Wohnen ist ohne Stahl kaum mehr denkbar. Dominierend erheben sich in der Innenstadt die Stahlgerüste der Hochhäuser; als Stahlskelettbauten wurden sie aufgeführt. Daneben stehen die Bauten aus Eisenbeton. Auch am gewöhnlichen Wohn- und Geschäftshaus, überall sehen wir den Werkstoff Stahl. Häufig werden die Decken von Stahlträgern getragen. Scharniere und Beschläge, Zargen und Winkel, Tür- und Fenstergriffe und zahllose andere Einzelteile bestehen aus Stahl. Und wie wollte der Zimmermann die Balken zusammenfügen, wenn er nicht Säge und Stechbeitel, Hammer und Zange, Krampen und Nägel zur Hand hätte? Schlösser und Schlüssel, Gitter und Müllbehälter, Ofentüren und Ofenbleche — wohin wir auch blicken, überall Stahl! So ist die Bauindustrie der zweite Großverbraucher an Stahl.

Der dritte Großverbraucher ist die Maschinenindustrie. Sie liefert die Maschinen, die uns mit Energie versorgen. Sie führt zur Technisierung des Bergbaus, und sie erzeugt die Werkzeugmaschinen zur Formung der Werkzeuge. Wir können nicht sagen, welchem dieser drei Stahl-

verbraucher, Verkehr, Bau- oder Maschinenindustrie, der Vorrang gebührt. Einer ist so wichtig wie der andere, und einer bedingt den andern.

Aber damit ist der Stahlverbrauch bei weitem noch nicht völlig erfaßt! Auch die Hauswirtschaft gehört zu den Stahlverbrauchern. Da werden Töpfe, Löffel, Messer und Gabeln gebraucht, Matratzen-, Uhr- und Schreibfedern, Kochherde und Badewannen, Siebe und Scheren, Näh-, Steck-, Grammophon- und Haarnadeln, Schrauben, Nägel und Reißzwecken! Schon höre ich den Einwand: „Was wird schon eine Nähnaedel oder Reißzwecke ausmachen! Und auf diese Büroklammer und jene Haarklemme kommt es wohl auch nicht an!“ Wer solche Einwände bringt, der dürfte immerhin überrascht sein, wenn er erfährt, daß jährlich in Deutschland 2000 t Näh- und Stecknadeln, 1300 t Grammophonnadeln, 4 200 t Heft- und Büroklammern und 340 t Schreibfedern verbraucht worden sind. Sie aber gehören zu den kleinsten Gebrauchsgegenständen. Für Öfen und Kocher wurden jährlich schon 420 000 t, für Badewannen und andere Behälter 600 000 t, für Stahlbetten 50 000 t, für Matratzen- und Polstermöbelfedern 34 000 t und für Blechspielzeug 15 000 t Stahl verbraucht. So haben die deutschen Haushaltungen jährlich 1,7 Millionen Tonnen Eisen und Stahl verbraucht; das aber sind 212 500 Kubikmeter, aus denen ein Stahlwürfel von 60 m Kantenlänge hergestellt werden könnte.

Trotz mancher rückläufiger Tendenzen ist der Stahlbedarf unserer Industrie bis zum heutigen Tage immer weiter gestiegen. Mäßigend wirkten auf die Entwicklung in beachtlichem Maße vor allem zwei Gruppen Werkstoffe, die Leichtmetalle und die Kunststoffe. Die Leichtmetalle Magnesium und Aluminium und ihre Legierungen haben von Natur den großen Vorzug einer sehr geringen Dichte. Aber sie waren für die meisten Verwendungszwecke teils nicht fest und zäh genug, teils war ihre chemische Beständigkeit zu gering. Erst in den letzten Jahrzehnten

gelang es, zahlreiche Leichtmetalllegierungen zu schaffen, die sehr korrosionsbeständig sind und dazu die Härte und Zähigkeit des Stahls nahezu erreichen. Die Erfolge auf dem Gebiete der Leichtmetallverwendung veranlaßten bereits manchen Optimisten, eine Ablösung des Eisenzeitalters durch ein Leichtmetallzeitalter vorauszusagen. So stürmisch aber die Aufwärtsentwicklung der neuen Industrie war, den Bestand der Stahl- und Eisenindustrie hat sie dennoch keineswegs erschüttert. Auch in naher Zukunft werden beide nebeneinander bestehen, und jede wird ihre eigenen Aufgabengebiete haben. Der Leichtmetallindustrie ist es vorbehalten, den Stahl im Fahrzeugbau weitgehend zu ersetzen. Aus Leichtmetalllegierungen werden Flugzeuge gebaut, werden zahllose Einzelteile im Automobil- und Schiffsbau hergestellt, und auf den Schweizer Gebirgsbahnen sind längst mit Erfolg Leichtmetallzüge eingesetzt worden. Die Verringerung der toten Last bei den Fahrzeugen bedeutet Erhöhung der Geschwindigkeit, und zwar infolge der geringer werdenden Zentrifugalkraft auch beim Befahren von Kurven. Sie bedeutet ferner Verringerung des Kraftstoffbedarfs, Schonung der Räder und Reifen und Schonung der Schienen und Straßendecken. Auch im Bauwesen können bei verstärkter Anwendung von Leichtmetallen Materialeinsparungen erzielt werden, da hierdurch die Gesamtlast der Bauten geringer wird und die Fundamente und Mauern weniger belastet werden. Und auch für den persönlichen Gebrauch bringt die Anwendung von Leichtmetallen mancherlei Annehmlichkeiten mit sich; denken wir nur an den Schlüsselbund, den wir täglich mit uns herumtragen!

Der zweite wichtige Konkurrent des Stahls ist der Kunststoff. Metallgewinnung, -verarbeitung und -verwendung fußen auf jahrhunderte- und zum Teil jahrtausendealten Entwicklungen und Erfahrungen. In der Kunststoffindustrie hingegen stehen wir noch am Anfang. Schon ist die Fülle der erzeugten Kunststoffe unübersehbar groß. Immer

neue Anwendungsgebiete werden ihnen erschlossen. Wohin die Entwicklung der Kunststofftechnologie führen wird, ist noch nicht abzusehen. Schon werden zahlreiche Kunststoffe als Austauschwerkstoffe für Metalle verwendet. Gehäuse von Apparaten aus Kunststoffen sind keine Seltenheit mehr. Zahnräder und Lager, die als hochbeanspruchte Teile große Härte und Verschleißfestigkeit aufweisen müssen, werden bereits aus Kunststoffen hergestellt, und es wurden zum Beispiel auch Versuche unternommen, die Buchdrucklettern aus Kunststoffen zu formen.

Die Industrien der Leichtmetalle und der Kunststoffe werden sich in Zukunft weiterentwickeln und ausdehnen. Sie werden große Aufgabengebiete übernehmen, die der stahlverarbeitenden Industrie einst gestellt waren. Sie werden damit eine Entlastung herbeiführen, aber eine kraftvolle Weiterentwicklung der Eisen- und Stahlindustrie weder verhindern noch einschränken, denn nach wie vor ist die Stahlindustrie die Grundindustrie jedes Industriestaates. Das zeigt sich ganz besonders deutlich auch im Fünfjahrplan, der den Wiederaufbau der deutschen Friedensindustrie bestimmt. „Auch im Jahre 1952 wird unsere besondere Aufmerksamkeit auf die Entwicklung der Produktion von Schwermaschinen, großen Werkzeugmaschinen sowie von Ausrüstungen für die Energiewirtschaft, den Bergbau, die Metallurgie, Chemie, Bauindustrie, den Verkehr usw. gerichtet“ heißt es im Volkswirtschaftsplan 1952. Das aber sind die ureigensten Aufgabengebiete der neu entstehenden und sich kraftvoll entfaltenden deutschen Eisen- und Stahlindustrie.

STICHWORTVERZEICHNIS

einfache Ziffer = Textseite
 Z vor der Ziffer = Zeichnung im Text (Seitenzahl)
 B vor der Ziffer = Bild auf Tafel (Bildnummer)

- | | |
|--|---|
| <p>Abschlacken (Konverter)
 73, B 32
 Abschrecken (Stahl) 90
 Abstich (Hochofen) 54,
 B 18, B 19, B 25
 — (Siemens-Martin-Ofen)
 81, B 40, B 41
 Abstichrinne (Hochofen) 41
 Abstreifen (Kokillen) 74,
 B 35
 Adhäsion 108, Z 109
 Alpha-Eisen, α-Eisen 88,
 B 48
 Altmaterialverwertung 75
 Anlassen (Stahl) 90/91
 Anlaßtemperatur 90
 Anlauffarben 90
 Austenit 89</p> <p>Badeleben (Erzlager) 65/66
 Bandeisenwalzwerk 100,
 B 65
 Begichtung (Hochofen)
 46/49, B 14, B 15
 Beschickungshalle (Siemens-
 Martin-Stahlwerk)
 77, B 37, B 38, B 39
 Blechwalzwerk 101, B 67,
 B 68, B 69, B 70
 Blockstraße 97ff.
 Blockwärmofen 99
 Blutstein 19
 Bodenstein (Hochofen) 41
 Bohnerz 15, 20
 Brauneisenstein 18, 20, 51
 brauner Glaskopf 20
 Braunkohlenhüttenkoks
 64/65
 Brennen (Spateisenstein)
 27/28
 Brikettieren (Feinerz) 29
 Bunkertaschen (Hochofen)
 B 9</p> | <p>Chamositerze 28
 Chromstahl 83
 Chromnickelstahl 83</p> <p>Dampfhammer 95, B 51,
 B 52
 Dampfhydraulische Schmie-
 depresse B 55
 Diffusionsverfahren 114
 Drahtwalzwerk 101, B 66
 Duowalzgerüste 100</p> <p>Edelstähle 82
 Eisen, reines 69
 —, Vorkommen 11
 Eisenbakterien 14
 Eisenerze 16ff.
 —, karbonatische 17, 18
 —, kieselsäurereiche 66
 —, oolithische 15
 —, oxydische 17, 18, 19ff.
 —, sulfidische 17, 18, 25
 Eisengießerei 55
 Eisenglanz 19
 Eisengußwerkstoffe 89, B 48
 Eisenhammerschlag 114
 Eisenhüttenkombinat
 J. W. Stalin 24, B 1, B 2
 Eisenhüttenmauersteine 53
 Eisenhydrogenkarbonat 12,
 112
 Eisenhydroxyd 13, 112
 Eisenkarbid 55, 87
 Eisenkarbonat 12
 Eisenkies 17, B 7
 Eisen-Kohlenstoff-Zu-
 standsdiagramm 86ff.,
 B 48
 Eisenluppen 68
 Eisenmennige 115
 Eisenocker 13
 Eisenportlandzement 53
 Eisenrogenstein 15</p> |
|--|---|

Eisensäuerlinge 13
Eisenspat 17, 18
Eisenwerk West (Calbe) 65
Elektroblockstraße 99, B 63
Elektrostahlofen 82, Z 83,
B 43, B 44, B 45, B 46,
B 47
Elektrostahlwerk 81 ff., B 42,
B 43, B 44, B 45, B 46,
B 47
Elektrostahlwerk Döhlen
B 46, B 47
Email 115
Englischrot 26
Entgasung (Kohle) 32
Entkohlung 63, 69 ff., 79
Entphosphorung 73
Entschwefelung 58, 63, 65
Erbsenstein 15
Erzanalysen 18
Erzaufbereitung 24 ff.
Erzberg (Steiermark) 20
Erze, basische 50
—, kieselsäurereiche 63
—, saure 50, 64
Erztagebau 20
Eutektischer Punkt Z 87,
B 48

Fallwerkkrän 76
Feinblechwalzwerk 102, B 68
Feinung 82
Ferrit 88, B 48
Ferrolegierungen 83
Flußstahl 81, 82
Förderung der Erze 21
Formerei 58, B 22, B 23
Formsand 55, 58
Frischen 69

Gangart 49
Gattieren 56
Gebläsewind (Hochofen) 45
Gefügebilder (Stahl) 88, B 48
Gesenke 95
gesinterte Hartmetalle 104
Gestell (Hochofen) 41
Gichtbühne 46/47
Gichtgas 33, 47, 52
Gießen Z 59

Gießgrube 73
Gießtrichter Z 59, 60
Gitterdiffusion Z 109
Glaskopf, brauner 20
—, roter 19, B 5
Glimmer 12
Glühofen 94, B 50
Granulationsrinne 44
graues Roheisen 54
Grauguß 56, 61, 62, B 24
Grobblechwalzwerk 102,
B 67

Haematit 19
Hametagverfahren 106,
Z 107
Hammerwerk 94
Hartmetalle 104
Herdfrischen 70
hochlegierte Stähle 82
Hochofen 41 ff., Z 43, B 9
—, Abstich 54, B 18, B 19,
B 25
—, Begichtung 46/49, B 14,
B 15
Hochofenprozeß 49 ff.
Hochofenschlacke 52/53
Hochofenzement 53
Homogenisierung 109/110
Hüttenkoks 64
Hüttenschwemmsteine 53
Hüttenwerkshafen 24, B 8

Inchromieren 114
Invarstahl 83

Kaliber 97
Kalk (als Gangart) 50
kaltbrüchig (Stahl) 81
Kaltwalzwerk 102
Kammerofen Z 37
Karbidgehartmetalle 104
karbonatische Erze, Bren-
nen 27/28
Kiesabbrände 17, 18, 26
Kieselsäure (als Gangart) 50
kieselsäurereiche Erze 63
Kippstuhl 97, B 56, B 57
Kobalt-Wolfram-Stähle 84
Kohlendioxyd 50

Kohlenmonoxyd 47, 49, 50,
 51
 Kohlensack (Hochofen) 43
 Kohlenstoff als Reduktions-
 mittel 52
 — in Eisen 69
 Kohlenstoffstähle 82
 Kohlzone (Hochofen)
 52
 Kokerei 30ff., Z 35, 36
 Kokereigas 39
 Kokillenguß 73, B 34
 Koksaustrag 37, B 12
 Kokskammer, Füllen B 11
 Koksofenbatterie Z 31, 32,
 Z 34, Z 37
 Konverter Z 71, 79, B 28,
 B 29, B 30
 Korngrenzen-Zementit-
 Netzwerk 88, B 48
 Krupp-Renn-Verfahren
 Z 66/67
 Kupolofen Z 57, B 21

 Lastmagnet 75/76
 legierte Stähle 79, 82
 Legierungen 83
 Lokalelemente 113
 Lunger 60
 Luppen 68
 Lurgi-Tellerofen Z 27

 Magnetit 18, 19
 Mangan im Erz 19
 — im Roheisen 55
 Manganstähle 84
 Martensit 91
 Massel(n) 56, 75
 Masselbett 55
 Masselguß 55/56, B 20
 Masselschlagwerk 56
 Maxhütte 41ff.
 Metallkeramik 105
 Metallographie 92
 Metallpulver 106, Z 107
 Metallüberzüge (Rost-
 schutz) 113
 Metalluntersuchung 85
 Mikroanalyse (Metalle) 85ff.
 92

Minette 15
 Mischen 70, B 26, B 27
 Möller 50
 Molybdänstahl 103
 Molybdän-Vanadin-Stahl 84

 Nadelboden (Konverter) 72
 Nichtrostende Stähle 113
 Nickelstahl 83
 Niederschachtofen 65
 Nirosa 113

 Oberflächendiffusion 108,
 Z 109
 Ocker 20
 oolithische Eisenerze 15, B 6

 Paketierpresse 77
 Perlit 88, B 48
 Phosphor im Erz 73
 — im Rohstahl 81
 Polierrot 27
 Polypgreifer 76, 77
 Pulvermetallurgie 105ff.
 Putzerei 62
 Pyrit 17, 18, 25, B 7

 Qualitätsstähle 82

 Radialwalzwerk 103, B 72
 Raffinieren (Rohstahl) 81
 Raseneisenerz Z 13, 14, 20
 Rast (Hochofen) 41
 Reaktion, umkehrbare 52
 Reduktion 49
 Reduktionsmittel 49
 Reduktionszone (Hochofen)
 51
 Roekner-Verfahren 103,
 B 72
 Rogenstein 15, 20, B 6
 Roheisen 54/55, 69
 Roheisen-Erz-Prozeß 81
 Roheisenmischer 70, B 26,
 ' B 27
 Roheisen-Schrott-Prozeß 81
 Röhrenaustauscher 45
 Rohstahl 81
 Rollenbahn (Walzwerk) 97,
 B 56, B 57
 Rohrstoßverfahren 103

Rosten 112
 Rösten sulfidischer Erze
 25/26
 Röstofen 25/26, Z 27
 Rostschutz 113ff.
 rotbrüchig (Stahl) 25, 81
 Roteisenstein 18, 19
 Rötel 19
 roter Glaskopf 19, B 5
 Rückkohlung (Stahl) 73

 Salzgitter-Erz 64, 65
 Sandfänger (Hochofen) 44
 Schacht (Hochofen) 41
 Schalenhartguß 62
 Schaumslagge 53
 Schienenwalzwerk 100, B 60
 Schlacke 43, 50, 52, B 13
 —, basische 63
 Schlackenpflastersteine 53,
 B 16, B 17
 Schlackensand 44, 53
 Schlackensplitt 53
 Schlackenwolle 53
 Schmelzzone (Hochofen) 52
 Schmiedehammer 95/96
 Schmieden 94ff.
 Schmiedepresse 96, B 53,
 B 54, B 55
 Schnellarbeitsstahl 84,
 103/104
 Schrägwalzwerk 102, B 71
 Schrott 75
 Schwefel im Erz 17, 25
 —, Bindung durch Schlacke
 58, 63
 — im Rohstahl 81
 Schwefeldioxyd 26
 Schwefelkies 17, 25, B 7
 See-Erz 20
 Siderit 17
 Siemens-Martin-Ofen 77,
 Z 78, 79, Z 80, B 37, B 38,
 B 39, B 40, B 41
 Siemens-Martin-Stahlwerk
 75ff., Z 78, B 37, B 38,
 B 39, B 40, B 41
 Silizium im Roheisen 54
 Sinteranlage 29

Sintereisen 112
 Sintererz 30, B 10
 Sinterhartmetalle 104
 Sinterkörper 110, Z 111
 Sinterverfahren Z 107, 108
 Spanabhebende Verformung
 103
 Spateisenstein 18, 19, 51
 —, Brennen 27/28
 Spiegeleisen 73
 Stahl 69
 Stahlgießerei 93, B 49
 Stahlwasser 13
 Steiger Z 59, 60
 Stellite 104
 Strecken des Walzblocks
 97/98, B 58
 Streifenwalzwerk 100, B 64
 Sulfidische Erze, Rosten
 25/26
 Sumpferz 20

 Temperguß 63
 Thomasbirne, Thomas-
 konverter Z 71, 79, B 28,
 B 29, B 30
 Thomasmehl 73
 Thomasschlacke 73
 Thomasstahl 81
 Thomasstahlwerk 70ff., 79,
 B 28, B 29, B 30, B 31,
 B 32, B 33
 Tiefbau 21
 Tiefofenanlage 74, B 36
 Titanit 104
 Toneisenstein 19
 Tonerde als Gangart 50
 Trägerwalzwerk 100, B 61
 Triowalzgerüste 100, 101

 Umkehrbare Reaktion 52
 Umschlaghafen 22

 Vanadinstahl 84, 103
 Verchromen 114
 Verhüttung der Eisenerze
 49ff.
 Verladeeinrichtungen 22, 23
 Vernickeln 114

Verzinken 113
Verzinnertes Blech 113
Vollhartguß 63
Vulkoferran 115

Wagenkipper 22
Walzblockformen 97
Walzgerüst 97, Z 98, B 58,
B 59, B 60, B 61, B 62
Walzwerk 97ff., B 58, B 59,
B 60, B 61, B 62, B 63
Warmbehandlung des Stahls
89
Warmblechwalzwerk 102,
B 70
Wärmespeicher Z 33, 34, 79,
Z 80
Wasserkühlung (Hochofen)
42
Weißblech 113

weißes Roheisen 55
Widia 104
Wind (Hochofen) 42
Winderhitzer Z 43, Z 44, 45,
B 14
Windfrischen 70
Wipptische 100, 101, B 69
Wolframkarbid 111
Wolframstahl 84, 103

Zementanstrich 114,
Zementit 87
Zinkdiffusion 114
Zurichterei 100
Zusatzschrott (Konverter)
72, B 31
Zuschläge 50
Zustandsdiagramm der
Eisen-Kohlenstoff-
Legierungen 86ff., B 48

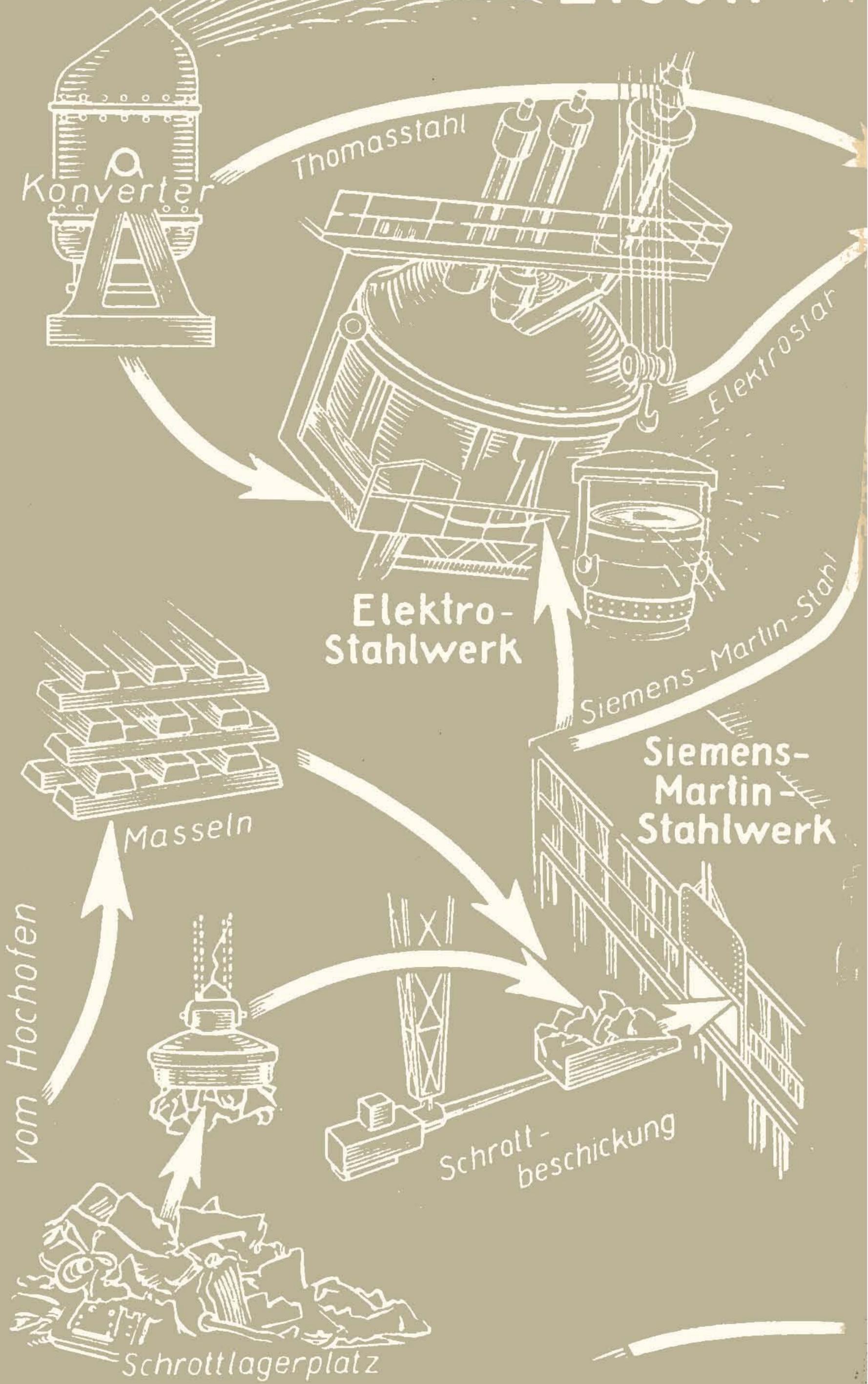
HERKUNFT DER BILDER

Aus Stapf, Grundlagen-Chemie für technische Berufe, Fachbuchverlag in Verbindung mit Julius Klinkhardt, Verlagsbuchhandlung, Leipzig, wurden entnommen Bild 12, 40, 44, Aus Stapf, Chemie und Technologie für die Metallindustrie, Fachbuchverlag, Bild 1, 2, 5, 6, 15, 16, 17, 24, 31, 34, 46, 47

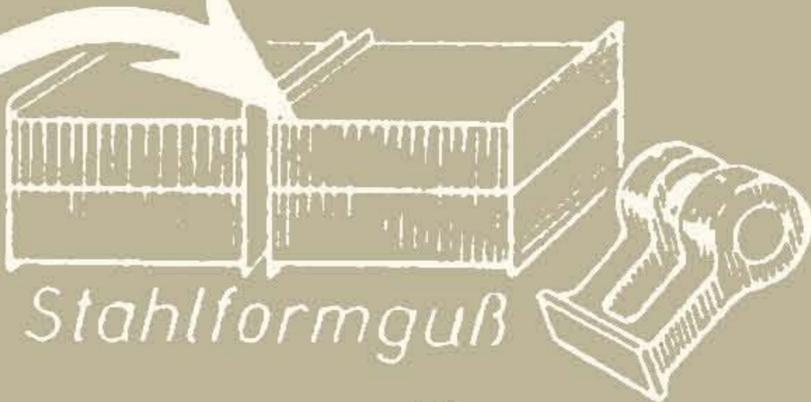
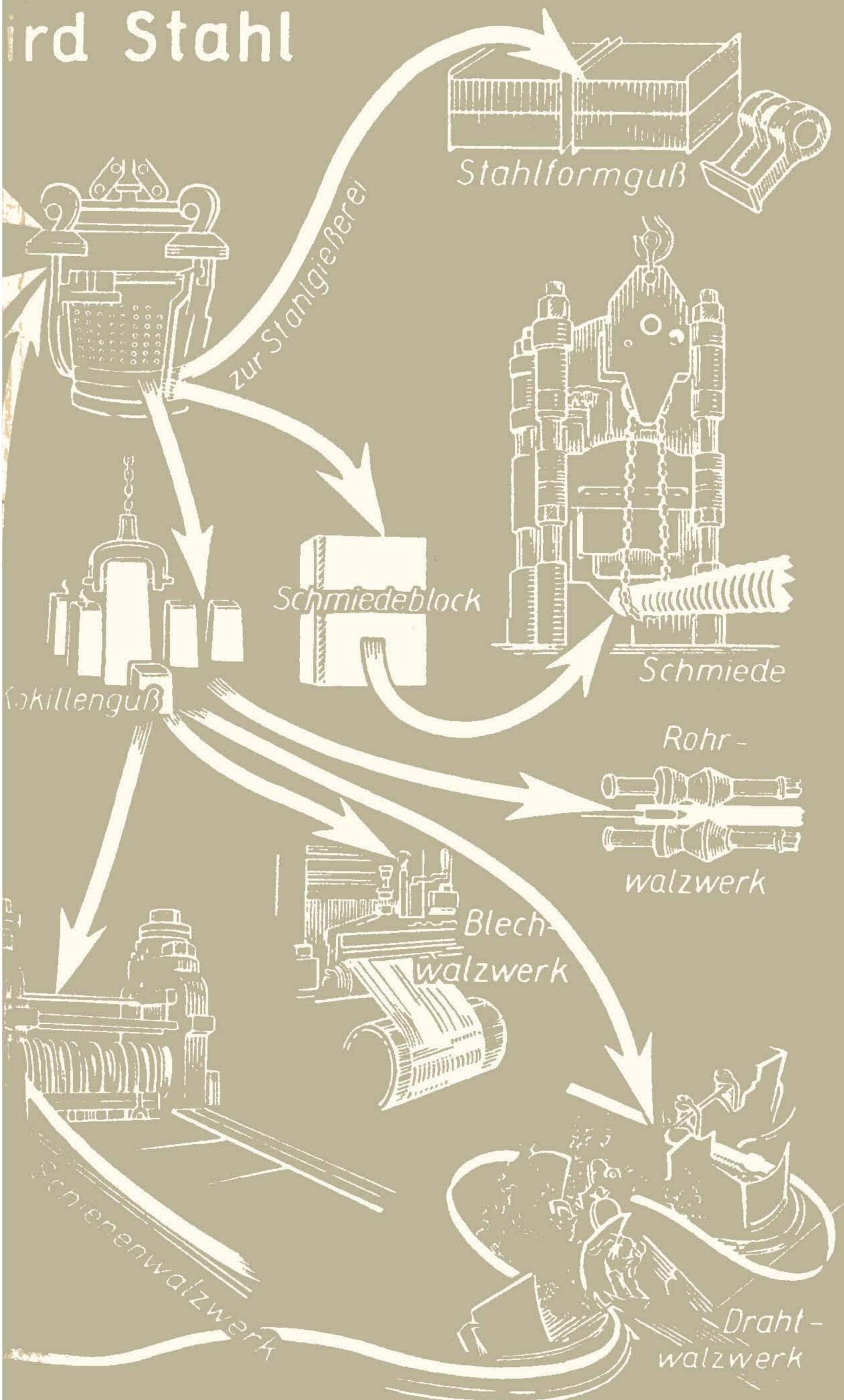
Wir verdanken

dem Eisenhüttenkombinat J. W. Stalin die Bilder 1, 2,
der Maxhütte, Unterwellenborn 15, 31,
dem Stahl- und Walzwerk „Wilhelm Florin“, Hennigsdorf,
24,
dem Stahlwerk Riesa, 34, 39,
dem Elektrostahlwerk Döhlen, 46, 47,
der Demag, Duisburg, 9, 12, 28, 29, 40, 44,
dem Stahlhof, Düsseldorf, die übrigen Werkfotos
und dem Bildarchiv des Verfassers 3, 4, 7.

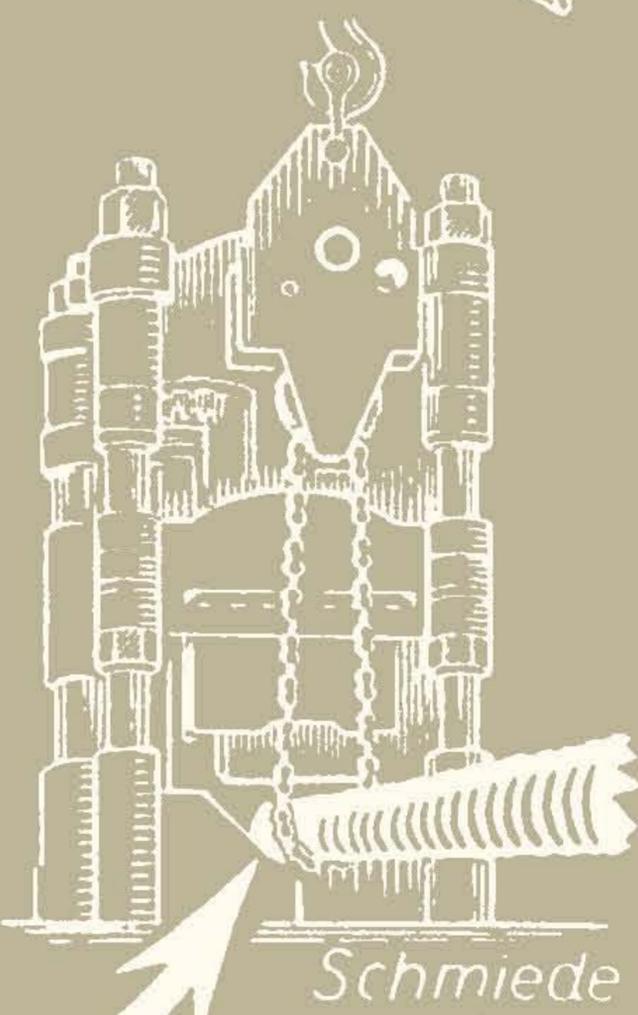
Eisen w



ird Stahl



zur Stahlgießerei



Schmiedeblock

