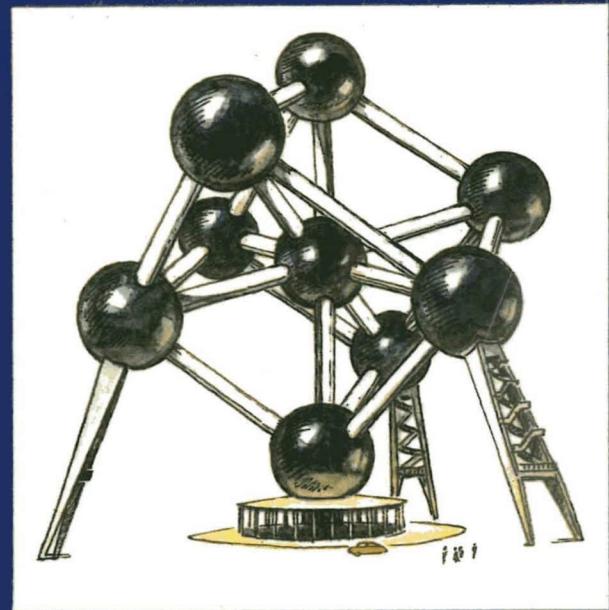
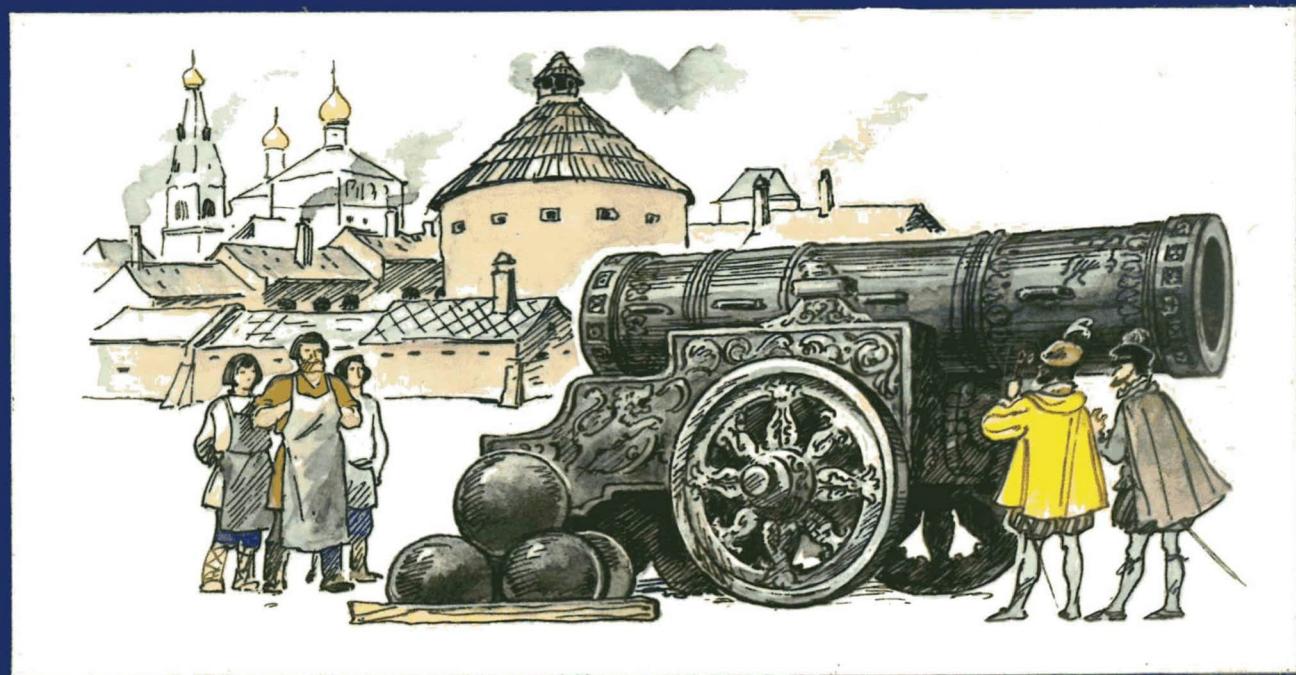


Erzählungen über Eisen



MESENIN



Erzählungen über Eisen

Von Nikolaj A. Mesenin

Mit 63 Bildern



VEB Deutscher Verlag
für Grundstoffindustrie
Leipzig

Lizenzausgabe von der 2. Auflage der
Originalausgabe mit Genehmigung des
Verlages »Metallurgija«, Moskau

© Издательство »Металлургия«, 1977
Мезенин, Николай Александрович
»Занимательно о Железе«
Издание второе, дополненное и переработанное

Übersetzung aus dem Russischen:
Dr.-Ing. Jürgen Bast

Herausgeber der deutschsprachigen Ausgabe:
Prof. Dr. sc. techn. Heinz-Joachim Spies

Bearbeiter und Verfasser der neuen Abschnitte:
Prof. Dr. sc. techn. Heinz-Joachim Spies und
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Hans-Joachim Eckstein

Illustration der Originalausgabe:
B. L. Rytman und O. M. Schuchwostow

1. Auflage
© Deutschsprachige Ausgabe: VEB Deutscher Verlag
für Grundstoffindustrie, Leipzig
VLN 152-915/76/82
LSV 3309
Printed in the German Democratic Republic
Typografie und Einband: Barbara Neidhardt
Gesamtherstellung: INTERDRUCK Graphischer
Großbetrieb Leipzig – III/18/97
Bestell-Nr.: 541 583 2
DDR ~~████████~~ M

Geleitwort

Bei der weiteren Gestaltung der entwickelten sozialistischen Gesellschaft in der DDR spielt die Metallurgie eine wichtige Rolle in der perspektivischen Entwicklung neuer Technologien für die metallverarbeitende Industrie. Der Anlagen- und Maschinenpark unserer Industrie ist zum überwiegenden Teil nicht älter als 5 bis 10 Jahre. Das bedeutet jedoch gleichzeitig eine enorme Steigerung des quantitativen und qualitativen Bedarfes an metallurgischen Erzeugnissen.

Bekanntlich ist dabei Stahl gegenwärtig und in Zukunft der wichtigste Konstruktionswerkstoff.

In dem vorliegenden Buch erfährt der Leser viele Einzelheiten über die Gewinnung, Verarbeitung und Verwendung der Eisenbasislegierungen. Unterhaltende Episoden und interessante Fakten aus der Ge-

schichte des Eisens zeigen u. a., daß sich die Schwarzmetallurgie der DDR auf eine langjährige Tradition stützen kann.

Die Metallurgie der DDR wird durch den weiteren Ausbau zur Veredlungsmetallurgie in enger Zusammenarbeit mit der Metallurgie der UdSSR und den RGW-Ländern einen wichtigen Beitrag zur Senkung der Materialintensität der Volkswirtschaft leisten.

Möge das vorliegende Buch vor allem junge Leser anregen, sich mit diesem wichtigen Industriezweig näher zu beschäftigen.

Dr.-Ing. Kurt Singhuber
Minister für Erzbergbau, Metallurgie und Kali

Vorwort

N. A. Mesenin stellt in seinem Buch das Eisen vor, seine Geschichte, seine Herstellung, seine Eigenschaften und die Vielfalt seiner Einsatzgebiete. Die Möglichkeit, die Eigenschaften des Eisens durch die Legierungs- und Behandlungstechnik in weiten Grenzen zu verändern, machte aus dem begehrten Metall des Altertums und des frühen Mittelalters den wichtigsten Konstruktionswerkstoff unserer Tage. Der Autor berichtet in einer Fülle von interessanten Fakten und technischen Details über das Eisen. Der Leser lernt z. B. das von den Schmieden des Orients bis in unsere Tage sorgfältig gehütete Geheimnis des indischen Stahles kennen. Er erfährt u. a. von einem Brief, der auf ein »Blatt« aus Eisen geschrieben wurde und den Atlantik überquerte. Diese Eisenfolie kennzeichnet ein Stadium einer Entwicklung, welche schließlich zur Produktion von Folien für moderne Farbfernsehgeräte führte.

Mesenin hat, ausgehend von seinem Leserkreis, bei der Erläuterung von Beispielen verständlicherweise nur auf wesentliche Zusammenhänge aus der deutschen Geschichte aufmerksam gemacht. Den Bearbeitern schien es notwendig, für den deutschen Leser hier eine Reihe von Ergänzungen und Präzisierungen vorzunehmen. Das betrifft z. B. den Beitrag von Eduard Maurer zur Entwicklung der nichtrostenden Stähle, die Entwicklung der Werkstoffprüfung im vergangenen Jahrhundert, aber auch die Rolle von Krupp, besonders sein Auftreten auf den Weltausstellungen.

Nur etwa 7% der deutschen Roheisen- und Stahlproduktion des Jahres 1936 entfielen auf das Territorium unserer Republik. Das war nicht immer so. Schmalkalden und Suhl waren im Mittelalter bedeu-

tende metallurgische Zentren. Die Suhler Waffenschmiede versorgten im 16. Jahrhundert ganz Europa mit Handfeuerwaffen. Sachsen hatte im 17. Jahrhundert eine Monopolstellung auf dem Gebiet der Weißblecherzeugung. Von den Bearbeitern wurden deshalb die Abschnitte über die Weißblecherzeugung im Erzgebirge und die Gewehrfabrikation in Suhl neu in das Buch aufgenommen. Dem Kapitel »Ausgestorbene Berufe« wurde der Abschnitt über das »Eisenwalzwerk« von Adolph Menzel angefügt. Daneben war es notwendig, neue Erkenntnisse und Forschungsergebnisse zu berücksichtigen. Das gilt nicht nur für aktuelle technische Probleme, sondern auch für historische Fragen. So wurden z. B. die Kapitel über die Eisensäule in Delhi und den Damaszener Stahl wesentlich ergänzt. Bei der Erläuterung von Beispielen aus der Geschichte des Eisens konnten sich die Bearbeiter auf das fünfbandige Werk von Ludwig Beck stützen. Das von ihm zusammengetragene Material stellt noch heute eine wertvolle Quellensammlung dar.

Der Abschnitt »Die sowjetische Schwarzmetallurgie und metallurgische Berufe« wurde durch ein analoges Kapitel über die DDR-Metallurgie ersetzt. Herrn Oberlehrer Ing. Fr.-K. Teupel, der uns für dieses Kapitel einen ergänzenden Abschnitt zur Verfügung stellte, sind wir zu Dank verpflichtet. Den Herren Prof. Dr. sc. techn. M. Beckert und Doz. Dr. sc. techn. G. Pusch danken wir für konstruktive Hinweise zur überarbeiteten Fassung.

Prof. Dr. sc. techn. H.-J. Spies
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. H.-J. Eckstein

Inhalt



Eisen überall

- 12 Eisen in der lebenden Natur
- 13 Eisen im Meerwasser und auf dem Meeresgrund
- 14 Eisen auf der Erdoberfläche
- 16 Eisen im Kosmos

Die Eigenschaften des Eisens

- 20 Gibt es reines Eisen?
- 21 Der Kristall von Tschernow
- 22 Eisen – ein Magnet
- 24 Rost vertilgt Eisen
- 26 Ungewöhnliche Stähle

Aus der Geschichte des Eisens

- 31 Teurer als Gold
- 32 Ein ehrenvoller Beruf
- 35 Die Eisensäule von Delhi
- 37 Damaszenerstahl
- 41 Weißblech aus dem Erzgebirge
- 46 Die Uraler Marke
- 48 Der Erlaß Peter des I.
- 50 Ausgestorbene Berufe
- 52 Adolph Menzels »Eisenwalzwerk«

Eisen in der Technik

- 58 Biographie der Eisenerzeugnisse
- 64 Eisen im Krieg
- 67 Die Gewehrfabrikation um Suhl
- 68 Bauwerke aus Eisenwerkstoffen
- 77 Stahl und Eisen auf den Weltausstellungen
- 81 Ein Brief auf Eisen
- 82 Der Streit zwischen Gußeisen und Stahl
- 84 Etwas über Rohre
- 86 Metalle in der Atomenergietechnik
- 88 Metalle im Kosmos

Allerlei Wissenswertes über das Eisen

- 91 Mosaik metallurgischer Sprichwörter
- 92 Diamanten im Eisen
- 93 Gold aus dem Hochofen
- 93 Eine gefährliche Legierung
- 94 Kunstguß – Gegossene Poesie
- 97 Das eiserne Amulett
- 97 Die eiserne Kammer
- 98 Das Hochofenwerk – ein Kurbadeort

Einiges zur Technik der Eisenerzeugung

- 100 Alte Rezepturen
- 100 Mikrometallurgie
- 102 Ungewöhnliche Formgebungsmethoden
- 104 Stahl in der Kälte
- 105 Warmfeste Werkstoffe

Eisen und die wissenschaftlich-technische Revolution

- 108 Intensivierung der Prozesse
- 110 Automatisierung der Prozesse
- 111 Die direkte Eisengewinnung
- 112 Die kontinuierliche Stahlherstellung
- 114 Das Elektronenstrahl- und Plasmaschmelzen

Die Zukunft des Eisens

- 117 Eisen und der technische Fortschritt
- 117 Unterirdische Metallurgie
- 118 Basaltmetallurgie
- 119 Submariner Bergbau
- 120 Biometallurgie

Die Schwarzmetallurgie und die metallurgischen Berufe in der DDR

- 123 Die Schwarzmetallurgie der DDR
- 123 Was und wieviel der Metallurge wissen muß

Eisen in der lebenden Natur

Eisen im Meerwasser

und auf dem Meeresgrund

Eisen auf der Erdoberfläche

Eisen im Kosmos

Eisen überall



Eisen in der lebenden Natur

Im vorigen Jahrhundert machte der Franzose Marey eine sensationelle Entdeckung. Er stellte Eisen im Blut des Menschen fest. Der Träger des Eisens im Blut ist das Hämoglobin. Das Hämoglobinmolekül besteht aus vier Hämgruppen, die im Zentrum je ein Eisenatom enthalten. Das Eisen bestimmt auch die rote Farbe dieses Stoffes. Eisen ist für Menschen und Tiere gleichermaßen erforderlich, da es an allen Reduktions- und Oxydationsprozessen im Organismus teilnimmt. In den menschlichen Organismus gelangt es hauptsächlich durch die Nahrung, vor allem durch das tierische Eiweiß. An einem Tag scheidet der Körper 1 mg Eisen aus. Die gleiche Menge sollte er zu sich nehmen. In der Regel nimmt der Organismus nicht mehr als ein Zehntel des in der Nahrung enthaltenen Eisens auf. Damit ergibt sich für den Menschen eine Tagesnorm von 10 bis 15 mg Eisen. Eisenmangelerkrankungen entstehen vor allem durch ungesunde Ernährung. So kann ein zu langes Einhalten einer Hungerdiät, eine ausschließliche Ernährung mit Milchspeisen sowie das Fehlen von Fleisch, Eiern, Gemüse und Obst in der Ernährung zu derartigen Eisenmangelerkrankungen führen.

Der Eisenmangel im menschlichen Körper kann durch besonders eisenhaltige Nahrungsmittel, wie Leber, Quark, Zuckermelonen, Apfel, Pflaumen, Aprikosen, Kürbisse, Tomaten, Kartoffeln und Roggenbrot, ausgeglichen werden. Auf den Philippinen und Puerto Rico ist gesetzlich geregelt, daß die Verwendung von Reis für die menschliche Nahrung nur mit Zusätzen von Vitaminen und Eisen erfolgen darf. Ähnliche Gesetze wurden auch in den Südstaaten der USA erlassen. Diese Festlegungen sind eine Folge der Unvollkommenheit der Reiskörner im biochemischen Sinne.

Eine andere Möglichkeit des Ausgleiches von Eisenmangel im menschlichen Organismus ist durch chemische Präparate gegeben, die leichtlösliche Verbindungen des Eisens enthalten. Schon in alten Zeiten waren Rezepte für die Bereitung eisenhaltiger Arzneien bekannt. Ein Beispiel dafür ist die 1725 vom Grafen Bestjushevski-Rjumini empfohlene Tinktur zur Beruhigung der Nerven. Die Bestjushevski-Tropfen enthalten in einer Mischung von Alkohol und Äther gelöstes Eisenchlorid. Im Licht verfärbt sich diese Flüssigkeit durch die Reduktion von $FeCl_3$ zu $FeCl_2$.

Die moderne Medizin kennt viele Präparate, die auf Eisenverbindungen aufgebaut sind. Bei Blutmangel,

Depressionen und nach Infektionskrankheiten zum Beispiel werden Eisenpräparate verwendet mit Eisensulfaten und -karbonaten sowie Verbindungen des Eisens mit organischen Säuren, wie Milchsäure, Askorbinsäure usw.

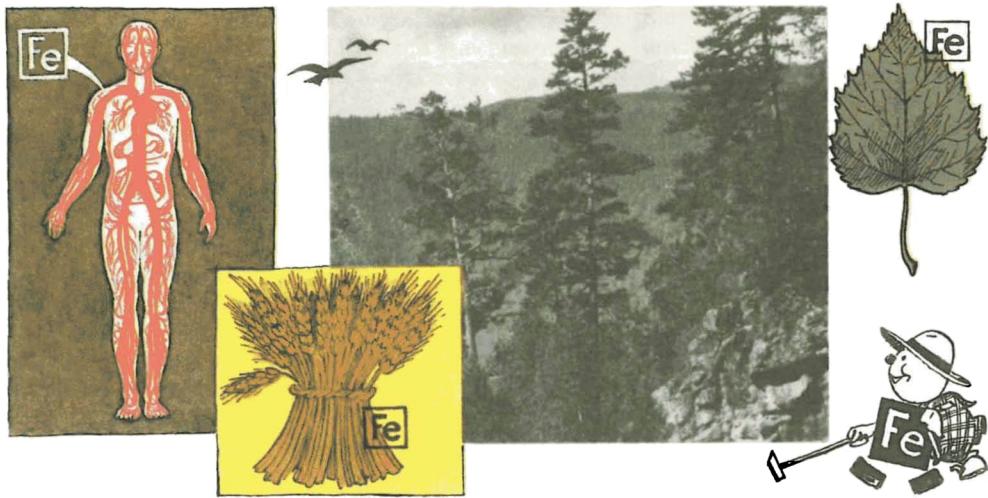
Im Bereich der Flora spielt das Eisen ebenfalls eine wichtige Rolle. Es ist bekannt, daß 99 % der Lebendmasse von Pflanzen aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Kalzium, Magnesium, Schwefel, Eisen, Stickstoff, Phosphor und Kalium bestehen. Mit Ausnahme von Eisenbakterien binden alle Lebewesen von der Pflanze bis zum Menschen den eingeatmeten Sauerstoff in Form von komplizierten Verbindungen. Im Zentrum dieser Verbindungen befindet sich ein Metallatom: bei den Pflanzen ein Magnesiumatom und bei den Tieren ein Eisenatom. Eisen ist auch für die Bildung von Chlorophyll notwendig, obwohl es in dieser Verbindung selbst nicht enthalten ist. Es beeinflußt die Pflanzenatmung wesentlich.

Ende des vergangenen Jahrhunderts veröffentlichte der Deutsche E. Lüdke Ergebnisse über die Abhängigkeit des Wachstums unterschiedlicher Hölzer von im Boden enthaltenen Mineralien. Lüdke stellte fest, daß in den Rheinprovinzen die Eisenlager in der Hauptsache mit Birkenwäldern bedeckt sind, während die umgebenden Regionen ohne Eisenerze Eichen, Buchen und andere Baumarten aufweisen. Der Wissenschaftler fand eine Abhängigkeit zwischen dem Wachstum der bekannten Holzarten und dem Gehalt an unterschiedlichen Mineralsalzen im Boden.

Über die »grünen« Kundschafter des Erdinneren wußte man schon früher Bescheid. M. W. Lomonossow beobachtete, daß die Flora über Erzlagerstätten ihr normales Aussehen verändert. Unter Ausnutzung der von Lomonossow aufgestellten »botanischen Beziehung« entdeckten Geologen die Kupferlagerstätten in Zentralkasachstan.

Im 16. Jahrhundert wurden spezifische geobotanische Zeichen für die Erkundung von Erzen ausgenutzt. So sollten die während der Regierungszeit Iwan des Schrecklichen und auch in späteren Perioden nach Westeuropa entsandten russischen Botschafter solche Pflanzen ausfindig machen, die in der Nähe von Silbererzlagerstätten gedeihen.

Die Suche nach Erzen unter Verwendung von Pflanzen wird jetzt als Spezialwissenschaft, als Biogeochemie, betrieben. Es sind mehr als 40 verschiedene Arten von Pflanzen bekannt, die auf Erzvorkommen reagieren. Ein ständiger Begleiter der Eisenerzlagerstätten ist



ein mehrjähriges Grasgewächs, das in Mittelasien, Sibirien und im Fernen Osten beheimatet ist. Wissenschaftler vertreten auch die Meinung, daß die Birkenblätterasche eine braune Farbe zeigt, wenn die Birken auf einer Eisenerzlagerstätte wachsen.

Die in die Pflanzen gelangenden Metalle reichern sich an unterschiedlichen Stellen an. Aluminium ist oft in den Kronen, Molybdän im Samen sowie Eisen und Mangan in den Blättern und Nadeln der Gewächse anzutreffen.

Eisen im Meerwasser und auf dem Meeresgrund

Das Meerwasser kann gut und gerne auch als flüssiges »Erz« bezeichnet werden, denn es enthält bis zu 80 Elemente. Das gesamte im Meerwasser enthaltene Eisen entspricht einer Menge von 35 t je Einwohner. Ob das viel ist, beurteilen Sie selbst! Seit Beginn der menschlichen Gesellschaft wurden etwa 6 t je Einwohner erzeugt.

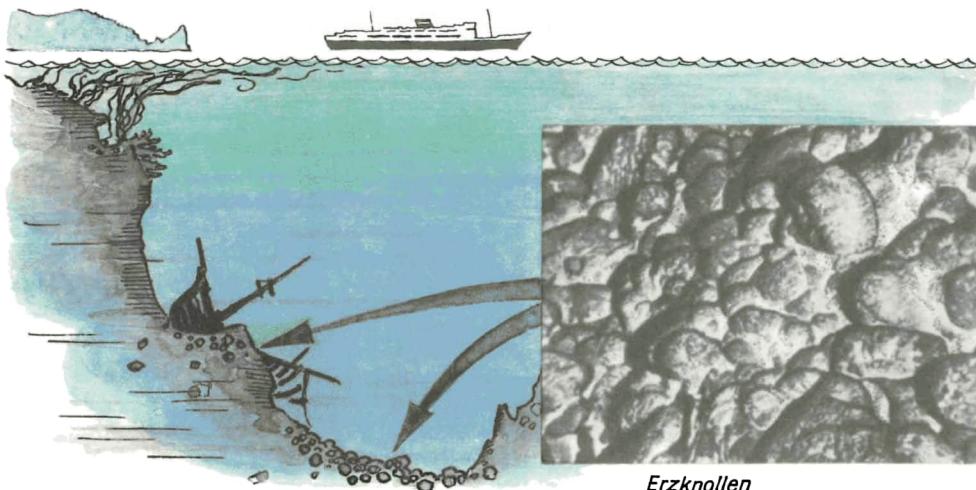
Die Konzentration des im Meerwasser gelösten Eisens ist verschwindend gering. Es enthält nur bis zu $5 \cdot 10^{-6}\%$. Viele Meeresorganismen reichern jedoch einzelne chemische Elemente in sich an, so daß Gehalte erreicht werden, die das 10 000fache der Konzentration

des Meerwassers betragen. Worin das Geheimnis dieser Organismen zur Gewinnung von Elementen aus dem Meerwasser besteht, ist den Wissenschaftlern noch nicht bekannt.

Obwohl die Mineralvorkommen im Meerwasser sehr groß sind, richtet sich die Hauptaufmerksamkeit der Ingenieure und Wissenschaftler auf die mineralischen Reichtümer des Meeresgrundes. Diese Reichtümer der drei großen Weltozeane an Eisen-Mangan-Knollen sind bereits seit der Expedition der englischen Korvette »Challenger« in den Jahren 1872 bis 1874 bekannt. Das Interesse an einer industriellen Förderung dieser Knollen ist in den letzten Jahren stark gestiegen.

Die Formen der Eisen-Mangan-Ablagerungen auf dem Meeresgrund sind sehr vielfältig. Sie reichen von Flecken und Schalen, die überall vorkommen, über Granatsplitter von Marinegeschützen, auf denen die Ablagerungen in Jahrzehnten um wenige Millimeter wachsen, bis zu Granalien und Stücken der Größe von Kartoffeln und Kanonenkugeln. Die Ablagerungen können auf dem Meeresboden so dicht sein, daß das allgemeine Bild an ein Mosaik erinnert. Das dichte Pflaster aus Knollen auf dem Blackplateau nimmt eine Fläche von 5 000 km² ein.

Die Ablagerungen bilden sich in den tiefen Meeresgräben, im seichten Wasser, in Meeresbusen und Halbmeeren, aber auch in Seen. In ihrem Zentrum befindet sich in der Regel ein fremdes Material, z. B. ein Haifischzahn. Um diesen Kern herum bildet sich eine



Erzknollen

Knolle durch die ringförmige Anlagerung von konzentrierten Niederschlägen. Die im einzelnen bei der Bildung von Knollen ablaufenden Vorgänge sind noch ungeklärt. So ist zum Beispiel nicht bekannt, ob biologische Prozesse an ihrer Entstehung beteiligt sind. Die Chemiker haben die Hoffnung, daß eine detaillierte Erforschung der Entstehungsbedingungen der Ablagerungen künftig eine Steuerung des Wachstumsprozesses und seine technische Nutzung erlaubt.

Die Knollen bestehen in der Hauptsache aus hydratisierten Eisen- und Manganoxiden. In ihnen sind außerdem auch andere im Meerwasser enthaltene Metalle angereichert, wie Kobalt, Nickel, Zink und Blei. Die Ablagerungen auf dem Boden des Stillen Ozeans enthalten etwa 24,2 % Mangan, 14 % Eisen, 1 % Nickel, 0,5 % Kupfer und 0,35 % Kobalt. Die Ablagerungen des Atlantik dagegen 16,3 % Mangan, 17,5 % Eisen, 0,45 % Nickel, 0,2 % Kupfer und 0,13 % Kobalt. Knollen, die bis zu 20 % Mangan, 15 % Eisen und je 0,5 % Nickel, Kobalt und Kupfer enthalten, sind in den Meeren anzutreffen, die die Sowjetunion umspülen: z. B. im Weißen Meer, im nördlichen Teil der Barentssee, im Rigaer und im Finnischen Meerbusen sowie im Aralsee.

Der Gesamtvorrat an Eisen-Mangan-Knollen wird auf 350 Milliarden bis 3 Billionen Tonnen geschätzt. Der jährliche Zuwachs liegt in der Größenordnung von 10 Millionen Tonnen. Der Reichtum des Meeres an mineralischen Rohstoffen wird in der Zukunft zur Entwicklung einer Ozeanmetallurgie führen.

Eisen auf der Erdoberfläche

Über die Entstehung unseres Planeten gibt es unterschiedliche Hypothesen, nach deren Aussagen die chemischen Elemente mehr oder weniger gleichmäßig verteilt waren. Im Laufe der Erdgeschichte erfolgte durch die unterschiedlichsten Prozesse eine Umverteilung der chemischen Elemente. Eine derartige Umverteilung ist auch gegenwärtig zu beobachten. Sie führt dazu, daß, wie die deutschen Geochemiker Walter und Ida Noddak zeigten, für jedes Element eine bestimmte Grenzkonzentration existiert (Konzentration der Allgegenwärtigkeit), unterhalb der es in allen Mineralien vorkommt. Für das Eisen beträgt dieser Wert $2,5 \cdot 10^{-4}\%$.

Mit der chemischen Zusammensetzung der Erde, den Verteilungsgesetzen der Elemente und ihrer Umverteilung während der Entwicklung befaßt sich die Geochemie. Über den Aufbau und die chemische Zusammensetzung unseres Planeten gibt es nur ungefähre Vorstellungen, da nur die obere Erdkruste einer direkten Beobachtung zugänglich ist. Die Hypothesen über den inneren Aufbau der Erde unterliegen bis in die jüngste Zeit einer ständigen Diskussion und Weiterentwicklung.

Bereits im 17. und 18. Jahrhundert war es möglich, mit Hilfe seismologischer Methoden die Masse und die mittlere Dichte der Erde ($5,5 \text{ g/cm}^3$) zu bestimmen. Da jedoch die schwersten Gesteine der Erdoberfläche nur

eine Dichte von $3,3 \text{ g/cm}^3$ aufweisen, wird angenommen, daß sich die Dichte der Erde mit zunehmendem Abstand von der Erdoberfläche vergrößert.

Populäre Vorstellungen über die Entstehung der Erde aus heißen Stoffen der Sonne führten viele Wissenschaftler zu der Annahme, daß im Kern der Erde Eisen hochangereichert ist. Diese Annahme wurde gestützt durch das Auffinden von Eisenmeteoriten. Die von dem französischen Geologen A. Debre (1886) aufgestellte Hypothese über einen Eisenkern der Erde wurde durch die Seismologen bestätigt.

In den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts entwickelte der deutsch-sowjetische Geochemiker K. M. Goldschmidt die Hypothese, daß die Verteilung der Stoffe in der noch schmelzflüssigen Erde zunächst nach ihrer Dichte erfolgte, wie es beispielsweise beim Schmelzen von sulfidischen Erzen beobachtet werden kann.

Bei diesem Prozeß entstehen drei Schichten: die Schlacke (Silikatschicht), der Stein (Gemisch aus Sulfiden und Metallen) und das Metall. Nach Goldschmidt besteht demnach die Erdkruste aus einer silikatischen und sulfidischen Schicht und der metallische Erdkern aus Eisen und Nickel.

Auf dem Unterschied zwischen der mittleren Dichte der Erde ($5,5 \text{ g/cm}^3$) und der mittleren Dichte der Gesteine auf der Erdoberfläche ($2,8 \text{ g/cm}^3$) basiert die Meinung des deutschen Seismologen E. Wiechert für das Vorhandensein eines Eisenkerns.

Der australische Geophysiker F. Steisi hebt die gute Übereinstimmung zwischen seismologischen Dichtemessungen und den Vorstellungen über den Erdaufbau hervor. Danach besteht die Erde aus einem flüssigen Eisenkern mit einer Dichte von 7 g/cm^3 bei normalem Druck, der von einer Schicht aus erstarrten Silikaten mit einer Dichte von $3,3 \text{ g/cm}^2$ umgeben ist.

Einer Bestätigung dieser Auffassungen entsprechen die Entdeckungen von kasachischen Geologen, die Bruchstücke eines dunklen Gesteines auf der Erdoberfläche fanden. Aus der Untersuchung des Fundes zogen die Geologen die Schlüffolgerung, daß sich die Gesteinsbrocken vor sehr langer Zeit im Inneren unseres Planeten befanden, da sie sich wesentlich von den umgebenden Gesteinen unterschieden. In ihnen wurde ein erhöhter Gehalt an Eisen, Magnesium, Kalzium, Chrom und Titan festgestellt.

Wissenschaftler der Akademie der Wissenschaften der kasachischen Sowjetrepublik nehmen an, daß diese Gesteine vor vielen Milliarden Jahren entstanden sind.

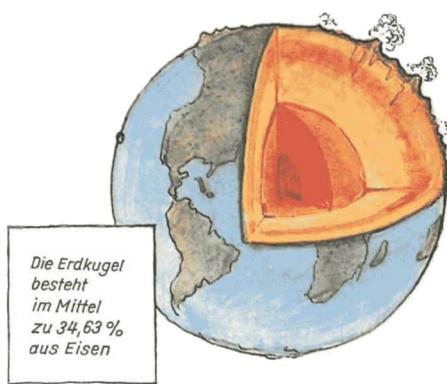
Sie unterlagen großen Veränderungen infolge eines großen Druckes (über 10 000 Atmosphären) und hoher Temperaturen (600 bis 750°C). Wie gelangten diese Bruchstücke aber an die Erdoberfläche? Die Antwort gibt die geologische Struktur der Fundorte. An diesen Stellen befanden sich vor langer Zeit Risse in der Erdkruste. Während stürmischer tektonischer Bewegungen der Erdkruste wurden auch Gesteine an die Oberfläche getragen, die sonst nur in einer Tiefe von mehreren Kilometern anzutreffen sind.

Nach den »klassischen« Vorstellungen enthält die 16 km dicke Kruste unseres Planeten 4,5% Eisen. Die darunter liegende Schicht hat den dreifachen Gehalt: 13,5%. Der Erdkern besteht aus Eisen, Nickel und Kobalt. Der durchschnittliche Eisengehalt der Erde beträgt 34,63%. Das Eisen überwiegt damit sowohl hinsichtlich der Masse als auch der Zahl der Atome. Die Vorstellungen über den Eisenkern der Erde wurden neueren Forschungsergebnissen angepaßt und weiterentwickelt, sie blieben jedoch nicht ohne Widersprüche.

Nach Auffassung des Vulkanologen A. Rittmann (1941) zum Beispiel besteht der Erdkern aus Solar-materie, das heißt aus Wasserstoff, dessen Zustand dem der Sonne ähnlich ist.

Der sowjetische Geologe V. N. Larin (1978) vertritt dagegen die Hypothese, daß der Erdkern aus Metallhydriden besteht. Auch nach diesen Vorstellungen nimmt der Eisengehalt von der Erdoberfläche in Richtung auf den Kern zu.

Allen aufgestellten Theorien ist eines gemeinsam, und zwar daß Eisen ein wichtiger Baustein unseres Planeten ist.



Eisen im Kosmos

Die deutschen Wissenschaftler P. Bunsen und R. Kirchhoff bestimmten mit Hilfe der Spektralanalyse in einem Abstand von mehreren Kilometern die chemische Zusammensetzung eines großen Feuerwerkes. Diese Methode wurde auch für die Erforschung des Kosmos eingesetzt. In den Jahren 1859 bis 1860 konnten mit Hilfe der Spektralanalyse in der Sonnenatmosphäre zum Beispiel die Elemente Natrium, Kalzium und Magnesium nachgewiesen werden.

Die spektrochemischen Untersuchungen der Himmelskörper wurden durch die Analyse von Meteoriten, die in jener Zeit die einzigen Zeugen kosmischer Materie auf der Erde waren, ergänzt.

Dadurch konnten die Vorstellungen über die Körper kosmischen Ursprungs stark erweitert werden.

Das Interesse an den Meteoriten entwickelte sich nicht plötzlich. Noch gegen Ende des 18. Jahrhunderts schrieb der Wiener Professor Stutz: »Kann man sich vorstellen, daß im Jahre 1751 selbst die aufgeklärtesten Leute in Deutschland an das Herabfallen eines Stückchen Eisens vom Himmel glaubten – wie schwach waren ihre Kenntnisse über die Naturwissenschaften ... In unserer Zeit ist es unverzeihlich, derartige Märchen für möglich zu halten.«

Die Pariser Akademie der Wissenschaften beschloß auf einer ihrer Sitzungen im Jahre 1790, daß künftig Mitteilungen über das Niedergehen von Steinen zur Erde nicht mehr beraten werden, da so etwas unmöglich sei. In vielen Museen wurden die Meteoriten aus den Sammlungen entfernt, um das Museum nicht zur »Ziel scheibe des Spotts werden zu lassen«.

Der deutsche Naturforscher P. S. Pallas bereiste im Auftrag der Petersburger Akademie der Wissenschaften 1768 bis 1774 Sibirien. Er fand in Krasnojarsk einen 700 bis 800 kg schweren Klumpen aus Eisen und Gesteinen, den er nach Petersburg bringen ließ. Dieser Fund fand das Interesse des deutschen Physikers E. Chladni, der korrespondierendes Mitglied der Petersburger Akademie der Wissenschaften war. Im Jahr 1794 veröffentlichte er in Riga einen Artikel über die Herkunft des Eisenstücks, das von Pallas gefunden wurde, und über einige damit in Zusammenhang stehende Naturerscheinungen. Chladni entwickelte eine Theorie über das Auftreten von Meteoriten und ihr Verglühen beim Eintritt in die Erdatmosphäre. Er deutete damit als erster die Herkunft der Eisenmeteoriten richtig.

Seine Hypothese fand jedoch zunächst wenig Anerkennung. Sie wurde von der Fachwelt, unter anderem auch von dem Mitglied der Petersburger Akademie, dem Physiker Georg Christoph Lichtenberg, mit Hohn und Spott abgelehnt.

Die Informationen über das Niedergehen von Meteoriten häuften sich immer mehr, so daß sich im Jahre 1803 die Pariser Akademie der Wissenschaften gezwungen sah, ihren Beschuß aus dem Jahre 1790 zu korrigieren und die »Himmelssteine« anzuerkennen.

Zur Zeit sind auf der ganzen Welt etwa 2000 Meteoriten registriert. Auf dem Territorium der UdSSR wurden bis zum Sommer 1976 allein 150 Meteoriten gesammelt. Der »Jubiläumsmeteorit«, der 150ste, mit einer Masse von 351 g, wurde dem Meteoritenkomitee der Akademie der Wissenschaften der UdSSR im Sommer 1976 vorgestellt.

Alle Meteoriten lassen sich in drei Hauptgruppen unterteilen: Eisen-, Eisen-Gestein- und Gesteinsmeteoriten. Im Durchschnitt entfällt auf 16 Meteoriten ein Eisenmeteorit. Die Eisenmeteoriten enthalten etwa 91% Eisen, bis 8,5% Nickel und andere Elemente. Die Meteoriten der anderen Gruppen enthalten bis zu 50% Eisen. Die Masse eines Meteoriten kann bis zu mehreren Tonnen betragen.

Bereits in frühester Zeit verwendeten die Menschen das Meteoriteisen. Aus Aufzeichnungen geht hervor, daß im Altertum das Eisen von Meteoriten für die Herstellung von Waffen, Arbeitsgeräten und Schmuck verwendet wurde. Dieses Material war nicht leicht zu verarbeiten. Ein Emir aus Buchara befahl seinem besten Waffenschmied, ihm ein Schwert aus einem Stück »Himmelseisen« zu schmieden. So viel er auch versuchte, es wurde nichts daraus. Das erhitzte Eisen ließ sich nicht schmieden. Der Emir ließ den Unglücklichen hinrichten. Es war zur damaligen Zeit natürlich noch nicht bekannt, daß sich nickelhaltige Eisenmeteoriten nicht schmieden lassen, da ihre Warmbildsamkeit sehr gering ist. Sie sind im Gegensatz dazu aber gut kaltverformbar.

Man erzählt sich jedoch, daß der römische Herrscher Numa Pompilius (7. Jahrhundert v. u. Z.) ein Eisen schild besessen hat, das aus einem »vom Himmel gefallenen Stein« hergestellt worden sei. Im Jahr 1621 wurden für einen indischen Fürsten zwei Säbel, ein Dolch und eine Speerspitze aus Meteoreisen hergestellt. Auch Alexander der I. hatte ein Schwert aus Meteor eisen. Der Degen von Bolivar, dem Helden Südamerikas, war aus kosmischem Eisen gefertigt.

Es sind auch andere Fakten bekannt, von denen nachfolgend einige vorgestellt werden sollen.

Die Polarexpedition von J. Ross im Jahre 1818 stellte fest, daß die Eskimos von der Baffininsel Messer und Harpunenspitzen aus Eisen fertigten, das unter großen Anstrengungen von einem am Ufer der Melville-Bucht liegenden Meteoriten abgeschlagen wurde.

Ein Forscher berichtete aus Argentinien, daß er einen großen Meteoriten sah, dessen Masse etwa 15 t betrug. Nach sechs Monaten zeigte dieser Meteorit Spuren davon, daß die ansässigen Bewohner große Eisenstücke abgetrennt hatten.

In Mexiko wurde ein großer Meteorit gefunden, der einen Spalt von 9 cm Länge aufwies, in dem das abgebrochene Ende einer Kupferklinge gefunden wurde. Sie gelangte offensichtlich dort hin, als Eingeborene den Versuch unternahmen, ein Stück Eisen abzulösen.

Jetzt sind Meteoriten sehr wertvolle Objekte für wissenschaftliche Untersuchungen. Die dabei erhaltenen Resultate sind für die Astronomen, Geologen, Physiker und Raumschiffkonstrukteure von großer Wichtigkeit.

Die Meteoriten zeugen von der Einheit der materiellen Welt. Mit Hilfe der in ihnen enthaltenen radioaktiven Elemente ließ sich ihr Alter bestimmen. Es beträgt etwa 4,5 Milliarden Jahre und entspricht etwa dem Alter der Erde. Vorstellungen über die Entstehung der Meteoriten in unserem Sonnensystem werden damit bestätigt.

Das Akademiemitglied A. E. Fersman stellte fest, daß die Meteoriten in ihrer Zusammensetzung dem Erdgestein in großen Tiefen entsprechen und damit an weit entfernte und tiefe Gesteine erinnern, von denen uns vorläufig nichts bekannt ist. Es wird angenommen, daß die Steinmeteoriten mit Gesteinen aus der tiefen Steinöhle der Erde (1200 km Tiefe) übereinstimmen. Eine Schicht in etwa 1700 km Tiefe entspricht in ihrer Zusammensetzung etwa den Eisen-Gestein-Meteoriten. Der Erdkern enthält nach Angaben der Geochemiker 90,7 % Eisen und 8,5 % Nickel und entspricht damit in seiner Zusammensetzung den Eisenmeteoriten.

Wieviel Eisen fällt aus dem Kosmos auf die Erde? Forschungen ergaben, daß wesentlich mehr kosmische Stoffe auf die Erdoberfläche fallen, als früher angenommen wurde. Man rechnet heute mit über einer Million Tonnen je Jahr. In einer Milliarde Jahren müßte die Dicke der Schicht der auf die Erde fallenden kosmischen Materie mehrere Kilometer betragen. Diese

Schicht ist jedoch kaum wahrzunehmen, da sie sich mit den erdeigenen Stoffen vermischt hat.

Das Niedergehen kosmischer Materie heißt noch nicht, daß sich die Masse der Erde vergrößert, obgleich das nicht ausgeschlossen ist. Die Erde verliert ständig einen Teil ihrer Materie an den kosmischen Raum in Form von gasförmigen Elementen und chemischen Verbindungen.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Meteoritenforschung wird versucht, die Frage nach der Entstehung der chemischen Elemente im Kosmos zu erklären. Die moderne Astrophysik stellt eine relative Homogenität der chemischen Zusammensetzung des bekannten Teiles des Weltalls fest. Untersuchungen zur Häufigkeit der chemischen Elemente im Weltall ergaben, daß etwa 90 % der Gesamtmasse von Wasserstoff eingenommen wird. Der Anteil der Metalle, die im Periodensystem in der Nähe des Eisens stehen, beträgt 0,5 %. Das Eisen selbst kommt im Kosmos um etwa drei Zehnerpotenzen häufiger vor, als dem geglätteten Verlauf der Häufigkeitsverteilung entsprechen würde. Von den im Kosmos auftretenden Gehalten an Elementen nimmt das Eisen die neunte Stelle ein. Das Sonnenspektrum ent-



Hergestellt aus dem „Metall des Himmels“

hält zum Beispiel auch Linien, die dem Eisen zugeordnet werden können.

Die Forschung über die Entstehung der chemischen Elemente hat eine große praktische Bedeutung, da die Kenntnis der Syntheseprozesse der chemischen Elemente in der Natur dem Menschen die Möglichkeit bietet, ihre Erzeugung zunächst in Laboratorien und später auch unter Produktionsbedingungen durchzuführen.

Aus der modernen Forschung ergeben sich Hinweise auf Gesetzmäßigkeiten der Entstehung der Elemente. Mit großer Wahrscheinlichkeit stehen bestimmte Kernreaktionen mit den Temperaturveränderungen der Sterne im Zusammenhang. Für den Energiehaushalt der Sterne ist in ihrem ersten Stadium die Umwandlung des Wasserstoffes in Helium von größter Bedeutung. In späteren Stadien erfolgt bei veränderten Temperaturen die Umwandlung des Heliums in Kohlenstoff und Sauerstoff. Danach wandeln sich diese Elemente in beständigeren um, zum Beispiel in Eisen. Die spezifischen Kernbindungsenergien sowohl der leichten als auch der schweren Kerne sind niedriger als die Bindungsenergien der Metalle im Bereich des Eisens. Das Eisen nimmt damit in der Natur eine Sonderstellung ein. Sein relativ komplizierter Atomkern besitzt eine große

Beständigkeit. Das Eisen ist ein mögliches Endprodukt der vom Wasserstoff ausgehenden Kernprozesse zur Bildung der anderen chemischen Elemente. Daraus läßt sich die große Eisenmenge in der Natur in der Häufigkeitsverteilung der Elemente erklären. Die chemische Zusammensetzung des Weltalls zeugt davon, daß es sich auf dem Beginn seines Weges vom Wasserstoff zum Eisen befindet.

Nach der Evolutionstheorie der Planeten von Ringwood befindet sich die Materie der erdähnlichen Planeten in verschiedenen Oxydationsstadien. Auf dem Mars liegt das gesamte Eisen praktisch in oxydiertem Zustand vor und wurde deshalb nicht von den Silikaten getrennt. Der hohe Gehalt an Eisenoxid im äußeren Mantel des Mars ist offensichtlich die Ursache dafür, daß die Oberfläche des roten Planeten einen Rostschimmer aufweist. Die Venus ist nach Ringwood stärker oxydiert als die Erde, aber weniger als der Mars.

Das Eisen nimmt in der Natur eine Sonderstellung ein. Der relativ komplizierte Atomkern des Eisens besitzt eine große Beständigkeit. Daraus ist die große Eisenmenge in der Natur zu erklären. Nicht nur die Erdkruste, sondern auch Sonne und Sterne enthalten Eisen mit Beimengungen von Leichtmetallen.

Gibt es reines Eisen?

Der Kristall von Tschernow

Eisen – ein Magnet

Rost vertilgt Eisen

Ungewöhnliche Stähle

Die Eigenschaften des Eisens



Gibt es reines Eisen?

Im Buch von W. S. Meskin über Edelstähle ist zu lesen: »Die technischen Eigenschaften des chemisch reinen Eisens sind noch nicht bekannt, da bis zur Gegenwart selbst im Laboratorium noch kein chemisch reines Eisen erzeugt werden konnte.« Entspricht dies der Wahrheit? In der Welt werden jährlich hunderte Millionen Tonnen Stahl erzeugt, und dabei haben die Menschen noch nicht einmal reines Eisen gesehen.

Viele der früher erzielten Angaben über das Gefüge und die Eigenschaften des Eisens und seiner Legierungen sind veraltet, da sie an nicht ausreichend reinem Probematerial ermittelt wurden. Die Aussage von Meskin entspricht deshalb der Wahrheit. Die mechanischen, elektrischen und chemischen Eigenschaften des Reinststeins unterscheiden sich wesentlich von denen des technisch reinen Eisens. Deshalb bemühen sich die Metallkundler um die Erzeugung von hochreinen metallischen Kristallen und untersuchen deren Eigenschaften. Gegenwärtig werden die metallkundlichen Grundlagen von Eisen und Stahl besonders hoher Reinheit erarbeitet, was ohne Zweifel die Entwicklung anderer technischer Bereiche positiv beeinflußt.

Bei der Untersuchung des reinen Eisens stellte man fest, daß es sehr gute magnetische Eigenschaften besitzt. Die Permeabilität (Fähigkeit zur Vergrößerung der magnetischen Erregung) des reinen Eisens ist um das Fünfzigfache höher als die des normalen technischen Eisens, das etwa 0,66% Beimengungen enthält. Seine Koerzitivkraft (Fähigkeit zur Entmagnetisierung) ist niedriger als die des technisch reinen Eisens. Die im technisch reinen Eisen noch enthaltenen Verunreinigungen führen zu einer Verzerrung des Kristallgitters und damit zu einer höheren Koerzitivkraft. Reines Eisen besitzt auch eine relativ hohe Korrosionsbeständigkeit. Seine anderen Eigenschaften ändern sich mit der Erhöhung des Reinheitsgrades nur unbedeutend.

Wenn man von reinem Eisen spricht, dann ist interessant, daß in der Natur außer den bekannten gediegenen Metallen Gold und Platin auch gediegenes Eisen gefunden werden kann. Daran erinnert W. Lewschin in seinem »Handbuch des Handels« (1789): »Das von der Natur im Erdinnern aufbereitete Eisen enthält so wenig fremde Beimengungen, daß man ohne Umschmelzprozeß beliebige Geräte schmieden kann. G. Ruel erhielt durch die Ostindische Gesellschaft ein

Stück gediegenes Eisen aus Senegal, wo es in großen Klumpen vorkommt. Der Chemiker schmiedete daraus einen langen Draht und stellte fest, daß es sich ohne Mühe zu bestimmten Artikeln umformen ließ. In Sibirien findet man an vielen Stellen gediegenes Eisen.«

Eine große Menge von gediegenem Eisen wurde im Jahre 1870 in Ovifik am Südufer der Insel Disko in Westgrönland gefunden. Dieses Eisen war in Basalt eingeschlossen, der durch eine Steinkohlenschicht führte. Das Eisen lag in Form von Eisenglanz, Körnern und manchmal auch als große Stücke vor. Außerdem wurden hier auch »Schweißeisen« und »Naturstahl« entdeckt.

Gediegenes Eisen kommt so selten vor, daß es keine technische Bedeutung besitzt. Im Gegensatz zu Meteor-eisen, das immer relativ viel Nickel enthält, besitzt das gediegene Eisen nicht mehr als 2% Nickel und manchmal 0,3% Kobalt, etwa 0,4% Kupfer und bis zu 0,1% Platin. Sein Kohlenstoffgehalt ist gewöhnlich niedrig. In der Natur trifft man noch zwei Eisen-Nickel-Legierungen, den Avarit ($FeNi_2$) und den Josephinit (Fe_3Ni_5); sie werden in Form von Granalien und kleinen Körnern gefunden.

Unter bestimmten Bedingungen, zum Beispiel beim Kontakt von glühendem Kohlenstoff mit Eisenerz, kann in der Natur auch kohlenstoffhaltiges Eisen entstehen. Im Jahre 1905 fand der russische Geologe A. A. Inostranzew im Gebiet der Russischen Insel im Fernen Osten eine nicht sehr große Menge von gediegenem Eisen. Es befand sich in einer Tiefe von 30 bis 40 m unter den Ufergesteinen und wurde durch Bohrungen zu Tage gefördert. Das Eisen enthielt etwa 3,2% Kohlenstoff, 1,55% Silizium und 0,66% Mangan.

Die Bildung von gediegenem Eisen in der Erdkruste steht mit den bei der Abkühlung von Magma verlaufenden Prozessen in Zusammenhang. Bei Anwesenheit von Kohlenstoff im Magma wird Eisen aus seinen Oxiden und Sulfiden reduziert. Deshalb wird mit dem gediegenen Eisen häufig das Mineral Kogenit, ein Eisen-Nickel-Karbid ($FeNiCO_3C$), gefunden. Nach Ansicht von A. A. Inostranzew bildete sich das Roh-eisen auf der Russischen Insel während eines Ausbruchs flüssiger Gesteinsmassen. Dabei floß Quarzporphyr über Steinkohlenschichten, unter denen sich Ablagerungen von Eisenerz befanden. Unter Luftabschluß bildeten sich durch den Einfluß der hohen Temperaturen aus der Steinkohle Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxid. Damit lagen ähnliche Bedingungen wie im Hochofen vor. Im Ergebnis der Reaktionen zwi-

schen dem heißen Erz und den Gasen bzw. den Rückständen der Steinkohle entstand schließlich Roheisen.

Welcher Reinheitsgrad des Eisens wird gegenwärtig erreicht? Im reinsten Karbonyleisen sind nur noch 0,00016 % Beimengungen enthalten. Ist das viel? Die bekannte Eisensäule von Delhi, die oft wegen der großen Reinheit ihres Eisens gerühmt wird, enthält 0,28 % Beimengungen, das sind 1750 mal mehr.

Der Kristall von Tschernow

Der russische Metallurge D. K. Tschernow (1839 bis 1921) hat sich durch seine Arbeiten über die Erstarrung des Stahles große Verdienste erworben. Er wurde dadurch weit über die Grenzen seines Landes hinaus bekannt. Für seine Untersuchungen sammelte er eine große Menge von Eisenkristallen. Nur selten erreichten die von ihm in den Stahlblöcken gefundenen Kristalle große Abmessungen. Die meisten Kristalle hatten eine Länge von 3 mm und eine Breite von 1 bis 1,5 mm. Die Verzweigungen von gut ausgebildeten Kristallen besaßen oft so geringe Abmessungen, daß sie nur bei 100- bis 150facher Vergrößerung deutlich beobachtet werden konnten. Der wertvollste Kristall seiner Sammlung war ein ungewöhnlich großer Kristall, der deshalb von ihm besonders gut untersucht werden konnte. Er erhielt den Namen Tschernow-Kristall. Folgende Geschichte ist über diesen Kristall bekannt:

Der Schüler Tschernows, Kapitän der Seeartillerie Bersenew, wurde als Einkäufer in ein großes metallurgisches Werk nach England geschickt. Er fand in diesem Werk auf dem Schrottplatz einen riesigen Doppelkristall, der in einem 100-t-Block gewachsen war. Die Betriebsleitung überließ diesen Kristall dem Kapitän, der ihn seinem Lehrer schenkte. Tschernow untersuchte den Kristall sorgfältig. Seine Masse betrug 3 450 g, seine Länge 39 cm. Die chemische Zusammensetzung lautete: 0,78 % Kohlenstoff, 0,255 % Silizium, 1,055 % Mangan und 97,86 % Eisen.

Der Kristall wurde nicht nur von Tschernow untersucht. Er war gleichfalls Gegenstand der Forschung anderer russischer und ausländischer Gelehrter. Jetzt befindet er sich in der Akademie für Militärtechnik »Dsershinski« in Moskau.

Auch in der Gegenwart werden Kristallgiganten gefunden. Ein Dreher des metallurgischen Kombinates

Serow fand zum Beispiel bei der Bearbeitung einer Walze in einem Lunker einen großen blauschwarzen metallischen Kristall. Er erinnerte an einen Baum mit einer weit ausladenden Krone. Der neue »Kristall von Tschernow« hat eine Länge von 49 cm.

Die moderne Metallkunde ist nicht auf die Untersuchung zufällig gefundener Kristalle angewiesen. Sie entwickelte Methoden und Verfahren zu ihrer gezielten Erzeugung. Gegenwärtig ist es beispielsweise möglich, Einkristalle von praktisch allen Metallen und Legierungen zu züchten. An Einkristallen der uns gewöhnlich erscheinenden Metalle, wie Eisen, Wolfram, Nickel und Molybdän, wurden neue Eigenschaften gefunden. Eiseneinkristalle großer Reinheit besitzen bis zur Temperatur des flüssigen Heliums (-269°C) eine hohe Plastizität.

Besondere Aufmerksamkeit fanden die sogenannten Whisker, nur wenige Mikrometer dicke haarähnliche Kristalle, die sich durch eine sehr hohe Festigkeit auszeichnen. Eisenwhisker können durch Reduktion von Eisen aus Eisenchlorid oder Eisenborid in einer Länge bis zu 10 cm und einem Durchmesser von 0,5 μm bis 1 mm gezüchtet werden. Die Festigkeit der Eisenwhisker beträgt 12 000 bis 13 000 MPa, sie übertrifft damit um das 8- bis 10fache die Festigkeit hochfester Stähle.

Die fadenförmigen Eisenkristalle besitzen auch noch andere interessante Eigenschaften. Ihre Koerzitiv-



feldstärke beträgt 500 Oersted, während die besten Magnetlegierungen einen Wert von 250 Oersted erreichen und reines Eisen nur 1 Oersted. Bei der Oxydation in einem reinen Sauerstoffatom bildet sich in 100 min auf den fadenartigen Kristallen eine Oxidschicht von nur einem Mikrometer, während auf normalem Eisen schon in 20 min eine Schicht von 4,5 μm entsteht.

Die Festigkeit der Whisker ist abhängig von ihrer Abmessung. Höchstwerte erreicht man nur bei Kristallen mit einem Durchmesser unter 10 μm . Deshalb kann die große Festigkeit dieser Kristalle vorläufig nur in besonderen Fällen technisch genutzt werden, zum Beispiel wenn ein Garn oder ein Gewebe für spezielle Zwecke gefertigt werden soll.

Die Bedeutung der Einkristalle für die moderne Technik nimmt ständig zu. Man findet immer neue Einsatzgebiete. Hierzu ein Beispiel: Die Herstellung von feuerfestem Material, das eine hohe Beständigkeit gegenüber Metallschmelzen und Schlacke besitzt, ist eines der wichtigsten Probleme der modernen Metallurgie. Ein Weg zur Schaffung derartiger Materialien wurde von sowjetischen Wissenschaftlern gefunden. Sie schlugen vor, das Feuerfestmaterial mit Einkristallen zu verstärken, die in Pulverform gewonnen werden. Durch Zugabe von 10 bis 20% dieses Pulvers zum Feuerfestmaterial kann man armierte Werkstoffe erhalten, die eine um das 5- bis 8fache höhere Hitzebeständigkeit haben.

Für Spezialgeräte und wichtige Konstruktionen werden heute nicht nur Halbfabrikate aus Einkristallen in Form von Bändern, Stäben oder Drähten, sondern die Kristalle selbst verwendet. Einkristalle schwertschmelzender Metalle haben beispielsweise gegenüber Halbfabrikaten erheblich bessere Eigenschaften, wie höhere Plastizität, Beständigkeit gegenüber Rekristallisation bis kurz unter die Schmelztemperatur, hohe Gefügestabilität, die einen hohen Kriechwiderstand bedingt, hohe Korrosionsbeständigkeit besonders gegenüber aggressiven Verbrennungsprodukten u. a. Für hochbeanspruchte Turbinenschaufeln werden deshalb Einkristalle verwendet. Die Festigkeit und Temperaturbeständigkeit von Turbinenschaufeln bestimmt die Leistungsfähigkeit von Flugzeugen und die Wirtschaftlichkeit von Energieanlagen. In den warmfesten Legierungen – aus denen normalerweise die Schaufeln gegossen werden – stellen die Korngrenzen Schwachstellen dar. Durch spezielle Gießverfahren und die Anwendung einer gerichteten Erstarrung ist es heute

möglich, die Schaufeln aus einem einzigen Kristall herzustellen.

Derartige Einkristallschaufeln haben eine doppelt so hohe Warmfestigkeit.

Einkristalle sind in neuerer Zeit in Laboratorien keine Seltenheit mehr. Unter Berücksichtigung des Bedarfs vieler Industriezweige entwickelt sich die industrielle Fertigung von Einkristallen.

Eisen – ein Magnet

Alle Metalle lassen sich in einem bestimmten Maße magnetisieren. Am stärksten sprechen auf diese Behandlung die vier Metalle Eisen, Nickel, Kobalt, Gadolinium (seltenes Erdmetall) und ihre Legierungen an.

Das Vermögen, an einem Magneten zu haften oder selbst ein Magnet zu werden, ist eine der bemerkenswertesten Eigenschaften des Eisens. Die Erscheinungen des Magnetismus sind seit dem Altertum bekannt. Das Wort selbst stammt von dem Berg »Magnissia« in Griechenland, in dessen Nähe sich eine große Lagerstätte von Magneteisenstein befindet. Der Magnetismus wurde schon lange vor der wissenschaftlichen Untersuchung dieser Erscheinung genutzt. Die Seeleute in China und Griechenland, danach die von Karthago und Rom, verwendeten schon Kompassse mit Magnetnadeln.

Die Erscheinung des Magnetismus setzte schon im Altertum die Menschen in Erstaunen. In dem Buch »Wunder der Natur und der Kunst« (1784) kann man lesen: »Es ist erstaunlich, wie ein Magnet dem Eisen eine Kraft verleiht, entweder angezogen zu werden oder anzuziehen.« Die Denker des Altertums beschäftigten sich bereits mit der geheimnisvollen Eigenschaft des Magneteisensteins. Ärzte versuchten, ihn für die Heilung des Menschen anzuwenden, und verabreichten ihn auch als Medizin bei Erkrankung von inneren Organen.

Die wissenschaftliche Erforschung des Magnetismus begann mit der Erzeugung von Magneten. Im Jahre 1755 stellte der schweizer Juwelier Dietrich als erster einen Hufeisenmagneten her. Der Elektromagnet mit einem Eisenanker wurde im Jahr 1823 von dem Engländer W. Stredgen patentiert. Sein Magnet bestand aus einer Lage von nichtisoliertem Kupferdraht, der um einen lackierten Eisenkern gewickelt wurde. Der Amerikaner J. Henry vervollkommnete den Magneten, indem er den

Draht nicht nur in einer, sondern in mehreren Lagen um den Eisenkern wickelte. Henry isolierte anstelle des Eisenkerns den Draht. Durch die Erhöhung der Anzahl der Windungen stellte Henry immer mächtigere Magneten her. Ein von ihm im Jahre 1831 gebauter Magnet konnte Lasten mit einer Masse bis zu 300 kg heben.

Eine breite praktische Anwendung fanden die Elektromagneten im 20. Jahrhundert. Im Ergebnis zahlreicher Entwicklungsarbeiten gelang es, ihre Anziehungs- kraft ständig zu erhöhen.

Der derzeit größte Magnet mit einer Masse von 36 000 t und einem Durchmesser von 61 m wird im Synchronphasotron (Bezeichnung in der UdSSR für Protonensynchrotron – ein Kreisbeschleuniger für Protonen oder schwerere Ionen) des Vereinigten Forschungsinstitutes für Kernenergie in Dubna eingesetzt. Er hat eine Leistung von 680 Elektronenvolt. Allein die Masse der Kupferspule beträgt 600 t.

Im Synchronphasotron in Serpuchow mit einer Leistung von 70 Milliarden Elektronenvolt ist die Masse des Magnetkerns um 16 000 t geringer als die des Magnetkerns in Dubna. Trotzdem besitzt er eine größere Effektivität. Die Stahlbleche der 120 Elektromagneten sind zum Beispiel so angeordnet, daß die Eigenschaften des Stahls aus unterschiedlichen Schmelzen ausgeglichen werden. Wenn das Serpuchower Synchronphasotron nach dem Prinzip des Dubnaer gebaut worden wäre, dann läge der Eisenbedarf seiner Magneten bei einer Million Tonnen.

Die magnetischen Wirkungen werden von der modernen Technik in großem Umfang genutzt, besonders in der Elektro- und Nachrichtentechnik, im Gerätbau und in der Automatisierungstechnik. Aus ferromagnetischen Werkstoffen werden Generatoren, Motoren, Transformatoren, Relais, magnetische Verstärker, Magnetbandelemente u. a. hergestellt.

Die moderne Metallurgie erzeugt eine breite Palette von Magnetwerkstoffen. Sowohl durch Variation der chemischen Zusammensetzung als auch durch verschiedene Herstellungs- und Behandlungstechnologien ist es möglich, ihre Eigenschaften in weiten Grenzen gezielt zu verändern.

Die Magnetwerkstoffe unterteilt man in magnetisch weiche und magnetisch harte Werkstoffe. Die magnetisch weichen Werkstoffe sind ferromagnetische Werkstoffe, die sich in relativ schwachen Magnetfeldern magnetisieren und unmagnetisieren lassen. Zu ihnen zählen Weicheisen (kohlenstoffarmes Eisen), kohlenstoffarme siliziumlegierte Stähle, Permalloy-Legierungen (45 bzw. 78 % Nickel, Rest Eisen), Alsifer (5 % Aluminium, 10 % Silizium, Rest Eisen), Permendur (Kobalt und Eisen), Ferrite und andere. Magnetisch harte Werkstoffe sind ferromagnetische Werkstoffe, die für ihre Magnetisierung und Ummagnetisierung relativ starke Magnetfelder erfordern. Zu diesen Werkstoffen, die unter anderem für die Herstellung von Dauermagneten verwendet werden, gehören Magnetstähle (kohlenstoff-, chrom-, wolfram- und ko-



balthaltige Stähle), Ferromagnetpulver (Eisen, Eisen-Kobalt u. a.), Legierungen hoher Koerzitivkraft, wie AlNi (24% Nickel, 13% Aluminium, 4% Kupfer, Rest Eisen), Vikalloy (52% Kobalt, 12% Vanadium, Rest Eisen), CuNiFe (Cunife; 60% Kupfer, 20% Nickel, Rest Eisen), Ferroplatin (78% Platin und 22% Eisen) und andere.

In der modernen Industrie werden in hohem Maße Elektromagneten für den Transport von ferromagnetischen Metallen in Form von Blöcken, Stäben, Maschinenteilen und Schrott verwendet. Diese Elektromagneten arbeiten auch beim Transport von heißem Stahl bis etwa 750°C betriebssicher. Ihre Tragfähigkeit erreicht 65 t. Durch Nutzung der Supraleitfähigkeit kann die Effektivität der Elektromagneten um Größenordnungen gesteigert werden. Jedes Kilogramm Masse der modernen supraleitenden Magneten schafft ein Magnetfeld, das hinsichtlich seiner Feldstärke dem eines 20-t-Elektromagneten mit Eisenkern entspricht.

Magnetische »Hände« werden in vielen Industriezweigen eingesetzt. Die Hilfszeiten an Metallbearbeitungsmaschinen können zum Beispiel um das 5- bis 8fache verkürzt werden, wenn das Futter für die Einspannung der Teile durch Magnetplatten und -patronen ersetzt wird.

In der Technik gibt es Aufgaben, die nur durch Verwendung von unmagnetischen Werkstoffen gelöst werden können. Das gilt zum Beispiel für viele Teile von Präzisionsgeräten. Früher wurden für diese Zwecke vor allem Buntmetalle (Messing und Bronze) eingesetzt, heute sind oft billigere Lösungen durch die Verwendung von unmagnetischem Stahl bzw. Gußeisen möglich. Es ist aus Untersuchungen von Gilbert um 1600 bekannt, daß Eisen beim Erwärmen auf Rotgluttemperatur seine magnetischen Eigenschaften verliert. Dieser Umwandlungspunkt wird heute als Curie-Punkt bezeichnet. Der Verlust der magnetischen Eigenschaften des Eisens wird mit seinem Übergang in andere Modifikationen erklärt.

Erst zu Beginn dieses Jahrhunderts gelang es, durch Variation der chemischen Zusammensetzung in Verbindung mit bestimmten Behandlungstechnologien bei Raumtemperatur beständiges γ -Fe zu erzeugen. Zu den Elementen, die die Beständigkeit des Gamma-Eisens vergrößern, gehören Nickel, Mangan und Kohlenstoff. Unmagnetische Stähle enthalten deshalb meist Nickel und Mangan.

Für zahlreiche Einsatzgebiete werden im Maschinenbau, besonders im Elektromaschinenbau, auch nicht

magnetisierbare Gußwerkstoffe benötigt. Erst im Jahre 1924 wurde in England ein unmagnetisches Gußeisen patentiert. Es setzte sich auf Grund seines guten Fließ- und Formfüllungsvermögens sowie seiner leichten Bearbeitbarkeit rasch durch. Unmagnetische Gußeisenwerkstoffe enthalten 1 bis 6% Mangan, 10 bis 18% Nickel und 2,6 bis 3% Kohlenstoff. Neuere Werkstoffe sind zusätzlich mit Kupfer und Chrom legiert.

Im Jahre 1930 erhielt I. A. Oding (Werk Elektrosila) ein Patent für ein nicht magnetisierbares Gußeisen mit niedrigem Mangan- und Nickelgehalt (4% Nickel, 3% Mangan). Die daraus gefertigten Teile waren jedoch nur nach einem Abkühlen von über 1000°C in Wasser unmagnetisch. Diese komplizierte Wärmebehandlung verhinderte die Ausbreitung des ökonomisch legierten Gußeisens.

Rost vertilgt Eisen

Mit dieser prägnanten Aussage wird eine Eigenschaft des Eisens charakterisiert, die überhaupt nicht zu ihm paßt. Korrosion ist die von der Oberfläche ausgehende Zerstörung eines Metalls durch chemische und elektrochemische Reaktionen mit dem umgebenden Medium. Im Normalfall ist das Metall gegenüber den Einwirkungen der Umgebung (Atmosphäre, Wasser, Gas) aktiv. Die Korrosion von Metallen ist die Ursache für den vorzeitigen Ausfall von Teilen, Ausrüstungen und ganzen Komplexen. Nach groben Schätzungen gehen in der Welt jährlich durch Korrosion etwa 100 Millionen Tonnen Walzstahl verloren.

Die Menschen interessieren sich seit langem für die Fragen des Korrosionsschutzes für Metalle. Der griechische Historiker Herodot (5. Jahrhundert v. u. Z.) und der Wissenschaftler Plinius der Ältere aus dem alten Rom (1. Jahrhundert u. Z.) weisen auf den Einsatz von Zinn als Rostschutz für Eisen hin. Die mittelalterlichen Alchimisten träumten von der Herstellung eines rostfreien Eisens.

Der Korrosionsschutz der Metalle wird in unserer Zeit auf unterschiedlichen Wegen verwirklicht. Bei der Verringerung der Aggressivität der Korrosionsmedien erfolgt eine Abtrennung der aggressiven Bestandteile aus der Medienzusammensetzung oder eine Zugabe von Stoffen, die die Korrosion verzögern – sogenannte Inhibitoren. Andere Möglichkeiten des Korrosionsschutzes sind mit der Erhöhung der Korrosions-

beständigkeit durch Legieren und mit dem Auftragen von Schutzschichten, wie Lacke, Farben, Email usw., gegeben.

Selbst hochwertige Edelstähle sind in besonders aggressiven Medien der chemischen Industrie nicht beständig. In diesem Falle helfen Spezialüberzüge. So schufen zum Beispiel die Wissenschaftler des Poltawer Forschungsinstituts »Emailchimmasch« neue glasige Überzüge. Sie zeigten hohe Beständigkeit bei Temperaturen, bei denen die ungeschützten Metalle bereits ausfielen.

Ein entscheidender Fortschritt im Kampf gegen die Korrosion wurde im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts durch die Entwicklung der nichtrostenden, chemisch beständigen Stähle erzielt. Diese neue Stahlgruppe war die Voraussetzung für die Entwicklung der chemischen Industrie, des Kraftwerksanlagenbaues und vieler weiterer Zweige der Technik. Aber auch für viele Gegenstände des täglichen Lebens, ja selbst für medizinische Zwecke wird nichtrostender Stahl verwendet.

Eine moderne Technik und Zivilisation sind ohne die nichtrostenden, chemisch beständigen Stähle nicht mehr denkbar.

Um die Jahrhundertwende beschäftigten sich zahlreiche Forscher mit dem chemischen Verhalten hochlegierter Stähle. Es war bekannt, daß Stähle mit Nickelgehalten von über 10% relativ rostträge sind. Hochlegierte Chromstähle zeigten ein von den üblichen Stählen abweichendes Ätzverhalten. Die junge chemische Industrie hatte ein verstärktes Bedürfnis nach chemisch beständigen Werkstoffen für den Apparatebau geweckt. Legierungen hoher chemischer Beständigkeit auf Chrom-Molybdän- bzw. Kobalt-Chrom-Basis waren bekannt. Sie setzten sich auf Grund ihrer unzureichenden mechanischen Eigenschaften nicht durch. Der Österreicher M. Mauersmann und der Engländer H. Bearley entwickelten 1912 nichtrostende Chromstähle für die Herstellung von Messern.

Die entscheidenden Arbeiten für die Entwicklung der modernen nichtrostenden Stähle leisteten im Jahre 1912 Ed. Maurer und B. Strauß in der Versuchsanstalt der Firma Krupp. Der von ihnen entwickelte Grundtyp des austenitischen nichtrostenden Chrom-Nickel-Stahles, der sogenannte V 2 A-Stahl, wird noch heute von den Edelstahlwerken in aller Welt erzeugt.

Das Verdienst von Ed. Maurer bestand in der Schaffung der wissenschaftlichen Grundlagen für die industrielle Erzeugung der nichtrostenden Stähle, beson-

ders ihrer Wärmebehandlung. B. Strauß hat die neuen Stähle bis zur Erzeugungsreife weiterentwickelt und die dafür notwendigen Schmelz- und Umformtechnologien erarbeitet.

Erwähnt sei an dieser Stelle, daß Eduard Maurer nach 1945 maßgeblichen Anteil am Aufbau der metallurgischen Industrie der DDR hatte. Seine Verdienste wurden durch die zweimalige Verleihung des Nationalpreises, des Staatstitels »Hervorragender Wissenschaftler des Volkes« und des Vaterländischen Verdienstordens in Silber gewürdigt.

Die hervorragenden Eigenschaften des Stahles eröffnen ihm auf allen Gebieten der Industrie, des Transportwesens und des Bauwesens neue große Einsatzgebiete. In vielen Ländern wird Stahl schon seit langem zum Beispiel für den Bau von Eisenbahnwaggons verwendet.

In Mailand gibt es Autobusse, von denen viele Karosserieenteile aus Stahl gefertigt sind. Die Seiten- und Hinterteile der Karosserie, das Stromlinienleitblech und das Dach dieser Sonderkonstruktion sind aus Stahl gebaut. Die erhöhte Festigkeit der Stähle erlaubt es, Stahlblech für die Dächer mit einer um das 4fache geringeren Dicke einzusetzen. Dies führte zur Massenverringerung der Autobusse, wodurch der Kraftstoffverbrauch sank.

Die hohe Korrosionsbeständigkeit der rostfreien Stähle verlängert außerdem die Lebensdauer der Autos ganz erheblich.

Die zwölf Turbinen für das Kraftwerk am Asusanstaudamm wurden, vom Leningrader metallurgischen Kombinat »Kirow« hergestellt. Zum erstenmal in der Geschichte des Wasserturbinenbaues wurden in der Welt die Arbeitsräder der Turbinen mit einer Leistung von 175 000 kW in Übereinstimmung mit den spezifischen Betriebsbedingungen aus Stahl gefertigt. Der Durchmesser eines jeden Rades beträgt 7,5 m. Die Masse liegt bei 140 t. Der Rotor, das Herz des Generators, wiegt 600 t. Er wurde im Leningrader Werk »Elektrosila« gebaut.

Das Metallkundelabor der Uraler Polytechnischen Hochschule unter der Leitung von I. N. Bogatschew entwickelte Gleise aus nichtrostendem Stahl. Ihre Beständigkeit im Medium der sehr aggressiven unterirdischen Wasserrädern von Kupfer- und Kohenschächten kann bis zu 50- bis 100mal größer sein als die solcher aus Kohlenstoffstahl.

Ungewöhnliche Stähle

Stahl ist eine Eisenlegierung, die meist Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Schwefel und Phosphor enthält. Diese Kenntnis gehört heute zur Allgemeinbildung jedes Schülers. Die Menschen lernten jedoch, Stahl zu erzeugen und einzusetzen, ohne daß ihnen seine Zusammensetzung bekannt war. Die Ägypter wußten zum Beispiel bereits vor unserer Zeitrechnung, daß die Härte bestimmter Eisensorten durch Erhitzen und Eintauchen in Wasser erhöht werden kann, während dies bei anderen Sorten nicht gelang. Das Verhalten der Eisenlegierungen beim Härteln war viele Jahrhunderte ein natürliches Kennzeichen für die Unterscheidung von weichem, nichthärtbarem Eisen – dem Stahl.

Das in den romanischen Sprachen für Stahl verwendete Wort »acier« kann man auf die Bezeichnung der Römer »ferrum acerrum«, das heißt »scharfes Eisen«, zurückführen. Das Wort »Stahl«, englisch »steel«, geht bei den indogermanischen Sprachen auf die Wurzel »stehen, standhalten« zurück. Seit Jahrzehnten umfaßt die Bezeichnung »Stahl« im Fachschrifttum auch das nichthärtbare Eisen, es wird lediglich zwischen weichen und harten Stählen unterschieden. In der Umgangssprache hat sich dagegen die Trennung zwischen weichem Eisen und hartem Stahl bis in unsere Zeit erhalten. So werden zum Beispiel vom Handel Nägel aus Eisen und Stahlnägel angeboten. In den Abschnitten über die Geschichte des Eisens werden auch in diesem Buch noch die Begriffe Schmiedeeisen und Stahl in ihrem historischen Sinn verwendet.

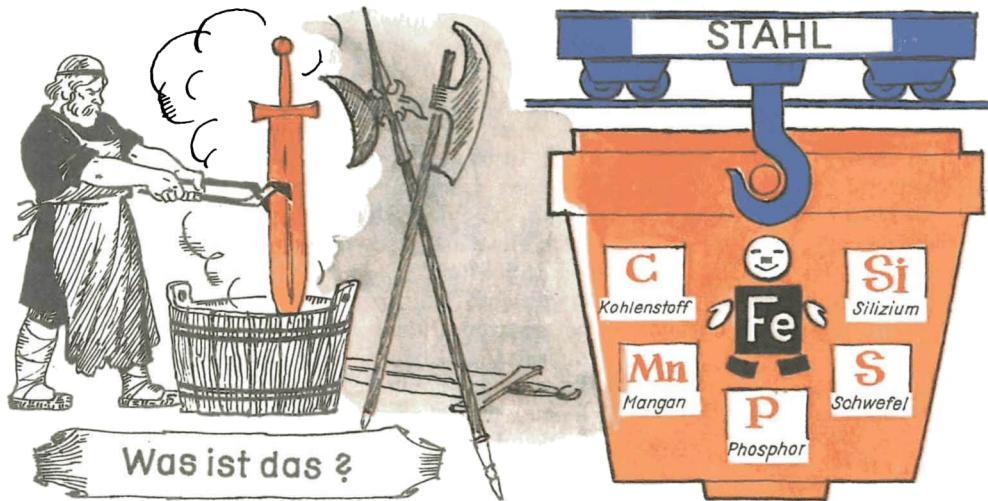
Die Technologie der Herstellung von Stahl für die Fertigung von Waffen und Werkzeugen blieb lange Zeit ein streng gehütetes Geheimnis der Schmiede. Es fehlt jedoch nicht an Versuchen zur Erklärung der Unterschiede zwischen Schmiedeeisen und Stahl. Die Wissenschaftler des Altertums vertraten die Ansicht, daß Stahl durch die Reinigung des Eisens erzeugt werden kann. Selbst im 18. Jahrhundert waren solche Aussagen noch anzutreffen: »Eisen ist ein unvollkommenes Material ... Wahrscheinlich besteht es aus ihm charakteristischen Gesteinen und einem brennbaren Stoff. Es wandelt sich in ein festes elastisches Metall um, wenn es ohne Beimengungen auftritt. Wenn man es soweit bearbeitet, daß in ihm keine Beimengungen und überschüssigen Bestandteile vorhanden sind und die Brennbarkeit eliminiert ist, dann heißt dieses Metall Stahl.«

Gezielte Versuche zur Erzeugung von Stahl aus Schmiedeeisen führte R. A. F. Reaumur durch. Es gelang ihm, das bis dahin sorgfältig gehütete Geheimnis der Zementstahlfabrikation zu lösen. In seiner Abhandlung »Die Kunst, Schmiedeeisen in Stahl zu verwandeln« (1722) machte er seine Forschungsergebnisse der Fachwelt bekannt. Durch die Einführung des wissenschaftlichen Experiments und den Bruch mit der damals üblichen Praxis der Geheimhaltung leistete er über das konkrete Problem hinaus einen wesentlichen Beitrag zur Begründung der Eisenhüttenkunde. In seinen theoretischen Vorstellungen konnte sich Reaumur allerdings nicht von der damals anerkannten Phlogiston-Theorie lösen. Er nahm deshalb an, daß sich Eisen und Stahl hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung nur durch unterschiedliche Anteile einer Beimengung, einer sogenannten »schweflig-salzigen« Materie unterscheiden. Erst im Jahre 1814 bewies der deutsche Eisenhüttenmann C. J. B. Karsten, daß diese Beimengung der Kohlenstoff ist. Damit wurde die einheitliche materielle Natur aller Eisen-Kohlenstoff-Legierungen nachgewiesen, aber erst in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde eine richtige Vorstellung über den Aufbau der Eisenlegierungen erarbeitet.

Neue Einsatzgebiete für den Stahl, zum Beispiel im Maschinenbau und im Eisenbahnwesen, erforderten genaue Vorstellungen über seine Qualität. Dazu wurden die chemischen Zusammensetzungen der Eisenerze, der Schlacken und der unterschiedlichen Eisen-Kohlenstoff-Legierungen bestimmt. Allmählich wurde der Einfluß der Beimengungen von Silizium, Mangan, Schwefel, Phosphor und anderer auf das kohlenstoffhaltige Eisen genauer bekannt.

Mit systematischen Untersuchungen zum Einfluß unterschiedlicher Elemente auf die Eigenschaften der Stähle beschäftigte sich P. P. Anosow. Er untersuchte Zusätze von Gold, Platin, Mangan, Chrom, Aluminium, Titan und anderer Stoffe und stellte dabei fest, daß die physikalisch-chemischen und mechanischen Eigenschaften des Stahls wesentlich verändert und verbessert werden können, wenn man bestimmte Elemente zusetzt. Der Wissenschaftler legte damit die metallurgischen Grundlagen der legierten Stähle vor.

Die bemerkenswerte Fähigkeit des Eisens, mit unterschiedlichen Elementen Legierungen zu bilden und dabei neue Eigenschaften zu erhalten, wird in der modernen Technik in breitem Umfang ausgenutzt. Gegenwärtig sind mehr als 8000 Einzellegierungen bekannt, die durch eine Behandlung zehntausende



Stahlmarken für unterschiedlichste Einsatzgebiete ergeben. Es wurden ungewöhnliche Stahlmarken entwickelt: »Holzstahl«, Bleistahl, Diamant- und Weichstahl, graphitisierter und abnormaler Stahl, Platin- und Silberstahl. Über einige werden wir berichten.

Schon im Altertum wurde versucht, Eisen mit Edelmetallen zu legieren. Im Jahre 1832 erschien die Mitteilung, daß man in Österreich aus Silberstahl »Rasierklingen herstellt, die von vielen bevorzugt werden, weil sie länger scharf bleiben«.

Nach Berichten aus dem Jahre 1825 wurden in Rußland in den Goroblagodetiker staatlichen Betrieben Versuche zum Legieren von Stahl mit Platin durchgeführt. Dabei vermischtete man in einem Tiegel 6 Pfund (1 russisches Pfund = 409,6 g) Stahl mit 8 Soloniks (1 Solonik = 4,26 g) gereinigtem Platin. Die flüssige Legierung wurde in gußeiserne Formen gegossen und mit Wasser rasch abgekühlt. Die Bruchfläche des Stahlbarrens erwies sich als äußerst homogen und so fein, daß man mit bloßem Auge ihren Aufbau nicht erkennen konnte. Nach dem Anschleifen und Härteten ohne Anlassen schnitt dieser Stahl auch Glas wie ein Diamant, trennte Roheisen und Eisen, ohne stumpf zu werden.

Später brachten billigere und leichter verfügbare Legierungselemente noch bessere Ergebnisse. Die Legierung Platinit zum Beispiel enthält kein Platin. Sie besteht aus 48% Nickel, 0,15% Kohlenstoff und Eisen als Rest. Platinit hat den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizient wie Glas, deshalb wird es als Ersatz für die

Platineinsätze in den Glühbirnen verwendet. Die Legierung Kovar (29% Nickel, 18% Kobalt) hat den gleichen Ausdehnungskoeffizienten wie Molybdänglas und wird für Lötverbindungen mit diversen Gläsern eingesetzt. Dabei entstehen feste, völlig gasundurchlässige Verbindungen.

Im Jahre 1927 wurde in Berlin auf einer großen Werkstoffausstellung ein kleines Kasserol mit zwei Griffen aus unterschiedlichen Werkstoffen gezeigt. In ihm wurde Wasser gekocht. Der eine aus Eisen gefertigte Griff war heiß, der andere Griff war nur lauwarm, ähnlich wie bei Holz. Der Griff war aus einem Stahl hergestellt, dessen Wärmeleitfähigkeit mit der Wärmeleitfähigkeit von Holz übereinstimmte. Dieser sogenannte »Holzstahl« gehört wie die Legierungen Platinit und Kovar zu den Präzisionslegierungen, deren Eigenschaften nur bei Einhaltung einer bestimmten Zusammensetzung und Herstellungstechnologie erreicht werden. Schon geringe Abweichungen von der Rezeptur führen zu einem Verlust dieser Eigenschaften.

Eine dieser Legierungen wurde von dem Schweizer Physiker und Metrologen C. E. Guillaume, dem späteren Direktor des Internationalen Büros für Maße und Gewichte, entwickelt. Im Jahre 1897 untersuchte Guillaume die physikalischen Eigenschaften des Stahles in Abhängigkeit vom Nickelgehalt. Er fand, daß Stahl mit mehr als 25% Nickel beim Erwärmen seine magnetischen Eigenschaften verliert. Stahl mit 36% Nickel

hat einen sehr kleinen linearen Ausdehnungskoeffizienten, er ist um das 10fache niedriger als der des Platins. Die Legierung mit 36 % Nickel und 64 % Eisen nannte Giullaume »Invar«, was unveränderlich bedeutet. Im Temperaturintervall von -60 bis +100°C ist die Wärmeausdehnung von Invar fast Null. Zum erstenmal verwendete man diese Legierung im Jahre 1899 zur Herstellung eines Maßstabes für die Bestimmung der Bogenlänge des Erdmeridians auf der Insel Spitzbergen durch eine russisch-schweizerische Expedition. Trotz bedeutender Temperaturwechsel bei diesen Messungen blieb die Länge des Invar-Maßstabes praktisch konstant.

Die bemerkenswerte Eigenschaft des Invar ermöglicht seinen Einsatz in der Meßtechnik und im Gerätebau, besonders in der Vakuumtechnik für das Verbinden unterschiedlicher Glasarten. Aus Invar wurden auch Einsätze für Aluminiumkolben hergestellt, um ihre Wärmeausdehnung zu verringern und das Festfressen des Kolbens im Zylinder zu verhindern.

Als »Diamantstahl« wurde ein legierter Werkzeugstahl mit 1,25 bis 1,45 % Kohlenstoff, 0,4 bis 0,7 % Chrom und 4 bis 5 % Wolfram bezeichnet. Ein Stahl dieser Zusammensetzung besitzt eine sehr hohe Härte. Er wird deshalb für die Feinbearbeitung von harten Werkstoffen, wie weißes Gußeisen, Glas u. a., verwendet.

Zum Legieren der Stähle wurden in der Regel mehrere Elemente verwendet, um eine möglichst komplexe Veränderung der Eigenschaften zu gewährleisten. Dabei wird zum Teil auch auf seltene Elemente zurückgegriffen, die unter Produktionsbedingungen erst neu erzeugt werden. Zu diesen Elementen gehört zum Beispiel Zirkon. Das Element Zirkon verhält sich gegenüber dem Stahl ähnlich wie das Element Vanadium. Seine Anwesenheit führt zur Abbindung von Gasen. Nur wenige hundertstel Prozent Zirkon verleihen den Panzerplatten eine hohe Festigkeit. Zirkonstähle zeichnen sich außerdem durch eine hohe Plastizität aus. Sie sind hitzebeständig und gut schweißbar. Zirkon wird deshalb als Legierungselement für Sonderstähle verwendet, wie Panzerplattenstahl, Waffenstahl, rostfreie und zunderbeständige Stähle.

Auch die Metalle der Seldenen Erden werden für die Erzeugung von Stählen eingesetzt. Häufig wird dabei ein Gemisch aus diesen Elementen verwendet, zum Beispiel Cer-Mischmetall, das bis zu 65 % Cer enthält. Schon wenige zehntel Prozent Mischmetall befreien den Stahl von Schwefel und Gasen, sie erhöhen seine

Festigkeit und Zähigkeit. Außerdem erhöhen sich die Warmfestigkeit und die Zunderbeständigkeit. Die Zugabe von 0,03 % Cer-Mischmetall erhöht die Plastizität hochlegierter Stähle bei hohen Temperaturen und erleichtert die Warmformgebung. Spezielle chirurgische Instrumente werden aus einem Stahl mit 6 % Seldenen Erdmetallen hergestellt.

Für die Entwicklung neuer Stähle verwendet man auch zunächst ungewöhnlich erscheinende Elemente, wie Stickstoff. Gase sind in der Regel eine unerwünschte Beimengung im Stahl, die seine Qualität herabsetzen. Unter bestimmten Bedingungen ist jedoch Stickstoff im Stahl ein nützliches Element. Vanadium-, Titan- und Niobnitride führen zu einer Kornfeinung des Stahles und erhöhen seine Festigkeit und Plastizität. Stickstoff ist gemeinsam mit den Nitridbildnern deshalb ein wichtiges Legierungselement der höherfesten schweißbaren Baustähle. Stickstoff erhöht die Beständigkeit des Austenits im Stahl und hat damit eine ähnliche Wirkung wie das hochwertige und teure Nickel. Bei der Erzeugung von hochlegierten nichtrostenden und warmfesten Stählen ist es deshalb möglich, durch Zusatz von Stickstoff Nickel einzusparen.

Eine interessante Neuentwicklung auf dem Gebiet der metallischen Werkstoffe sind Legierungen, die ein »Erinnerungsvermögen« besitzen. Eine der ersten Legierungen auf diesem Gebiet war das Nitinol – eine Nickel-Titan-Legierung. Dieser Legierung kann durch Umformung bei hohen Temperaturen eine bestimmte Gestalt verliehen werden, an die sie sich erinnert. Wird sie danach kaltverformt und erneut erwärmt, so nimmt sie auf magische Weise mit großer Genauigkeit wieder ihre alte Gestalt an.

Die Wissenschaftler des Zentralen Forschungsinstituts für Schwarzmetallurgie der UdSSR in Moskau suchten ähnliche Legierungen unter den Schwarzmetallen und fanden sie. Der Doktor der Wissenschaften E. S. Wintakin stellte mit seinen Mitarbeitern eine Manganlegierung mit Kupferzusätzen her. Diese Legierung ist in der Lage, ihre »Muskulatur« zu demonstrieren. In einem Experiment wurde eine freihängende Feder aus dieser Legierung durch ein 200 g schweres Gewicht ausgezogen. Durch die Feder wurde ein Strom gedrückt, so daß sie sich erwärmte. Dabei nahm sie ihre alte Gestalt wieder ein und hob die Last an. Beim Abschalten des Stromes sank das Gewicht nach unten, beim erneuten Einschalten bewegte es sich wieder nach oben. Dieser Zyklus konnte mehrmals wiederholt

werden. Dem Nitinol kann man dagegen nur einmal vorschreiben, selbständig seine alte Gestalt wieder einzunehmen.

Legierungen, die sich an ihre ursprüngliche Gestalt »erinnern«, sind heute keine Seltenheit mehr. Sie sind Gegenstand umfangreicher Forschungsarbeiten, da in der modernen Technik interessante Einsatzmöglichkeiten für Werkstoffe mit derartigen Eigenschaften bestehen.

Englische Metallurgen berichteten von der Schaffung einer »stummen« Legierung und hoffen auf ihre breite Anwendung in der Industrie. Als Beispiel dafür führten sie eine Legierung mit 70% Mangan und 30% Kupfer an. Eine daraus gegossene Glocke läutet nicht. An einer solchen Glocke hat man natürlich keine Freude. Was aber, wenn eine tonlose Legierung für Maschinen und Fahrzeuge eingesetzt wird? Mit Hilfe derartiger Legierungen, die in ihrer Festigkeit den Kohlenstoffstählen nicht nachstehen, kann der Lärm in den Betrieben und auf der Straße erheblich verringert werden. Wenn mit dieser Legierung ein Preßlufthammer abgeschirmt wird, dann erinnert sein Arbeitslärm an das Tuckern eines kilometerweit entfernten Traktors. Es gibt schon mehrere Arten dieser »tonlosen« Legierungen. Amerikanische Fachleute entwickelten zum Beispiel eine Legierung aus Kupfer, Mangan und Aluminium, die nach einer bestimmten Wärmebehandlung Schall in Wärme umwandelt. Eine derartige Legierung eignet sich hervorragend als Lärmschlucker.

Mit Hilfe der »guten« Eisenbegleiter, die auch als »Vitamine des Metalls« bezeichnet werden, lassen sich, wie vorstehend beschrieben, neue ungewöhnliche Stähle und Legierungen schaffen. Die Erzeugung von Werkstoffen mit neuen ungewöhnlichen Eigenschaften ist dabei in der Regel nur durch eine Kombination der Legierungstechnik mit einer entsprechenden Herstellungstechnologie möglich. Oft überwiegt auch der Einfluß der Behandlungstechnik. Ansatzpunkte für eine umwälzende Entwicklung auf dem Gebiet der metal-

lischen Werkstoffe ergeben sich aus Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der amorphen Metalle. Das sind feste Metalle ohne Kristallstruktur, bei denen die in der schmelzflüssigen Phase vorliegende Struktur durch extrem hohe Abkühlungsgeschwindigkeiten »eingefroren« wurde. Ihr Aufbau ist vergleichbar mit dem Aufbau der silikatischen Gläser, ihr Bindungszustand sowie die daraus resultierenden Eigenschaften haben einen metallischen Charakter. Die amorphen Metalle werden deshalb häufig auch als »metallische« Gläser bzw. »glasartige Metalle« bezeichnet.

Die bisher erzeugten metallischen Gläser umfassen eine breite Palette von Legierungen. Zu den Schwerpunkten gehören dabei auch Eisenlegierungen, wie eine Eisen-Bor-Legierung (80% Eisen und 20% Bor). Für die Erzeugung des amorphen Zustandes wird eine Abkühlungsgeschwindigkeit von 10^6 bis 10^7 K/s benötigt. Diese Geschwindigkeit erreicht man zum Beispiel, wenn flüssiges Metall zwischen zwei rotierende, gekühlte Walzen gespritzt wird. Mit dieser Methode gelang es im Jahre 1977, Bänder mit einer Breite bis zu 250 mm und einer Dicke von 10 bis 15 μm herzustellen.

Eine weitere Methode zur Erzeugung des amorphen Zustandes besteht in der Aufheizung eines kristallinen Metalls durch Laser. Die dafür erforderlichen Energiedichten liegen in der Größenordnung von 10^4 bis 10^7 W/cm². Auf diese Weise konnten schon 1976 bis zu 10 μm dicke amorphe Oberflächenschichten erzeugt werden.

Heute werden sowohl dünne Bänder aus amorphem »Stahl« erzeugt als auch die Oberfläche von Bauteilen aus Stahl mit Hilfe der Lasertechnik verglast. Der Stahl erhält dabei völlig neue, ungewöhnliche Eigenschaften, wie zum Beispiel hohe Festigkeit und Verschleißbeständigkeit, hohe Korrosionsbeständigkeit und ausgezeichnete magnetische Eigenschaften. Mit dieser zukunftsträchtigen Entwicklung beschäftigen sich deshalb zahlreiche Forschungskollektive in aller Welt.

Teurer als Gold

Ein ehrenvoller Beruf

Die Eisensäule von Delhi

Damaszenerstahl

Weißblech aus dem Erzgebirge

Die Uraler Marke

Der Erlaß Peter des I.

Ausgestorbene Berufe

Adolph Menzels »Eisenwalzwerk«

Aus der Geschichte des Eisens



Teurer als Gold

»In der Schlacht ist Eisen teurer als Gold«, weiß ein tatarisches Sprichwort zu berichten. Ein russisches Sprichwort sagt: »Im Krieg ist Eisen wertvoller als Gold. Mit Eisen kann man sich auch Gold beschaffen.«

Es gibt ausreichende Beweise dafür, daß in bestimmten Zeiten Eisen wertvoller als Gold war.

Im alten und neuen Ägyptischen Reich wurde Eisen zunächst in der Hauptsache für Juwelierarbeiten, Amulette und Schmuckstücke verwendet. Noch im 14. Jahrhundert v. u. Z. zählte Eisen zu den wertvollen Metallen. Aus ihm wurden, ebenso wie aus Gold, nur Schmuckstücke angefertigt. Während des 9. Jahrhunderts v. u. Z. gehörte Eisen zusammen mit Gold und Silber zu den Abgaben, die die unterdrückten Völker an Assyrien entrichten mußten.

Es ist bekannt, daß Frauen afrikanischer Staaten an Armen und Beinen eiserne Ringe trugen. Die Ehefrauen von sehr reichen Stammesmitgliedern trugen manchmal bis zu einem Pud derartiger Schmuckstücke an sich. Die Braut eines reichen Mannes in Westafrika war gar so mit Eisenschmuck behangen, daß sie sich ohne fremde Hilfe nicht bewegen konnte.

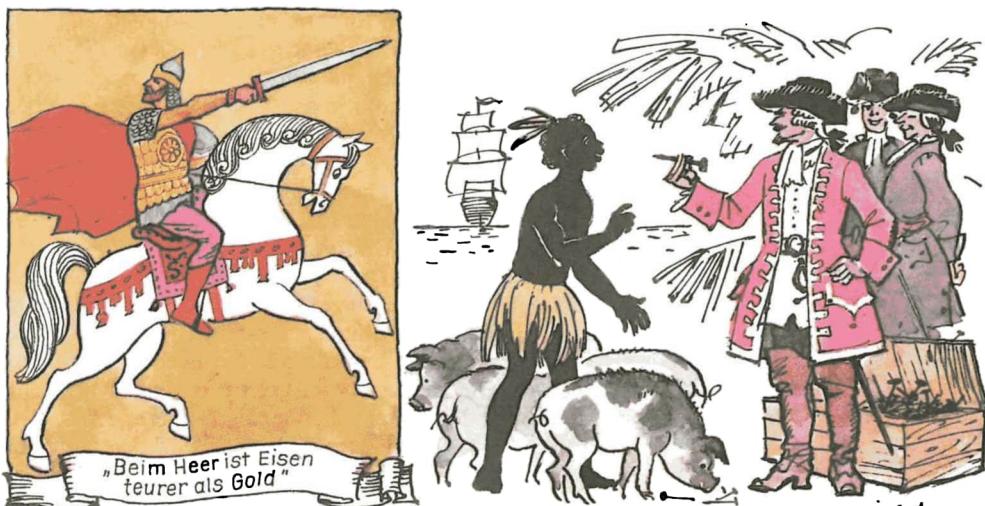
Die Eingeborenen Afrikas und die Inselbewohner des Äquatorgürtels schätzten bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts Eisen wertvoller als alle anderen Metalle ein.

Der englische Weltumsegler des 18. Jahrhunderts James Cook erzählte, daß auf allen ihm bekannten polynesischen Inseln Eisen das größte Geschenk für die Einwohner war. Ein Begleiter Cooks wußte zu berichten, daß die Eingeborenen für einen Nagel sehr gern mehrere Yards Stoff gegeben haben, und für zehn Eisenhaken erhielten die Seeleute zehn Schweine. Cook führte ein Beispiel an, bei dem einer der Führer der Insel Tahiti, der zwei Nägel sein eigen nannte, mit diesen sehr große Einnahmen hatte. Für die Herstellung von Bohrungen lieh er die Nägel seinen Stammesbrüdern nur in den Fällen aus, wenn anders kein Erfolg beschieden war.

Selbst am Ende des 18. Jahrhunderts schrieb der russische Aufklärer V. Lewschin in seinem Handbuch des Handels: »Wenn man die Dinge nach ihrer Nützlichkeit bewertete, dann müßte man das Eisen als das wertvollste aller Metalle bezeichnen. Keine Kunst und kein Handwerk, in dem es nicht irgendwie erforderlich wäre.«

F. Engels stellte fest, daß mit der Verbreitung des Eisens ein bedeutender Teil der Menschheit in die letzte Epoche der Urgeschichte eintrat.

W. I. Lenin bezeichnete das Eisen als eines der wichtigsten Produkte in der modernen Industrie gleichzeitig als Fundament der Zivilisation. Der Eisenverbrauch eines Landes ist nach W. I. Lenin ein Ausdruck der Beständigkeit des eisernen Fundaments seiner Kultur.



Ein ehrenvoller Beruf

Als einer der ehrenvollsten Berufe galt zu allen Zeiten das Schmiedehandwerk. Eine ungefähr drei Jahrtausende alte Legende legt davon Zeugnis ab. Als der Bau des Tempels von Jerusalem beendet war, gab König Salomon ein Gastmahl, zu dem auch die Meister eingeladen waren. Nachdem sich die Gäste zum Schmaus versammelt hatten, fragte plötzlich der König: »Nun, wer von den Erbauern ist der wichtigste? Wer leistete den größten Beitrag bei der Erbauung dieses Wundertempels?« Der Maurer stand auf: »Dies ist völlig klar! Der Tempel, das ist unserer Hände Arbeit. Eine andere Meinung kann es nicht geben. Wir, die Maurer, legten Stein auf Stein. Schaut euch an, wie fest sie stehen, die Wände, Bögen und Gewölbe. Jahrhunderte werden sie stehen zum Ruhme des Königs Salomon.«

»Es besteht kein Zweifel, das Fundament der Kirche ist aus Stein«, erwiderte der Zimmermann, »aber urteilt selbst, teure Gäste. Wäre dieser Tempel gut, wenn nicht ich und meine Kollegen im Schweiße unseres Angesichts gearbeitet hätten? Wäre es euch angenehm, auf

die nackten Wände zu schauen, wenn wir sie nicht geschmückt hätten mit schönem Holz aus libanesischen Zedern? Und unsere Fußböden aus bestem Buchholz, wie erfreut es den Blick! Wir, die Zimmerleute, können mit Recht als die echten Schöpfer dieses märchenhaften Palastes gelten.«

»Schaut auf die Wurzel«, unterbrach ihn ein Erdarbeiter. »Ich möchte gern wissen, wie diese Prahlhänse (er nickte nach der Seite der Maurer und Zimmerleute) den Tempel hätten aufbauen wollen, wenn wir nicht die Baugrube gegraben hätten für sein Fundament. Ja, die Wände mit ihrer Ausschmückung würden beim ersten Windstoß umfallen wie ein Kartenhaus!«

Aber König Salomon wurde nicht umsonst der Weise genannt.

Den Maurer heranrufend, fragte er:

»Wer gab dir dein Werkzeug?«

»Natürlich der Schmied,« antwortete der erstaunte Maurer.

»Und dir?«, wandte sich der König an den Zimmermann.

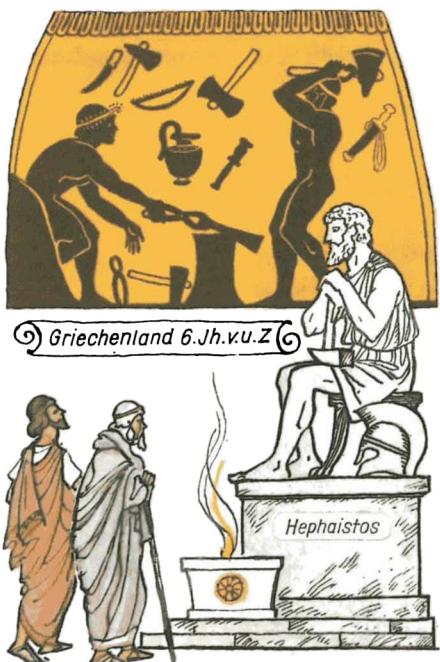
»Wer sonst als der Schmied?«, antwortete dieser, ohne viel nachzudenken.

»Wer gab dir Spaten und Pickel?«, fragte Salomon den Erdarbeiter.

»Du weißt schon, König, daß sie nur der Schmied machen kann,« war seine Antwort.

Der König stand auf und trat zu einem bescheidenen, vom Ruß geschwärzten Mann, dem Schmied. Er führte ihn in die Mitte des Saales. »Hier ist der wichtigste Erbauer des Tempels«, rief der weiseste aller Könige. Mit diesen Worten forderte er den Schmied auf, sich neben ihn auf die Brokatkissen zu setzen. Und Salomon reichte ihm ein Glas mit gutem Wein.

So war es nicht nur in den Legenden. Der Beruf des Schmiedes war im Altertum der wichtigste metallurgische Beruf. Die Erzeugung und Verarbeitung des Eisens lag noch in einer Hand. Der Schmied stellte sich das von ihm benötigte Eisen nach dem Rennverfahren selbst her. Seine Erfahrungen hüte er sorgfältig als Berufsgeheimnis. Die Leute waren erstaunt, daß der Schmied wertvolle Dinge fast aus dem Nichts, das heißt aus einem Stück braunen Gesteins, herstellte. Viele Völker schrieben deshalb den Schmieden übernatürliche Kräfte zu. Sie wurden geehrt als Menschen, denen die Gunst der Götter galt, oder als Zauberer gefürchtet. Die Griechen verehrten in Hephaistos den Gott des Feuers und der Schmiedekunst. Der Ätna galt bei den Römern als Werkstatt des göttlichen Schmieds Vol-



canus. In der germanischen Mythologie spielt Wieland der Schmied eine große Rolle. Wodan, der Gott der Germanen, wird ebenfalls mit dem Schmiedehandwerk in Verbindung gebracht.

Es ist interessant festzustellen, daß in den unterschiedlichsten Religionen der einzige Arbeiter unter den Göttern der Gott der Schmiedekunst war: Hephaistos bei den Griechen, Volcanus bei den Römern und Swarok bei den Slawen.

»Einen Schmied sollte man nicht mit Du ansprechen«, geht aus einem finnischen Sprichwort hervor. »Tausend Schläge des Schneiders entsprechen einem Schlag des Schmiedes«, sagen mit Hochachtung die Usbeken.

Die verehrungswürdigsten Personen bei den Ureinwohnern Afrikas waren die Schmiede. Gerade sie waren mit der Erziehung der jungen Generation beauftragt. In Afrika war der Schmied der einzige Mensch, dem die Herstellung von Geld erlaubt war. Damit läßt sich auch seine hohe Stellung bei vielen afrikanischen Stämmen erklären.

Der englische Wissenschaftler und Publizist B. Davidson berichtete, daß die seßhaften Ackerbaustämme Afrikas fast überall die Schmiede verehrten, sie als Kaste anerkannten und oft sogar als privilegierte Gruppen ansahen. Der Kaiser der Bantu aus dem Kongo war ein traditionelles Mitglied der Schmiedeskaste. In einigen Gebieten von Zululand war der Beruf des Schmiedes nicht nur mit Geheimnissen umgeben, sondern zählte auch zu den verehrungswürdigsten. In der Regel übertrugen die Väter ihre Erfahrungen von Generation zu Generation auf die Söhne.

Auch bei den Degonstämmen in Westafrika war die Bearbeitung des Eisens eine der wichtigsten Tätigkeiten. Die Schmiede bildeten hier wie bei den anderen Völkern des westlichen Sudans eine oftmals abgesonderte ehrenvolle Gruppe. Sie hatten als Eingeweihte in eine geheime Kunst eine privilegierte Stellung, man betrachtete sie als Lieblinge der Kaiser und Stammeshäuptlinge. Der deutsche Ethnograph J. Lips teilte mit, daß sogar die Kaiser der afrikanischen Staaten südlich der Sahara oft das Schmiedehandwerk erlernten. In der Mitte des vorigen Jahrhunderts mußte in einem der großen Reiche des Kongos jeder Feudale, der Kaiser werden wollte, den Beweis antreten, daß er ein guter Schmied war.

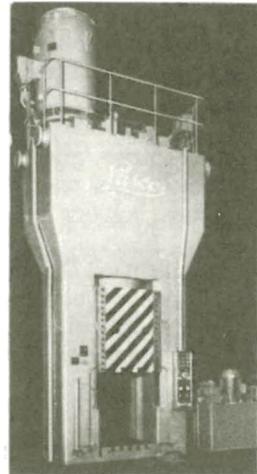
Bei den asiatischen Völkern, zum Beispiel den Burjaten, konnte nur derjenige Schmied werden, dessen Vorfahren schon als Schmied gearbeitet hatten. Ein normaler Sterblicher konnte nicht so ohne weiteres



dieses geheiligte Handwerk ergreifen. Über das Entstehen dieses Handwerks berichtet eine alte burjatische Sage. In ihr wird von schweren Zeiten erzählt, als die Menschheit, der Eisenerzeugung noch nicht kundig, ein jammervolles Leben führte. Eines Tages schickten die guten Geister den Gott des Feuers mit seinen neun Söhnen auf die Erde, damit diese den Menschen ein heiliges Handwerk beibrächten. Der Feuergott selbst kehrte bald darauf in den Himmel zurück, während seine Söhne die Töchter des Landes heirateten. Ihre ersten Schüler wurden die Vorfahren aller Schmiede. Bei den Burjaten gehörten die Schmiede zu den höherranggestellten Gesellschaftsschichten, die keine Steuern zahlen brauchten und als Verwandte der Götter zählten. Bei den Mongolen sind die Darchaten die Schmiede, die in den Ritterstand erhoben wurden.

Im mittelalterlichen Europa wurde den Schmieden ebenfalls große Ehre zuteil. Alle Freunde von Wilhelm dem Eroberer, der im 11. Jahrhundert in England regierte, waren Schmiede. Noch lange Zeit danach saß der Schmied bei feierlichen Anlässen mit dem König an einer Tafel und konnte alle auf dem Tisch befindlichen Speisen und Getränke zu sich nehmen. In der Rangordnung stand der Schmied noch über dem Metbrauer, während der Arzt unter beiden rangierte.

In England wurden im Mittelalter viele geschickte Schmiede sehr reich und einige sogar Lords. Der Gründer einer solchen Dynastie, der Fabrikant Fuller,



wählte für sein Hofwappen die Schmiedezange. Sein Wahlspruch lautete »Mit Kohle und Zange«. Ein anderer Schmied, Leonard Gehl, konnte seinem Sohn ein Schloß und einen Sitz im Parlament verschaffen.

»Wer Schmied werden will, der muß schmieden können!«, sagen die Franzosen. Dazu muß man es erlernen. Darüber berichtet das alte Buch »Erscheinungen der Natur und der Kunst« (1788) folgendes: »Kein Handwerker ist für die Gesellschaft so notwendig wie der Schmied. . . Dieses nützliche Handwerk sollten die Lehrlinge gegen Bezahlung zwei Jahre erlernen und danach sollten sie nochmals vier oder fünf Jahre ohne Lohn bei einem Meister arbeiten. An vielen Stellen war es für die Aufnahme in die Schmiedezunft erforderlich, zwei Hufeisen, eine Mistgabel und ein Beil zu schmieden.«

In unserer Zeit ist die Lehre wesentlich schwerer, da die jetzigen Erzeugnisse nicht Hufeisen oder Mistgabeln, sondern komplizierte Maschinenteile darstellen. Der Schmied arbeitet jetzt an Hämtern und Pressen. Er führt Arbeiten zum Schmieden sowohl von einfachen als auch von komplizierten Teilen aus, wobei er die festgelegten Bearbeitungszugaben und Oberflächengüten einhalten muß. Während seiner Berufsausbildung erlernt der Schmied auch heute noch das Schmieden von Hand.

Welche Meisterschaft kann man in diesem Beruf in unseren Tagen erreichen? In der Sowjetunion wird gesagt: »Ein guter Schmied kann auch eine Ameise

beschlagen.« Und das ist wahr. Ein Könner aus Tula, der im Wolgograder Traktorenwerk arbeitet, hatte den Leitspruch: »Um Eisen zu brechen, braucht man keinen Verstand.« Er konnte durch Freiformschmieden ein Porträt herstellen oder zum Beispiel eine Rosenblüte unter dem Hammer anfertigen. Das ist Kunst! Der Obuchowsker Schmied Iwan Agejew schmiedete stählerne Rosen und konnte mit dem Schlag eines 5-t-Dampfhammers den Deckel einer auf dem Amboß liegenden Taschenuhr schließen.

In unseren Tagen muß man an Ausrüstungen arbeiten, die in alten Zeiten nicht bekannt waren. Der Schmied N. A. Soloschenko arbeitet in Kramatorsk an einer ungewöhnlich großen Schmiedepresse, die eine Höhe von vierstöckigen Häusern und eine Preßkraft von 10000 t besitzt. Auf dieser Presse wurde zum Beispiel die viele Tonnen wiegende Ruderwelle für den Atomeisbrecher »Lenin« geschmiedet. Hier wandelten sich Stahlblöcke in Turbinenwellen um für die Wasserkraftwerke in Bratsk, Vilnius, Krasnojarsk, an der Wolga und am Don sowie viele andere.

Einst arbeitete der Schmied den ganzen Tag in der Schmiede und trug die von der Ofenhitze angesengte Kleidung auf dem Körper. Die Lebenserwartung der Schmiede aus dem Donbass war noch niedriger als die der Bergleute. Der Schmied von heute ist ein Gebieter über Pressen. Er ist ein Mensch, der hohe technische Kenntnisse besitzt, seinen Beruf liebt und stolz auf ihn ist.

Die Eisensäule von Delhi

Der arabische Naturwissenschaftler und Historiker aus Choresm Al-Biruni (973 bis 1048) beendete im Jahre 1048 seine große Abhandlung »Mineralogie oder gesammelte Kenntnisse zur Deutung von Kostbarkeiten«. Dieses Werk enthält auch ein Kapitel über das Eisen, das leider nur als Fragment erhalten geblieben ist. In diesem Kapitel berichtet Al-Biruni mit Erstaunen über eine Legende von einer Eisensäule. Er schreibt unter anderem: »Zu den unglaublichsten Geschichten über die Herkunft des Eisens, die aber immer wieder mit Hartnäckigkeit in den Chroniken auftaucht, gehört auch folgende: Während der Eroberung von Gandhara (altes Zentrum von Kultur und Wissenschaft, Gebiet zwischen den Flüssen Indus und Jhelam) durch die Araber wurde eine Eisensäule von 70 Ellen Länge gefunden. Der Herrscher Chischan Ibn Amir gab den Befehl, diese Säule aus der Erde auszugraben. Dabei stellte sich heraus, daß sie noch 30 Ellen in die Erde hineinragte. Daraufhin begann er, Erkundigungen über sie einzuziehen. Man erzählte ihm, daß jemenitische Krieger, die zusammen mit den Persern in Indien einfielen, nach der Eroberung des Landes aus ihren Schwertern diese Säule herstellten und dabei verkündeten: »Wir wollen von hier aus in kein anderes Land mehr gehen« und bemächtigten sich des Gebietes. Man berichtete ihm auch, »daß dies eine Erzählung für diejenigen ist, die nichts von der Metallbearbeitung und Gußstückherstellung verstehen«. Das ist geradezu eine Dummheit für Krieger, die während der Eroberung eines Landes die Vergrößerung ihres Waffenarsenals anstreben. Es würde genau der umgekehrte Fall eintreten, wonach sie sich mit Hilfe dieser Säule Waffen schmieden würden. Das erinnert an die Erzählung jener Leute, die die Fahrten zwischen Choresm und dem Land der Gänse vollbrachten, sowie an den Eisenamboß mit der Höhe eines hohen Gebäudes, neben dem man auf dem Weg geht...«

Leider bricht das Kapitel über Eisen an dieser Stelle ab. Das Ende ging verloren. Die Berichterstattung über die Eisensäule zählt Al-Biruni ungerechtfertigterweise zu den unwahren Geschichten, denn eine Säule dieser Art existierte schon zu Al-Birunis Lebzeiten mehr als 600 Jahre in Indien. Sie ist bis heute erhalten geblieben und steht im Hof der Kuwat ul Islam-Moschee am Fuße des Kutub Minar in der Nähe von Delhi. Die Säule trägt eine Sanskritinschrift aus

dem 4. Jahrhundert u. Z., die, obgleich sie jahrhundertelang Wind und Wetter ausgesetzt war, noch heute klar und deutlich zu lesen ist. Die Inschrift hat etwa folgenden Wortlaut:

»Der, über dessen Kriegsruhm das Schwert berichtet, als er in der Schlacht bei Vanga mit seiner Brust die Feinde bedrängte und zurückwarf, die sich gegen ihn vereinigt hatten.

Der, welcher die Vahlikas eroberte, nachdem er auf seinem Kriegszug die sieben Mündungen des Flusses überquerte.

Der, nach dessen Tapferkeit die Brisen des südlichen Ozeans noch heute duften.

Der, dessen großer Ehrgeiz und dessen große Energie, die seine Feinde restlos vernichteten wie die Gluthitze eines alles verbrennenden Feuers einen Wald, auf der Erde noch heute spürbar sind, obgleich er, der König, sich wie ermüdet von der Erde getrennt hat und in die andere Welt eingetreten ist, wo er körperlich im Paradies lustwandelt, die Mehrzahl seiner Taten gewonnen hat. Aber er bleibt auf dieser Erde durch das Gedenken seines Ruhmes.

Er, der König, der die alleinige Herrschaft über die Welt durch seine eigene Waffe erkämpfte und lange Zeit genoß, der den Namen Chandra trug und so schön von Angesicht war wie der Vollmond, richtete seinen Sinn in Treue auf den Gott Vishnu. Das erhobene Symbol des göttlichen Vishnu steht auf diesem Hügel und wird Vishnuparda genannt.«

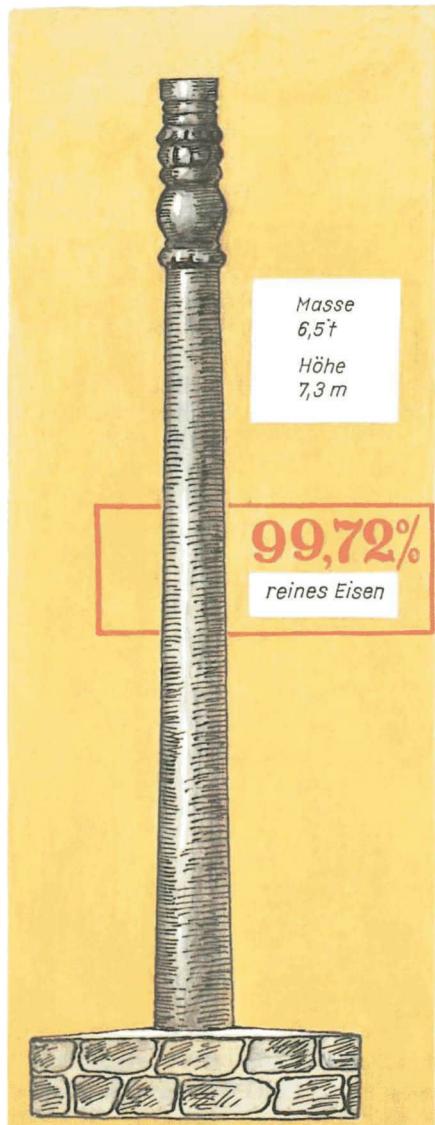
Die Historiker vermuten, daß sich diese Inschrift auf den Gupta-Kaiser Chandra-Gupta (375 bis 413) oder den König von Pushkarana Chandravarman (326 bis 375) bezieht. Der in der Inschrift beschriebene Standort »auf einem Hügel vor einem Vishnutempel« stimmt mit dem heutigen Standort nicht überein. Aus dem Gupta-Charakter der Inschrift wird geschlossen, daß sie ursprünglich im Osten des Landes im Gebiet von Magadha (im heutigen Bilhar und Orissa), dem Kerngebiet des Reiches der Gupta, errichtet wurde. Eine weitere Inschrift aus dem Jahre 1052 berichtet, daß sie Kaiser Anang Pal nach Delhi überführen ließ. Ob das Datum der ersten Inschrift mit dem Zeitpunkt der Herstellung der Säule übereinstimmt oder ob die Säule einer älteren Zeit angehört, konnte bisher nicht eindeutig ermittelt werden.

Die Säule ist ein eindrucksvolles Zeugnis der metallurgischen Fähigkeiten und der Schmiedekunst der Hindu. Sie wiegt etwa 6,5 t und hat eine Gesamthöhe von 7,3 m, davon ragen 6,5 m über den Erdboden

heraus. Ihr Durchmesser nimmt von 416 mm am Boden auf 295 mm am Oberteil ab. Das kunstvoll geschmiedete Kapitell hat eine Länge von etwa 1 m (3,5 Fuß). Es trug ursprünglich ein Abbild des heiligen Sonnenvogels Garuda. Die Säule besteht aus Eisen hoher Reinheit. Nach Untersuchungen von Robert Hadfield enthält sie 0,114 % Phosphor, aber nur 0,006 % Schwefel und praktisch kein Mangan. Der sehr niedrige Schweißgehalt ist auch heute noch eine metallurgische Spitzenleistung. Er ist ein Hinweis auf den hohen Reinheitsgrad der Erze und des Brennstoffs (vermutlich Holzkohle).

Anlaß zu zahlreichen Spekulationen gab die Oberfläche der Säule. Sie ist sehr glatt und zeigt nicht die üblichen Rostspuren, sondern trägt eine patinaähnliche braungelbe bis grüne Schicht. Man hat deshalb früher sogar angenommen, daß die Säule aus Bronze oder einer anderen Kupferlegierung besteht.

Betrachtet man die Abmessungen der Säule, so ist die meisterhafte Kunst der Schmiede des alten Indiens zu bewundern. Die Herstellung von Schmiedestücken dieser Größe wird in Europa erst seit etwa 100 Jahren beherrscht. Heute würde man für die Säule einen etwa 9 bis 10 t schweren Stahlblock abgießen, der auf einer hydraulischen Schmiedepresse mit einem Arbeitsdruck von 1000 t oder einem 10-t-Schmiedehammer umgeformt werden müßte. Die hohe Oberflächengüte wäre nur mit einem erhöhten Aufwand beim Fertigungsschmieden einzuhalten. Die indischen Altmeister haben die Säule aus einzelnen Luppen zusammengeschweißt. Da sie den Wasserhammer nicht kannten, können sie dafür nur Handhämmer und heute unbekannte, in Vergessenheit geratene Zusatzvorrichtungen verwendet haben. Die Grenze der Handschmiedearbeiten in Europa wurde mit der Herstellung der Hauptanker für große Linienschiffe erreicht. Ludwig Beck berichtet darüber in seiner »Geschichte des Eisens« unter Bezugnahme auf Mallet: »... Der größte Querschnitt eines Ankerflügels an der Verbindungsstelle betrug aber 8, höchstens 9 Zoll und das Schweißen wurde ermöglicht durch 24 Zuschläger, die aufeinander eingeübt waren und Hämmer von 14 bis 18 Pfund schwangen. Der Hagelschauer der Hammerschläge, die mehrere Minuten auf die Eisenmasse fielen, übte doch nur eine ungenügende Wirkung, so daß sowohl das Ausschmieden wie das Schweißen dieser Anker oft sehr mangelhaft war, und dabei mußten die Zuschläger enge in einem Kreise zusammenstehen und so dicht bei der glühenden Eisenmasse, als es das Ausholen zum Zuschlagen erlaubte, wodurch sie durch die strahlende Hitze versengt wurden, so daß Arbeiter mit zarter Haut gar nicht zu brauchen waren. Deshalb war denn auch hier etwa die Grenze der Handschmiederei erreicht, sowohl bezüglich des mechanischen Effektes, den der Hammer auf das Eisen ausübt, als bezüglich des Widerstandes der Arbeiter gegen die strahlende Hitze, die von dem glühenden Eisen ausströmte und



die zu bemessen war durch die Länge des Hammerstieles. Der Querschnitt der Verbindungsstelle eines solchen Hauptankers (best bower) zu der des Delhipfeilers verhält sich aber etwa wie 64:201, infolgedessen würden also die erhitzten Enden der zu schweißenden Massen mehr als dreimal soviel Hitze ausstrahlen, und die zur Schweißung erforderliche mechanische Kraft würde mehr wie dreimal so groß sein müssen, wie bei dem Anker. Wir können deshalb behaupten, daß selbst von europäischen Arbeitern ein Stahl von 16 Zoll Durchmesser nicht mit dem Vorschlaghammer hätte geschweißt werden können.«

Die Säule bei Delhi ist nicht das einzige große Schmiedestück des alten Indiens. Im Westen des Subkontinents in einem Tempel aus dem Jahre 1405 in Dhar wurde eine etwa 11 m lange und 200 mm starke Eisensäule gefunden. Für den Bau von Tempeln in Puri und Kanarak am Golf von Bengal haben die Inder massive Eisenbalken verwendet. In der um 1240 errichteten »Schwarzen Pagode« von Kanarak findet man bis zu 10 m lange Eisenbalken der Abmessung 200 mm Vierkant. Im Jagannath-Tempel von Puri hat man 239 Eisenträger gezählt.

Die weite Verbreitung dieser Schmiedestücke aus dem 4. bis 13. Jahrhundert ist ein deutlicher Hinweis auf den hohen Entwicklungsstand und die Traditionen der indischen Metallurgie. Von der Leistungsfähigkeit der indischen Metallurgie zeugen nicht nur die großen Schmiedestücke; der indische Stahl war schon Jahrhunderte vor unserer Zeitrechnung durch seine ausgezeichnete Qualität berühmt. Schon der Perserkönig Artaxerxes Mnemon (404 bis 358 v. u. Z.) und der griechische Arzt Galen (129 bis 199 u. Z.) wußten den indischen Stahl ebenso zu schätzen wie die Fürsten der arabischen Welt und des europäischen Mittelalters.

Die Historiker wiesen nach, daß die bei der Errichtung der ägyptischen Pyramiden verwendeten eisernen Steinbearbeitungswerzeuge aus Südinien stammten, das einen sehr lebhaften Handel mit Rom, Ägypten und Griechenland betrieb. Indien war für seine Stahlwaren so bekannt, daß bei den Persern ein Sprichwort existierte: »Das hieße Stahl nach Indien tragen.«

Ein Denkmal der iranischen Architektur aus dem 14. Jahrhundert ist das Kuppelmausoleum der Moschee des Herrschers Oldschait-Chans. Die Moschee war mit einem Mosaik aus bunten glasierten und spiegelnden Platten dekoriert. Die Hauptattraktion des Mausoleums

stellten die Türen zum Grab des Chans dar, die aus dünnstem indischem Stahl gefertigt waren. Aus Stahl waren auch die die Grabstätte des Chans umgebenden Gitter. Sie wurden angeblich aus einem Stahlbock gefertigt, der mehr als 7 Jahre in Indien bearbeitet wurde.

Über das Schmelzen des Eisens berichten bereits die Brāmanas, altindische geheilige Texte, die etwa um 1000 bis 800 v. u. Z. verfaßt wurden. Kantilya macht in seinem Arthaśastra, dem »Lehrbuch vom weltlichen Gewinn« im 4. Jahrhundert v. u. Z. sorgfältige Angaben über die Reduktion von Erzen und das Schmelzen von Metallen sowie die Unterscheidung verschiedener Güten. Die indische Metallurgie hatte damit zur Zeit der Herstellung der Säule von Delhi eine mehrtausendjährige Geschichte hinter sich. Eisen und Stahl waren das gebräuchliche Material für die Fertigung von Waffen und Werkzeugen. Die Kenntnis des Eisens und der Eisenverarbeitung, besonders der eiserne Pflug, waren unter anderem auch wesentlich für die Entwicklung des Ackerbaues.

Fast an die Oberfläche tretende Eisenerzlagerstätten in der Nähe von Rajgir, der sich darauf aufbauende Bergbau und die Metallurgie waren eine Quelle der Macht des Großreiches von Magdha im 5. und 4. Jahrhundert v. u. Z.

Damaszenerstahl

Walter Scott erzählt in seinem Roman »Talisman« über einen Geschicklichkeitswettbewerb zwischen Sultan Saladin und dem englischen König Richard Löwenherz. Während des Kampfspiels zerschlug Richard die Lanze eines Ritters mit einem Schwertstreich in zwei Teile. Alle sahen die hohe Festigkeit des Stahls und die große Kraft des Königs. Als Antwort warf Saladin einen dünnen Schleier in die Luft und hieb ihn mit dem Säbel in zwei Teile. Das war ein überzeugender Beweis für die Gewandtheit des Kriegers und die Schärfe der Klinge seiner Waffe. Die Klinge war aus Damaszenerstahl. Das ist eine der vielen Legenden, die man sich über die wundervollen Eigenschaften dieses Stahls erzählt.

Vom Damaszenerstahl haben selbst Nichtmetallurgen schon gehört. Die erste Kunde darüber erhielten wir schon vor 2300 Jahren von den Teilnehmern am Feld-

zug Alexanders des Großen nach Indien. Indische Fürsten schenkten Alexander unter anderem 100 TALENTA Stahl, das sind etwa 260 kg. Das war zu jener Zeit eine sehr bedeutende Menge. Dieses Ereignis wurde deshalb in den Annalen des großen Feldzuges festgehalten.

Die indischen Meister beherrschten viele Jahrhunderte die Kunst der Metallbearbeitung. Der bekannte arabische Weltreisende und Geograph El Edristi (1100 bis 1166) schrieb im Jahre 1154, daß die Inder seiner Generation durch die Stahlerzeugung und das Schmieden von Schwertern berühmt waren. Einhundert Jahre zuvor rief Al-Biruni bei der Beschreibung der Stahlerzeugung und der Fertigung von Schwertern mit Entzücken aus: »Niemals wird es ein Volk geben, das von den einzelnen Arten der Schwerter mehr versteht, als die Bewohner Indiens«. Er berichtete weiter, daß die Klingen der indischen Schwerter unterschiedlichste Farben besaßen: grüne (das polierte Eisen wurde mit erhitztem Kupfervitriol eingerieben), blaue, weiße oder farandfarbige (nach einem seidenen, gemusterten Stoff), das heißt mit rotweißen Feldern auf dem Stahl.

Die Muster und Zeichnungen auf dem Metall waren die äußeren Kennzeichen der indischen Schwerter. Bei bestimmten Stählen wurden die Muster sofort nach dem Polieren sichtbar. Bei anderen Stählen erschienen die Figuren erst nach dem Ätzen mit Pflanzensaften. Das Muster konnte grob oder fein sein.

Indien ist die Heimat des Gußstahles. Die einheimi-

sche Bezeichnung für den »indischen Stahl« lautet »Wutz« (Wooz), ein Wort der Gujaratsprache, das zurückgeführt wird auf das Sanskritwort »vágra«, die Bezeichnung für den Donnerkeil Indiras, das Meteor-eisen und den Diamant. Der Kutch in Gujarat an der Westküste Indiens nördlich von Bombay gehörte zu den wichtigsten Zentren für die Herstellung des Wutz. Das für seine Erzeugung angewandte Verfahren ist das älteste zur Erzeugung von Stahl aus Schmiedeeisen. Nach diesem Verfahren wurde noch gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts in verschiedenen Gegenden Indiens Stahl erzeugt. In kleinen Tiegeln wurden 300 bis 1000 g Schmiedeeisen mit Holzkohle unter Luftabschluß etwa 4 bis 8 Stunden im Schmelzofen erhitzt und langsam abgekühlt. Das Eisen wurde durch diese Behandlung zu Stahl aufgekohlt und aufgeschmolzen. Dieses jahrtausendealte indische Verfahren zur Stahlerzeugung vereinigte damit in genialer Weise die Zementation des Eisens mit der Gußstahlfabrikation. Zwei Verfahren, die in Europa erst relativ spät entwickelt wurden (Zementation: Zeller 1608, Reaumur 1721; Gußstahl: Huntsman um 1740). Die indischen Metallurgen hüteten sehr sorgfältig das Geheimnis der Herstellung des Wutz und gaben es von Generation zu Generation weiter.

Neben Fertigerzeugnissen exportierten die Inder schon im Altertum ihren Stahl in andere Länder. Der Wutz vom Kutch wurde zum Beispiel als fladenähnlicher Regulus gehandelt. Er hatte einen Durchmesser



von 8 bis 10 cm und eine Dicke von etwa 2,5 cm, seine Masse betrug 900 bis 1500 g. Die Scheiben wurden in zwei Hälften zerbrochen, damit sich der Kunde von der Güte des Stahles überzeugen konnte. Der Stahl wurde in Asien unter dem persischen Namen »Pulat«, russisch »Bulat« bekannt.

Auch außerhalb Indiens entwickelten sich Zentren der Stahlverarbeitung. Besonderen Ruhm erwarb sich die syrische Stadt Damaskus. Dort existierte schon vor 2000 Jahren eine große Schmiede, in der Waffen aus indischem Stahl gefertigt wurden. Die Klingen aus Damaskus gelangten in viele Länder, sogar bis nach Ghana und Mali. Die Bezeichnung »Damaszenerstahl« wurde zu einem Sammelbegriff für einen Stahl, den man jedoch in verschiedenen Ländern erzeugte.

Die Damaszenerklingen wurden zu allen Zeiten sehr hoch geschätzt. Al-Biruni, der über die unterschiedlichsten Arten der indischen Schwerter berichtete, erinnert an eines von ihnen, an Madly, auf dem Tiere und Bäume abgebildet waren: »Die Kosten eines solchen Schwertes stimmen mit dem Preis eines guten Elefanten überein, und wenn auf den Zeichnungen auch noch Menschen dargestellt sind, dann ist der Preis für ein derartiges Schwert noch höher.«

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts besaß der Emir von Suidh einen Damaszinersäbel, der ihm 900 Pfund Sterling (9 000 Goldruble) einbrachte.

Die Europäer lernten den Damaszenerstahl zur Blütezeit des Römischen Reiches kennen, das heißt vor etwa 2000 Jahren. Später trugen Kaufleute durch ihren Waffenhandel den Ruhm der Damaszener Waffen in alle Lande. Mit Beginn des 3. Jahrhunderts verbreitete sich das Geheimnis um das Schmiedeverfahren der Damaszener Schwerter in Westeuropa.

Im Mittelalter wurde auch in der Kiewer Rus Damaszenerstahl hergestellt und verarbeitet. Dokumente bestätigen, daß ebenfalls in Moskau die Damaszenerstahlerzeugung betrieben wurde.

Neben dem echten orientalischen Damast wurde auch durch Zusammenschweißen von Stahl und Eisenstäben ein künstlicher oder gegerbter Damast erzeugt. Die Muster dieses künstlichen Damasts sind durch ihre geometrische Regelmäßigkeit von der natürlichen zufälligen Zeichnung des indischen Wutz zu unterscheiden.

Gegen Ende des 17. Jahrhunderts trat die Kunst der Verarbeitung des Damaszenerstahles in Europa in den Hintergrund und geriet bald in Vergessenheit. Der Damaszenerstahl war ein Produkt der Manufaktur-

wirtschaft, er wurde hauptsächlich für Blankwaffen und hochwertige Schneidwerkzeuge verwendet. Mit der Entwicklung der Schußwaffen ging der Bedarf an hochwertigen Klingen stark zurück. Für andere Einsatzgebiete fand die sich entwickelnde Industrie rationellere Lösungen. Die Waffenschmiede in Südasien, besonders der Völker des Islams, erzeugten dagegen noch im vergangenen Jahrhundert ihre Klingen aus dem Pulat. Der »indische« Pulat stand bei ihnen wie schon vor 2000 Jahren hoch im Kurs. Er wurde in Indien nach einer Technologie aus uralter Zeit erzeugt.

Den europäischen Metallurgie- und Wissenschaftlern des 19. Jahrhunderts war das »Geheimnis« der Erzeugung des Damaszenerstahles zunächst jedoch nicht bekannt. Erst durch die Arbeiten von Karsten im Jahre 1814 war ja die chemische Zusammensetzung von Schmiedeeisen, Stahl und Gußeisen bekannt geworden. Der Bedarf der Industrie an leistungsfähigeren Stählen besonders für Werkzeuge löste erste Versuche zur Erzeugung legierter Stähle aus. Angeregt durch Berichte über die legendären Eigenschaften des indischen Wutz, führten im Jahre 1819 der bekannte englische Physiker Michael Faraday und der Messerschmied Stodart Versuche zur Erzeugung von Damaszenerstahl durch. Sie überprüften dabei unter anderem den Einfluß von Aluminium, Chrom, Nickel und Silber auf die Eigenschaften des Stahles. Als besonders aussichtsreich erschien ihnen eine Legierung aus einem Teil Silber und 500 Teilen Stahl.

Der Franzose Bréant versuchte, durch Schmelzen von 100 Teilen Stahl, einem Teil Kienruß und einem Teil Graphit Damast zu erzeugen. Oberstleutnant Fischer aus Schaffhausen erwarb im Jahre 1825 ein österreichisches Patent für einen nickellegierten Stahl, den er Meteorstahl nannte, »weil sich im Meteorreisen immer Nickel befindet«. Auch er versuchte, mit diesem Stahl durch Zusätze von Holzkohle und Chromeisenstein orientalischen Damast zu erzeugen.

Der Niederländer de Luynes fertigte zahlreiche Analysen von indischem Wutz und damaszierten ost-indischen Säbeln und Dolchen an. C. Hartman berichtet in seinem 1853 veröffentlichten Werk »Die Bereitung und Verarbeitung des Stahles« darüber, »daß diese Analysen insofern den Verdacht erregen, als sie den Kohlenstoffgehalt dieser indischen Produkte so groß angeben, daß dieser Kohlenstoffgehalt den des am meisten gekohlten Roheisens sogar um das Vierfache übersteigt.«

Das Geheimnis der Herstellung des Damaszener-

stahls war auch Gegenstand von Arbeiten des russischen Metallurgen Pawel Petrowitsch Anosow. Nach langen, umfangreichen Versuchen stellte Anosow im Jahre 1833 in Slatoust die ersten Damaszenerklingen her. »Die Klinge bog sich ohne die geringste Beschädigung und gab dabei einen reinen und hohen Ton von sich. Das polierte Ende teilte die besten englischen Meißel, obgleich es angelassen war. Der Stahl nahm leicht die Muster an und trennte sauber und glatt«, schrieb Anosow in der Zeitschrift »Gornoj Shurnal«.

Die in der Slatouster Fabrik erzeugten Damaszenerklingen hatten einen Goldschimmer mit großen netzartigen oder gekröpften Musterungen, die nach Meinung der Meister ein hohes Gütezeichen darstellten. Diese Klingen trennten Knochen und Nägel, ohne daß die Schneide verletzt wurde. Außerdem konnte auch ein in die Luft geworfenes Tuch getrennt werden.

Was ist Damaszenerstahl, dessen wahre Natur den Menschen so lange unbekannt war? »Eisen und Kohlenstoff und sonst weiter nichts«, antwortete Anosow. »Alles ist eine Sache der Reinheit der Ausgangsstoffe sowie der Abkühl- und Erstarrungsmethoden.«

Tatsächlich erwies sich Damaszenerstahl als eine Legierung mit 1,3 bis 1,5 % Kohlenstoff. Bei langsamem Abkühlen scheiden sich aus der Schmelze zunächst grobe kohlenstoffarme Eisenkristalle aus, sie werden eingehüllt von hochkohlenstoffhaltiger Restschmelze. Dieses Gefüge wird durch die Umformung bei Rotgluttemperatur, das heißt im Zweiphasengebiet, aufrechterhalten. Zu hohe Schmiedetemperaturen führen zu einem Verlust der charakteristischen Maserung und der damit verbundenen Eigenschaften. Das heterogene Gefüge erfordert vor allem bei der Erstumformung besondere Sorgfalt und Vorsicht. Es sind nur leichte Hämmer einzusetzen. Die niedrige Schmiedetemperatur bedingt ein häufiges Nachwärmen. Die Herstellung und Verarbeitung des Damaszenerstahles ist deshalb sehr arbeitsaufwendig, langwierig und erfordert ein hohes Maß an Können und Erfahrung.

Das Damastgefüge verleiht dem Stahl seine hervorragenden Eigenschaften. Die hochkohlenstoffhaltigen Bereiche sind Träger einer hohen Härte. Seine hohe Zähigkeit geht zurück auf die feinverteilten kohlenstoffärmeren Kristallite. Die für den Damaszenerstahl charakteristische Kombination von hoher Härte, Schneidhaptigkeit und Zähigkeit wird von den herkömmlichen Stählen nicht erreicht.

Die Arbeiten zur Produktionsaufnahme des Damaszenerstahls beeinflußten die Entwicklung der russi-

schen Metallurgie wesentlich. Zu jener Zeit waren das Siemens-Martin-Verfahren und die Konverterprozesse noch unbekannt. Der Gußstahl wurde durch Einschmelzen von zementiertem Eisen in Tiegeln in einem arbeitsaufwendigen, langen und unproduktiven Prozeß hergestellt. Die Zementierung selbst, das heißt das Aufkohlen des Eisens, umfaßte einen noch längeren Zeitraum, der oft bis zu mehreren Tagen dauerte.

Anosow entdeckte bei seinen Untersuchungen am Damaszenerstahl das Stahlerzeugungsverfahren der indischen Altmaster auf einer neuen, höheren Stufe. Sein Wesen bestand im Schmelzen von für den sonstigen Bedarf ungeeigneten Eisen- und Stahlabfällen. Dazu wurde dieser Schrott in Tontiegel chargiert, die in Gebläseöfen auf hohe Temperaturen erhitzt wurden. Damit gelang Anosow im großtechnischen Maßstab die Kombination von Aufkohlung und Schmelzen. Der in Europa übliche umständliche Prozeß des Aufkohlens des Schmiedeeisens im festen Zustand und der anschließenden Schmelzung im Tiegel wurde beträchtlich vereinfacht und verkürzt. Seine Technologie war ein Erfolg für die praktische Metallurgie, sie gestattete die Erzeugung von Gußstahl homogener Zusammensetzung in relativ großen Mengen.

Nachdem Anosow im Ural das Schmelzen von Tiegelstahl eingeführt hatte, schrieb er mit berechtigtem Stolz: »Der in Slatoust aus Stahlabfällen und Tagiler Eisen produzierte Gußstahl ist nicht schlechter als englischer. Davon konnte ich mich in vielen Vergleichsuntersuchungen überzeugen.«

Am Ende seiner Erzählung über den Damaszenerstahl spürt der Autor schon die Frage des ungeduldigen Lesers: »Wie sieht es jetzt mit dem Damaszenerstahl aus? Welche Bedeutung hat er heute?« Mancher Leser zweifelt vielleicht daran, daß man heute solch einen Stahl herstellen kann.

Bestimmt werden einige annehmen, daß man gegenwärtig einen Damaszenerstahlblock erzeugen und daraus, beispielsweise durch Walzen, Rohmaterial für Rasierklingen produzieren kann. Dabei wird aber vergessen, daß der Damaszenerstahl nach einer besonderen Technologie hergestellt wird. Das Schmieden der Teile aus Damaszenerstahl muß man sehr vorsichtig durchführen, damit die Struktur nicht zerstört, sondern nur zusammengedrückt wird. Dabei sollen sich die »harten« und »weichen« Bestandteile miteinander verfilzen. Nur in einem solchen Falle erhält man Material, das bei hoher Härte gleichzeitig große Zähigkeit besitzt. Für jedes Teil ist die Einhaltung bestimmter Umform-

bedingungen erforderlich. In unseren Tagen ist eine Technologie, nach der jedes Teil individuell behandelt wird, einfach nicht vorstellbar, somit auch nicht das Schmieden einer Rasierklinge.

Das von Anosow entwickelte Stahlerzeugungsverfahren wurde schon in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts durch neue, leistungsfähigere Verfahren abgelöst. Diese Verfahren ermöglichen den Einsatz des Stahles als Konstruktionswerkstoff mit Massenanwendung. Für eine Vielzahl von Einsatzgebieten wurden Stähle mit spezifischen Eigenschaften entwickelt, die der Damaszenerstahl nicht besitzt. Das »Geheimnis« des Damaszenerstahles ging deshalb schon im 19. Jahrhundert erneut verloren, er wurde nicht mehr hergestellt.

Die Untersuchungen am Damaszenerstahl hatten ergeben, daß es möglich ist, durch eine definierte Verteilung harter und weicher Gefügebestandteile ein Optimum von Festigkeit und Zähigkeit einzustellen. Dieser Gefügekombination galt deshalb immer wieder das Interesse der Werkstoffingenieure. Versuche zur Entwicklung rationeller Technologien für die Erzeugung von künstlichem Damast führten jedoch nicht zum Erfolg. Ungeachtet dessen stellte im Jahre 1978 der amerikanische Werkstoffwissenschaftler O. D. Sherby die Frage: »Wird der Damaszenerstahl neu entdeckt?« Ist diese Frage berechtigt? Gehen wir tatsächlich einer Renaissance des Damaszenerstahles entgegen?

Anosow ergründete die Natur des Damaszenerstahles und verwirklichte die Schmelztechnologie der legendären Metallurgen des Altertums auf großtechnischer Basis. Für das Problem der individuellen Verarbeitung des Stahles fand er keine Lösung. Sie ist heute möglich! Werkstoffingenieure und Metallformer entwickeln die Verfahren der thermomechanischen Behandlung, eine Kombination von Umformung und Wärmebehandlung. Mit Hilfe dieser Verfahren können auch sehr feine Gefüge erzeugt werden. Fortschritte auf dem Gebiet des Walzwerksanlagenbaues gestatten eine energiesparende Halbwarmumformung im Zweiphasengebiet. Die thermomechanische Behandlung, angewendet bei der Umformung im Zweiphasengebiet, gestattet die Einstellung von Gefügen, die denen des Damaszenerstahles vergleichbar sind.

Die Entwicklung auf dem Gebiet der Rohstoff- und Energiepreise in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre hat sehr deutlich unterstrichen, daß eine wesentliche Aufgabe der Werkstoffingenieure in der maximalen Ausschöpfung der Eigenschaften der verfügbaren

Werkstoffe besteht. Die Methode der Schmiede des Altertums, optimale Eigenschaften von Eisen-Kohlenstoff-Legierungen durch eine erzeugnisspezifische Halbwarmumformung einzustellen, ist unter diesem Gesichtspunkt eine interessante Alternative für zahlreiche legierte Stähle.

Erste Untersuchungen zeigen, daß es möglich ist, mit UHC-Stählen (ultra high carbon – ultrahoher Kohlenstoff; 1,0 bis 2,1% C) bei kontrollierter Beeinflussung des Gefüges ungewöhnliche Eigenschaften zu erzielen. Bei einer Streckgrenze von 1000 MPa wird zum Beispiel noch eine Dehnung von 20% erreicht. Dieser Dehnungswert ist sehr hoch. Der höherfeste schweißbare Baustahl H 52 hat etwa die gleiche Dehnung bei einer Streckgrenze von nur 350 MPa. Auch im gehärteten Zustand erreichen die UHC-Stähle im Vergleich zu den herkömmlichen Stählen Höchstwerte an Duktilität und Festigkeit. Aus der gründlichen Analyse der Methoden der Metallurgen des Altertums ergeben sich auf diese Weise Ansatzpunkte für interessante Neuentwicklungen.

Weißblech aus dem Erzgebirge

Um die Kunst der Weißblechfabrikation im Ursprungsland kennenzulernen und diesen Industriezweig in England einzuführen, reiste 1665 Andrew Yarranton (1616 bis 1690), der Begründer der englischen Nationalökonomie, in Begleitung seines Dolmetschers, einem Hüttenmann aus Böhmen, nach Deutschland. Im 17. Jahrhundert wurde ganz Europa mit Weißblech aus Deutschland, hauptsächlich aus Sachsen versorgt. England gehörte damals zu den Großabnehmern dieser Ware. Von Hamburg aus trat das Weißblech per Schiff den Weg in alle Welt an, soweit der Handel reichte. Die Hamburger konnten Yarranton wenig über die Herkunft des Weißbleches berichten, sie verwiesen ihn an Kaufleute aus Leipzig. Über den Dresdener Hof fand Yarranton schließlich den Weg zu den bedeutendsten Hammerwerken des Erzgebirges.

Die Eisenhammerwerke des Erzgebirges waren damals in der Weißblechproduktion führend und besaßen praktisch eine Monopolstellung. Die Hauptmenge ihrer Produktion lieferten sie über Leipzig auf dem Wasserweg nach Hamburg. In der Mitte des 17. Jahrhunderts waren in der sächsischen Weißblechindustrie

mittelbar und unmittelbar über 80 000 Beschäftigte. Dennoch gab es zwischen 1660 und 1670 Jahre, in denen Sachsen die Nachfrage Hamburger Händler nicht befriedigen konnte. Das in Sachsen erzeugte Zinn reichte für die Weißblechproduktion nicht aus. Deshalb wurde aus England Zinn eingeführt und als Weißblech wieder zurückgeliefert.

Yarranton berichtete in seinem 1677 veröffentlichten ersten Band des Werkes »Englands Förderung zu Wasser und zu Lande« über seinen Besuch in Sachsen. »Die Eisen-, Zinn- und Kupferwerke liegen in dem Tal, das sich von Saigerhütte (Grünthal bei Olbernhau) an den Städten Marienberg, Annaberg und Schneeberg vorbei bis herab nach Aue zieht. In den Hügeln und Bergen finden sich die Erze, in den Tälern sind die Flüsse, an welche die Werke gebaut sind. Die Hügel sind wenigstens zehn Meilen in der Runde voll von Wald zur Versorgung der Werke. Nicht ein Acker Land liegt wüst. Bei dieser Ordnung und Berücksichtigung aller Handelsvorteile ist die Gegend stark bevölkert, sehr reich und gewährt dem Kurfürsten ein großes Einkommen. . . . Als wir in die Hütten kamen, wurden wir sehr höflich behandelt und entgegen unseren Erwartungen hatten wir jede Freiheit, die gangbaren Werke zu sehen, ihre Art zu arbeiten und die Blechschmiede zu beobachten. Ebenso erhielten wir vollendete Einsicht in die Dinge, die sie verwendeten, um die Schwarzblech-

platten zu säubern und zinnannahmefähig zu machen. Auch die Art, sie zu verzinnen, wenn sie von Ruß und Schmutz gereinigt waren, konnten wir betrachten.«

An anderer Stelle schreibt er: »Die Entwicklung der Eisenindustrie ist ein wichtiges Mittel, um die Holländer zu besiegen, durch die wir jetzt noch eine Menge von Eisenwaren aus Lüttich, Solingen, Köln usw. beziehen. Wieviel Hände könnten beschäftigt werden, wenn diese Waren im Inland erzeugt würden. Seht nach Sachsen hin! Infolge der entwickelten Industrie gibt es dort keine Armen.«

Soweit Andrew Yarranton. Worin bestand das »Geheimnis« der Erfolge der sächsischen Weißblechindustrie? War die Kunst des Verzinnens von Eisenblechen eine Erfindung der Hüttenleute des Erzgebirges? Halten wir Rückschau auf die Entwicklung bis zum 17. Jahrhundert.

Die Kunst des Verzinnens von Metallen war schon im Altertum bekannt. Wie zahlreiche Funde und Ausgrabungen beweisen, verwendeten die Völker des Altertums von Asien bis Westeuropa Gebrauchsgegenstände und Schmuck aus verzинntem Kupfer und Eisen. Theophrastos aus Eresos auf Lesbos (372 bis 288 v. u. Z.) berichtet zum Beispiel, daß die Athener aus Gründen des Geschmackes Gefäße aus Eisen verzinnen. Die Römer kannten auch schon verzinnte Nägel.

Auch im Mittelalter war das Verzinnen von Eisenwaren ein gebräuchliches Verfahren. Im Raum von Nürnberg teilte sich die Zunft der Nagler schon früh in die Schwarz- und Weißnagelschmiede. Die Weißnagelschmiede beherrschten die Kunst der Herstellung verzinnter Nägel. Georgius Agricola beschreibt 1546 im 9. Buch seiner »De natura fossilium« das Verfahren, ein Metall mit einem anderen zu überziehen. Sollen Gegenstände aus Kupfer, Messing oder Eisen mit Silber oder Zinn überzogen werden, so müssen sie zuerst mit Essig, in dem man Salmiak gelöst hat, bestrichen werden. Danach werden sie für eine kurze Zeit in ein Bad des geschmolzenen Überzugsmetalls getaucht. Das Beizen mit Essig war offensichtlich teuer. Agricola macht deshalb darauf aufmerksam, daß man die Ausgaben dafür sparen kann. Er schreibt: . . . »Ebenso setzen die Eisenschmiede dem flüssigen Zinn Talg zu und überziehen so Gegenstände aus Eisen, die sie vorher damit nur poliert haben, ohne sie mit Essig, worin Ammoniaksalz aufgelöst war, zu bestreichen.« Die Er-



Erläuterungen zu den Bildern von den Seiten 42, 44 und 45
siehe Seite 128.

zeugung von Metallüberzügen erfolgt nicht nur zur Verbesserung des Aussehens der Gegenstände, sondern weil es von Vorteil ist. »Mit Metall überzogene Stücke aus Kupfer oder Eisen nehmen den Grünspan bzw. Rost nicht an. Das Verfahren des Überziehens mit Metall verhindert den Befall und verbessert den Geschmack der Flüssigkeiten, die man in die Gefäße gießt.«

Das im Mittelalter für Gegenstände aus Zinn und Bronze sowie das Verzinnen benötigte Metall kam aus England. Im Jahre 1241 wurde auf dem Metallmarkt in Köln erstmalig auch Zinn aus deutscher Produktion billig und in brauchbarer Qualität angeboten. Erste schriftliche Hinweise über den Zinnbergbau im Westerzgebirge (Ehrenfriedersdorf) und im Fichtelgebirge (Wunsiedel) liegen aus den neunziger Jahren des 13. Jahrhunderts vor. Schon wenige Jahre danach wird über die Aufnahme der Förderung in Krupka (1305) und Seiffen (1324) berichtet. Nürnberg, das sich im 14. Jahrhundert zu einem bedeutenden Zentrum der Metallwarenproduktion entwickelte, nahm auch auf dem Gebiet der Zinnverarbeitung eine führende Stellung ein. Neben Zinn aus dem nahen Fichtelgebirge wurde auch sächsisch-böhmisches Zinn verarbeitet. Das Verzinnen wurde zu einer Spezialität der Städte Nürnberg und Wunsiedel. Die Zinner bildeten dort ein selbständiges Handwerk. Sie verzinnnten die Fertigerzeugnisse anderer Berufsgruppen, so zum Beispiel der Schlosser, Sporer (Sporenmacher), Flaschner (Blechflaschenmacher) und anderer. Die von Agricola erwähnte übliche Technologie der eisenverarbeitenden Handwerker, ihre Erzeugnisse auf mechanischem Wege zur Annahme des Zinnüberzuges vorzubereiten, war unter diesen Bedingungen nicht mehr aufrechtzuerhalten. Wie die Weißnagelschmiede entfernten die Zinner Zunder und Rost durch Abbeizen. Damit bestanden die technologischen Voraussetzungen für das Verzinnen von Eisenblech. Der an sich kleine Schritt vom Verzinnen fertiger Waren zur Herstellung verzinnter Eisenbleche war dennoch eine umwälzende Erfindung. Sie führte zu einem neuen Erzeugnis, dem Weißblech, das sowohl eine Rationalisierung der Herstellung ermöglichte als auch zahlreiche neue Möglichkeiten der Weiterverarbeitung eröffnete. Die Erfindung des Weißblechs war der Ausgangspunkt für die Entwicklung eines bedeutenden Zweiges der metallurgischen Industrie. Heute wird etwa die Hälfte der Zinnproduktion der Welt für die Erzeugung von Weißblech verbraucht. Das Weißblech wurde die Materialgrundlage für verschiedene Kleingewerbe und damit zum Aus-

gangspunkt für das neue Handwerk der Spengler (Klempner).

Der genaue Zeitpunkt der Aufnahme der Weißblechproduktion ist nicht bekannt. Aus der Nachricht, daß im Jahre 1428 einem Nürnberger Kaufmann 28 Viertelfässer mit Weißblech in Holland geraubt wurden, kann man entnehmen, daß schon zu Beginn des 15. Jahrhunderts das Nürnberger Weißblech in Mitteleuropa ein begehrtes Handelsobjekt war. Die etwa $0,3 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}$ bis $0,4 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$ großen Weißbleche wurden zusammengerollt und in Fässern verpackt geliefert.

Wunsiedel, das erst 1326 Stadtrechte erhielt, wurde durch seine »Blechzinner« zu einer reichen Stadt. Siegmund Wann, ein bedeutender Vertreter des dortigen Blechzinnergewerbes, stiftete 1451 das Wunsiedler Männerhospital. Eine alte Nürnberger Polizeiordnung aus dem Jahre 1489 enthält Vorschriften über die Besitzigung der gebrauchten Beize und der Beizabwässer durch die Nürnberger Blechschrägmiede. Das Wunsiedler Maß blieb lange Zeit eine Handelsnorm. Eine sächsische Hammerordnung für die Blech-Hammer-Werke in den Ämtern Schwarzenberg, Wolkenstein und Lauenstein vom 26. 3. 1660 schreibt zum Beispiel in § 15 vor: »In allen (Zinn-)Häusern sollen die Bleche in einerlei Größe, Länge und Breite nach dem alten Wunsiedler Maß beschnitten, verzinnnt und verfertigt werden.«

Das für die Herstellung von Weißblech benötigte Schwarzblech kam aus der Oberpfalz. Auf der Grundlage des Amberger Erzberges hatte sich in Amberg und im nahen Sulzbach ein Zentrum der Eisenproduktion entwickelt. Von den 30000 Jahrestonnen Eisen, die um 1500 im »Heiligen Römischen Reich Deutscher Nation« produziert wurden, kamen etwa 10000 t aus der Oberpfalz. Gegen Ende des 16. Jahrhunderts wurden in dem Amberg-Sulzbacher Revier 120 bis 130 Tausend Tonnen Eisenerz pro Jahr gefördert.

Nürnberger Bürger hatten als Montanunternehmer in der Oberpfalz auf vielen Gebieten bahnbrechende Arbeit geleistet. Die einheimischen Unternehmer vereinigten sich aus wirtschaftlichen Motiven in der Amberg-Sulzbacher Hammerwerkseinigung u. a., um die Nürnberger Konkurrenz niederzuhalten. Nürnberg, zunächst Mitglied der Hammerwerkseinigung, wurde 1464 ausgeschlossen. Auf Betreiben des Pfalzgrafen Friedrich wurde 1534 die »Gesellschaft des Zinnblechhandels zu Amberg« gegründet und ein Zinnhaus errichtet. Allen Blechhammermeistern wurde geboten, ihre Bleche nur dem Amberger Zinnhaus anzuliefern, das heißt, es bestand ein Ausfuhrverbot für Schwarz-

blech. Von dieser Maßnahme wurden vor allem die Nürnberger Weißblechproduzenten schwer getroffen. Die Hammerwerke der nördlichen Pfalz und der angrenzenden Gebiete waren der Monopolgesellschaft in Amberg nicht lieferpflichtig, sie konnten deshalb ihre Blecherzeugnisse an das naheliegende Wunsiedel verkaufen. Das von Amberg angestrebte »Monopol des Weißen Blech-Handels« wurde damit von Wunsiedel durchbrochen. Wunsiedel sicherte sich seinen Markt durch bessere Qualität und konnte schließlich die Amberger Konkurrenz durch Aufkauf des Zinnaus in Amberg ausschalten.

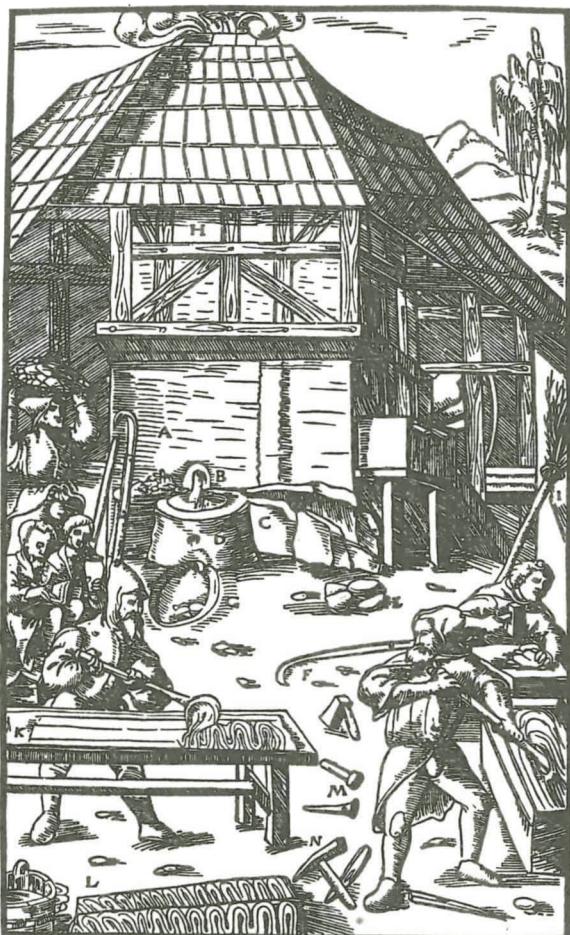
Die schwierige Lage der Nürnberger Blechschmiede war offensichtlich die Ursache dafür, daß sich der

vermögende Nürnberger Zinnaus Andreas Blau vom sächsischen Kurfürsten Johann Friedrich die Genehmigung zur Anlage von fünf Blechhämtern im Erzgebirge geben ließ. Die ersten Hämmer an der Zwickauer Mulde in der Nähe von Eibenstock ließen Ende 1536 an. Hier errichtete er auch das erste Zinnaus. Für die Familien von sorgfältig ausgewählten Facharbeitern, die er in Amberg, Wunsiedel und Nürnberg abwarf, baute er eine Siedlung. Gegen die Abwerbung gerichtete Maßnahmen des Pfalzgrafen blieben praktisch wirkungslos. Auf diese Weise entstanden die heutigen Orte Blauenthal und Wolfsgrün (früher Oberblauenthal) als Keimzelle des neuen Industriezweiges im Erzgebirge. Ein weiteres Zinnaus wurde von ihm später in Zwickau erbaut.

Andreas Blau investierte für den Aufbau der Weißblecherzeugung im Erzgebirge fast 13 000 Gulden und sicherte damit einen raschen Anlauf der Produktion. Durch die Ansiedlung erfahrener Fachkräfte aus den traditionellen Produktionszentren hatte er keine technischen Schwierigkeiten. Schon 1537 entstand mit Unterstützung des Kurfürsten die »Neue Gesellschaft des Blechhandels«.

Das Verdienst von Blau besteht jedoch nicht nur in der Gründung der sächsischen Weißblechindustrie, sondern vor allem in dem damit verbundenen Schritt von der handwerksmäßigen zur industriellen Fertigung. Die aus der Verzinnung fertiger Erzeugnisse entstandene Weißblechfabrikation war zunächst Gegenstand einer dezentralisierten städtischen handwerklichen Fertigung geblieben, die getrennt vom Produzenten des Schwarzbledes erfolgte. Die mit der Entwicklung des neuen Erzeugnisses verbundenen Rationalisierungsmöglichkeiten wurden damit nicht voll ausgeschöpft. Andreas Blau verlegte das Verzinnen aus der Stadt in die Hütte und ordnete diese Fertigungsstufe der metallurgischen Industrie zu. Die Fertigungsstufen vom Eisenerz bis zum Weißblech lagen damit in einer Hand. Dadurch wurde eine stärkere Ausrichtung des gesamten metallurgischen Prozesses auf das Finalerzeugnis Weißblech möglich. Der von ihm 1536 in Blauenthal angelegte Hammer hatte zum Beispiel einen Hochofen, zwei Frisch- und Stabfeuer, zwei Blechfeuer und ein Zinnaus.

Das Westerzgebirge bot günstige Voraussetzungen für eine rasche Entwicklung des neuen Industriezweiges. Bei Schwarzenberg und Breitenbrunn gab es Lager von Magnetit, im Bereich des Eibenstocker Granitmassivs Erzgänge, die Hämatit führten. Kalk-



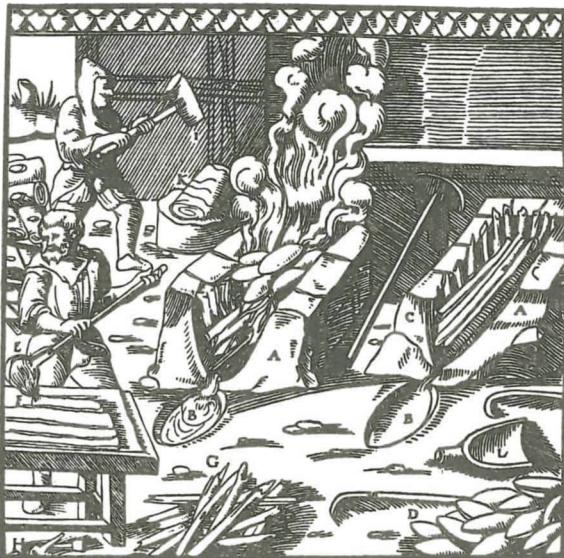
vorkommen lieferten den für die Verhüttung benötigten Kalk. Die großen Wälder sicherten eine stabile Versorgung der Hämmer mit Holz und Holzkohle. Zahlreiche Flüsse und Bäche lieferten die notwendige Wasserkraft. Zinn stand ebenfalls aus eigener Erzeugung zur Verfügung. Die Vorkommen am Auersberg (Fleschmaul), in Eibenstock, Jugel und Platten (gehört seit 1545 zu Böhmen, jetzt Horni Blatná) wurden für die Versorgung der Weißblechhämmer mit Zinn genutzt. Nach Agricola lieferte beispielsweise das Fleschmaul 1558 in einem einzigen Quartal etwa 12 t Zinn.

Von großer Bedeutung war ferner die Tatsache, daß Sachsen zu Beginn des 16. Jahrhunderts zu den fortgeschrittensten und reichsten Ländern Europas zählte. Der erzgebirgische Bergbau hatte Sachsen zum bedeutendsten Edelmetallzentrum Deutschlands gemacht. Etwa zwei Drittel des in Deutschland in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts produzierten Silbers kam aus Sachsen. Die Edelmetallproduktion hatte zu einer raschen Entwicklung der Warenproduktion geführt und günstige Voraussetzungen für Fortschritte in der allgemeinen industriellen Entwicklung geschaffen.

Die Erfolge von Andreas Blau riefen auch Neider auf den Plan, die ihn beim sächsischen Kurfürsten in Ungnade brachten. Er verkaufte deshalb Teile seines Besitzes und zog sich aus der Produktion zurück. Die günstigen ökonomischen, materiellen und technischen Voraussetzungen führten dazu, daß andere Unternehmer die Weißblecherzeugung aufnahmen und die Herstellungstechnologien vervollkommen. 1647 wurde die erste sächsische Hammerordnung für das Westerzgebirge verabschiedet. In den Ämtern Schwarzenberg, Wolkenstein und Lauenstein gab es 1660 vierzehn Blechhämmer.

Werfen wir einen Blick auf die sächsische Technologie der Weißblecherzeugung. Für das Schmieden der Bleche verwendete man Wasserhämmer.

Die zu Zainen (Stabeisen) vorgeschmiedeten Luppen wurden unter einem 100 bis 150 kg schweren Hammer mit schmaler gewölbter Bahn (etwa 350 × 50 mm), dem »Urwelthammer«, zu einem etwa 2 mm starken Band ausgeschmiedet und in der Mitte gefaltet. Jeder auf diese Weise erzeugte »Urwelsturz« ergab durch die Dopp lung zwei Bleche. Die Urwelsturze wurden in Hahnebrei getaucht, eine Tonbrühe mit Zusätzen von Kreide oder Kohlenstaub, um ein Verschweißen der Bleche zu vermeiden. Ein Paket von 50 Urwelsturzen, eine sogenannte »Zange«, wurde nach dem Zwischen-



wärmen unter einem etwa 250 bis 350 kg schweren Hammer mit breiter Bahn (etwa 350 × 200 mm) in mehreren Hitzten zu etwa 0,4 bis 0,5 mm starken Sturzblechen ausgeschmiedet. Zwischen den einzelnen Schmiedungen nahm man die Zangen auseinander und ordnete sie anders, um alle Stürze gleichmäßig zu recken.

Auf das Schmieden der Schwarzbleche folgte das Beizen, um die Bleche zu entzündern und ihre Oberfläche zu säubern. Zum Beizen standen den alten Meistern nicht die heute gebräuchlichen Mineralsäuren zur Verfügung. Sie konnten nur auf durch Gärung entstandene organische Säuren zurückgreifen. Das häufigste Beizmittel war die Kleien- oder Roggenbeize, die durch Gärung von zerschrotetem Roggen erzeugt wurde. Der jährliche Verbrauch eines Zinnauses lag bei 250 bis 300 Scheffel (1 sächsischer Scheffel = 103,21) Roggen.

Dieser relativ hohe Getreideverbrauch führte zur Suche nach billigeren Ersatzlösungen, dazu gehörten die Erdäpfelbeize, die Roßkastanienbeize und der Holzessig. Die als Beize verbrauchte Kleie wurde zum Teil getrocknet und als Geflügelfutter verwendet.

Nach dem Beizen kamen die Bleche zur Reibebank, wo sie mit Sand blankgescheuert wurden. Das Verzinnen erfolgte in eisernen Pfannen mit geschmolzenem Zinn. Das Zinnbad war zum Schutz gegen die Oxydation mit einer dünnen Talgschicht bedeckt. Die Bleche

wurden in der Regel zweimal getaucht, anschließend von anhaftendem Talg befreit und nach Entfernung der Tropfkante mit einem Gemenge von Schlämmkreide, Kleie und Werg geputzt und poliert.

Die erwähnten günstigen Rohstoffverhältnisse und ökonomischen Voraussetzungen führten in Verbindung mit technologischen Neuerungen, zum Beispiel dem Paketschmieden, der Weiterverwendung der Beize, der Rückgewinnung von Zinn und anderem, zu der Monopolstellung der erzgebirgischen Weißblechindustrie. Andrew Yarranton führte nach seiner Rückkehr erfolgversprechende Versuche zur Weißblecherzeugung durch. Die Patentierung der Weißblechfertigung durch einen Konkurrenten, der selbst keine ausreichenden Kenntnisse besaß, hinderte Yarranton jedoch an einer Nutzung seiner erzgebirgischen Erfahrungen. Die Produktion von Weißblech lief in England deshalb erst zu Beginn des 18. Jahrhunderts an. Die Einführung des Walzens von Blechen und die Verwendung von gewalzten Feinblechen für die Weißblecherzeugung führte um 1730 zu einer entscheidenden Qualitätsverbesserung und Effektivitätssteigerung. England war schon 1740 in der Lage, auf Importe aus dem Erzgebirge zu verzichten. Das englische Weißblech wurde auf Grund seiner größeren Abmessungen, seiner besseren Qualität und seines geringeren Preises zu einer ernstzunehmenden Konkurrenz für das Weißblech aus dem Erzgebirge.

Die Uraler Marke

Am 23. Januar 1697 berichtete der Werchoturcer Statthalter D. Protassew in Moskau, daß in den Bergen unweit des Flusses Tagil Eisenstein – Magnetit gefunden wurde und an den Ufern des Flusses Neiva Eisenerz. Eine Magneteisensteinprobe sandte er zur Untersuchung nach Amsterdam. Von dort erhielt er die Antwort, daß es »hinsichtlich der Güte und Weichheit kein besseres Eisen gäbe«. Die Lagerstätte wurde die Erzbasis der ersten Uraler Hüttenwerke.

Im Jahre 1701 wurden im Ural die ersten beiden Hüttenwerke, das Newjansker und das Kamensker Werk, in Betrieb genommen. Eines der größten Werke entstand in Nishne Tagil am Fuße des Magnetberges Goro Blagodat (Berg des Segens). Hier errichtete man 1725 einen Staudamm und zwei Hochöfen mit einer Höhe von 13 Arschin (1 Arschin = 0,71 m). Am 25. 12. 1725 lieferte das Werk das erste Roheisen.

Später wurde es um zwei weitere Hochöfen, zwei Hämmer und Gesenkschmiedemaschinen erweitert.

Das Uraler Eisen war so gut und weich, daß es oft mit einem Zobelfell verglichen wurde. Es erhielt deshalb als Firmenzeichen einen kleinen flüchtenden Zobel und wurde unter der Bezeichnung »Alter Zobel« in der ganzen Welt bekannt. Das aus den sehr sauberen, von schädlichen Verunreinigungen freien Erzen mit Holz-



kohle erschmolzene Roheisen konnte sich hinsichtlich seiner Güte mit dem besten schwedischen Eisen messen. Im Nishnje Tagiler Heimatmuseum kann man jetzt noch Teile aus Uraler Eisen sehen, zum Beispiel Walzproben, Samoware und Eisenflaschen. Sie sind Zeugen der hohen Qualität des Eisens und des großen Könnens der Uraler Metallurgen.

Die Samoware wurden aus runden Eisenscheiben gefertigt durch Kaltrecken und Biegen ohne eine Verbindungsnaht, ohne Schweißen oder Kleben. Die Eisenflaschen wurden durch Heißziehen hergestellt.

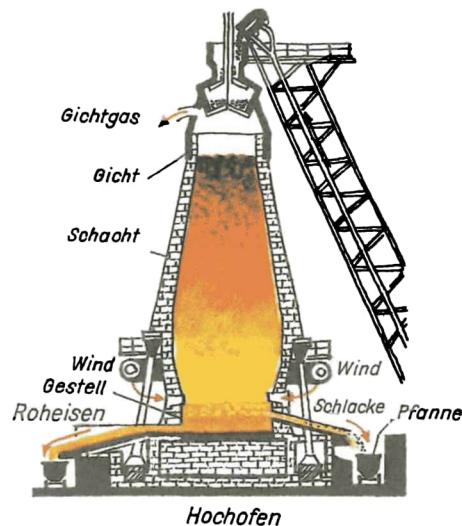
Die hohe Qualität des Eisens aus dem Ural hatte einen guten Ruf im Ausland, besonders in England. »Das Demidower Eisen »Alter Zobel« spielt eine nicht unerhebliche Rolle in der Geschichte unserer Industrie«, schrieb am 16. April 1851 die englische Zeitung »Morning Post«. Weiter war zu lesen: »Das erste Mal verwendete man es in Großbritannien zur Stahlerzeugung zu Beginn des 18. Jahrhunderts, als sich die Stahlproduktion in unserem Lande erst entwickelte. Das Demidower Eisen leistete einen großen Beitrag bei der Begründung des guten Rufs der berühmten Sheffielder Waren.«

Die Verarbeitung des Eisens hatte in England große Fortschritte gemacht. Der Mangel an Holzkohle führte zu Beginn des 18. Jahrhunderts zum starken Rückgang der einheimischen Roheisenerzeugung. Der Eisenbedarf wurde durch Einfuhr von Stabeisen, vor allem aus Rußland und Schweden, gedeckt.

Die Hüttenindustrie des Urals wurde rasch zur wichtigsten metallurgischen Basis Rußlands. Die hohen Abgaben an die Krone wurden je Ofen berechnet. Die Hüttenbesitzer des Urals bemühten sich deshalb, durch Erhöhung der Hochofenleistung ihr Ergebnis zu verbessern. Procop Demidow baute um 1740 einen Ofen von 13,5 m Höhe, in dem er bis zu 14,7 t Roheisen am Tag erzeugen konnte. Die anderen Hüttenbesitzer folgten seinem Beispiel. Rußland überholte damals Schweden und England in der Eisenproduktion und nahm sowohl hinsichtlich der Menge als auch des technischen Niveaus den ersten Platz in der Welt ein.

Gegen Ende des Jahrhunderts bestanden in Rußland 2270 Hüttenbetriebe mit über 100 000 Arbeitern. Die Ausfuhr nach England betrug 1793 18 330 t und lag damit um 8 330 t über der Schwedens. Die Gesamtausfuhr erreichte 1798 mit 47 000 t ihren Höhepunkt. Rußland war, gestützt auf seine metallurgische Basis im Ural, der größte Eisenexporteur der Welt geworden.

Im 19. Jahrhundert änderte sich die Lage der rus-



sischen Metallurgen. Die Anwendung der Steinkohle in der Metallurgie führte ausgehend von England, gestützt auf die kapitalistische Entwicklung, zu einer technischen Umwälzung von gewaltigem Ausmaß. Rußland blieb in seiner sozialökonomischen Entwicklung hinter England und anderen Staaten Europas zurück. Bis 1861 herrschte im Lande die Leibeigenschaft. Das wurde zu einem ernsten Hemmnis für die Entwicklung der russischen Metallurgie, die deshalb zu Beginn des 19. Jahrhunderts rasch ihre führende Stellung verlor. Eine neue Epoche der Metallurgie des Urals begann mit dem Sieg der Sowjetmacht. Die großen Vorräte an Eisenerz im Ural bildeten in Verbindung mit der sibirischen Kohle sowie der günstigen geographischen Lage die notwendigen Voraussetzungen für die Entwicklung eines führenden metallurgischen Zentrums. Noch vor dem Großen Vaterländischen Krieg entstanden im Ural solche Industriegiganten, wie das Magnitogorsker Metallurgische Kombinat, das Nishnje Tagiler metallurgische Kombinat und andere Werke. Dieses metallurgische Zentrum hat sich während des Krieges hervorragend bewährt. In den Nachkriegsjahren setzte sich die positive Entwicklung der Metallurgie des Urals kontinuierlich fort. Die Tagiler Metallurgen versorgen mehr als 6000 Werke und Bauplätze der Sowjetunion. Der Stahl, der früher unter der Marke »Alter Zobel« bekannt war, wird jetzt unter der Bezeichnung »HTMK« in 37 Staaten der Erde exportiert.

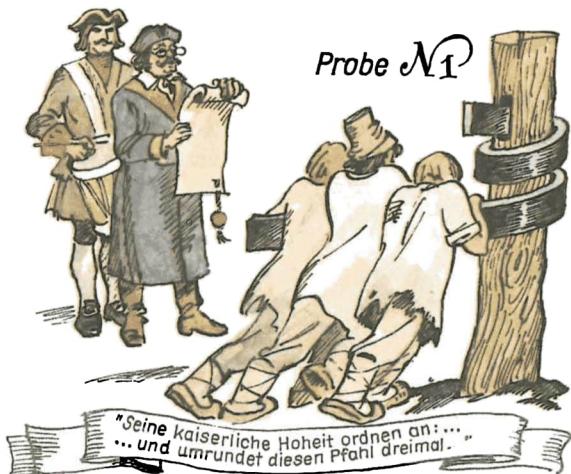
Der Erlaß Peter des I.

Am 6. April 1722 wurde ein Gesetz »Über die Prüfung des Eisens« veröffentlicht. Das für die Entwicklung der russischen Metallurgie wichtige Gesetz wurde sofort allen Betrieben zugänglich gemacht. Der von dem Bergkollegium, den Urvätern der modernen Gütekontrolleure, ausgearbeitete Text hatte folgenden Wortlaut:

»Seine Kaiserliche Hoheit beauftragte das Bergkollegium, allen eisenproduzierenden Werken folgendes mitzuteilen: Ab sofort ist das Eisen zu kontrollieren und in Gütegruppen einzuteilen. Die Herstellungsart und das Gütezeichen sind zu stempeln. Es wird zwischen folgenden Gütegruppen unterschieden:

1. *Sorte*: Eine runde Säule mit 6 Wersch Durchmesser (1 Wersch = 4,4 cm) ist soweit in die Erde einzugraben, daß sie sich nicht bewegen läßt. Im Oberteil muß eine Öffnung vorhanden sein. Durch diese Öffnung ist das Eisen einzufädeln und dreimal um die Säule zu wickeln. Danach muß es von der Säule abgewickelt werden. Wenn es dabei nicht bricht und keine Risse auftreten, dann kann der Werkstempel für die Gütegruppe 1 verwendet werden.

2. *Sorte*: Man nehme ein Eisenband und schlage es dreimal über einen Amboß. Danach wird das andere Ende ebenfalls mit ganzer Kraft dreimal geschlagen. Wenn das Eisen dieser Behandlung standhält, ohne daß Risse auftreten, dann kann man über dem Firmenzeichen die Gütenummer 2 anbringen.



Stahl, der diese Prüfungen nicht erträgt, wird in die Gütegruppe 3 eingeordnet. Ohne Gütestempel darf kein Eisenband verkauft werden.«

Das ist offensichtlich das erste Dokument des zaristischen Rußlands zur Materialprüfung. Der Befehl macht deutlich, daß man in der Epoche des Zaren Peter des I. nicht nur an die Steigerung der Stahlqualität dachte, sondern auch schon Methoden zur Qualitätskontrolle schuf. Qualitätsverfehlungen wurden streng geahndet.

In einer anderen Weisung des Zaren heißt es: »Ich befehle, dem Besitzer der Tulaer Waffenschmiede die Peitsche zu geben und ihn zur Arbeit in ein Kloster zu verbannen, weil der Schurke Korney Beloglas es wagte, den Truppen des Staates schlechte Nahrung und Getränke zu verkaufen. Der Obereinnehmer Frolk Minajew wird bestraft und nach Asow verbannt, da er keinen Firmenstempel auf schlecht gefertigte Waffen anbrachte.«

In alter Zeit wurden die Metalle nicht auf Festigkeit geprüft. Aus dem Mittelalter ist bis in unsere Tage eine Legende zur Qualitätskontrolle überliefert. Man erzählt sich, daß im Altertum bei der Fertigung eines Panzerhemds in einer Waffenschmiede die Prüfung am Meister selbst erfolgte. Der Besteller nahm seinen Degen und schlug mehrere Male auf das Panzerhemd ein.

Mit der Entwicklung der Technik erhöhten sich die an die Metalle gestellten Anforderungen, man mußte sich Gedanken über bestimmte Prüfmethoden machen.

Der französische Wissenschaftler und Philosoph M. Mersenne, bekannt durch seine Arbeiten über die Primzahlen (Mersennescche Primzahlen), interessierte sich auch für die Festigkeit der Saiten von Musikinstrumenten. Seine 1636 dazu durchgeführten Prüfungen dürften die ersten registrierten Zerreißprüfungen sein. Ob seine Untersuchungen in irgendeiner Weise Anwendung fanden, ist uns nicht bekannt.

Der preußische Chemiker und Physiker Franz Carl Achard (1753 bis 1823), der das Verfahren zur Zukkergewinnung aus Runkelrüben entwickelte, veröffentlichte 1788 in tabellarischer Form Ergebnisse systematischer Untersuchungen zur Härte, Festigkeit und Zähigkeit von Metallen. Er leistete damit einen Beitrag zur gezielten Anwendung von Metallen.

Die Entwicklung des Maschinenbaues und der wachsende Einsatz von Schmiedeeisen und Gußeisen im Bauwesen, zum Beispiel für den Brückenbau, führte zu Beginn des 19. Jahrhunderts zu einer inten-

siven Untersuchung des Festigkeitsverhaltens der metallischen Werkstoffe. Man ermittelte die »absolute« Festigkeit als Widerstand des Werkstoffs gegen das Zerreißen und die Elastizitätsgrenze, als die Belastung, die ein Werkstoff ertragen kann, ohne seine Form bleibend zu verändern. Bei Belastungen unterhalb der Elastizitätsgrenze nimmt der Körper im entlasteten Zustand wieder seine ursprüngliche Form an. Die Elastizitätsgrenze ist für die Praxis von großer Bedeutung, da zur Sicherung der Funktionsfähigkeit von Konstruktionen bleibende Formänderungen in der Regel vermieden werden müssen. Der englische Wissenschaftler Thomas Young schlug im Jahre 1807 vor, die Größe der Elastizität durch Einführung eines Modulus der Elastizität auf einfache Weise zu beschreiben. Dieser Modul wird heute als Young-Modul bzw. E-Modul bezeichnet.

Umfassende systematische Untersuchungen zum Festigkeitsverhalten von Schmiede- und Gußeisen führte Th. Tredgold durch. Er ermittelte die absolute Festigkeit und die Elastizitätsgrenze für zahlreiche Beanspruchungsfälle. Unter anderem konnte er nachweisen, daß sich die Festigkeit des Staubeisens mit wachsender Prüftemperatur verringert.

Schon bald erkannte man, daß Härte und Festigkeit allein zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens nicht ausreichen. W. A. Z. Albert, Bergwerksbeamter zu Clausthal im Harz, untersuchte die Ursachen für das Versagen von eisernen Kettenseilen, die damals im Bergbau neben Hanfseilen angewendet wurden. 1829 führte er erste Ermüdungsversuche an Ketten durch. Seine Arbeiten führten schließlich zur Erfindung des Drahtseils, da er die Ermüdungsfestigkeit der Kettenseile nicht entscheidend verbessern konnte.

In England wurde 1847 eine Kommission eingesetzt, um die Eignung von Eisen für den Bau von Eisenbahnbrücken zu untersuchen. Versuche zum Verhalten von Gußeisen bei periodisch wechselnden Belastungen ergaben beispielsweise, daß Gußeisen wiederholte Biegung nur bis zu einem Drittel der statischen Bruchlast ertragen kann.

August Wöhler (1819 bis 1914) analysierte als Obermaschinenmeister der Niederschlesisch-Märkischen Bahn in Frankfurt/Oder die Ursachen für die häufigen Achsbrüche an Eisenbahnfahrzeugen. Davon ausgehend, führte er in den Jahren von 1856 bis 1870 grundlegende Untersuchungen zum Verhalten metallischer Werkstoffe bei wiederholten Belastungen durch. Auf der Weltausstellung in Paris im Jahre 1867 machte

Wöhler die Fachwelt mit den Ergebnissen seiner Arbeit vertraut. Die englische Zeitschrift »Engineering« schrieb darüber: »Wir betrachten dieses Ausstellungsstück als eines der interessantesten und wichtigsten in der ganzen Gruppe der hier zusammengefaßten Objekte des Ingenieurwesens. ... Wir glauben zu der Bemerkung berechtigt zu sein, daß selbst dann noch lange von diesen grundlegenden und langwierigen Experimenten gesprochen werden wird, wenn längst die Mehrzahl der hier mit viel Orden und Medaillen ausgezeichneten Dinge aufgegeben und vergessen sind.« Die Geschichte hat diese Würdigung der Arbeiten Wöhlers bestätigt.

In den 50er Jahren des vergangenen Jahrhunderts begann man mit der industriellen Herstellung von Prüfmaschinen. Es wurden erste Konferenzen über das Festigkeits- und Ermüdungsverhalten durchgeführt und Sammelberichte veröffentlicht. Die Eisenbahngesellschaften und der Schiffsbau gaben erste Abnahmeverordnungen für Werkstoffe heraus. Nicht zuletzt hatte der Einsturz der Brücke über den Firth of Tay in Schottland im Jahre 1879 die Notwendigkeit unterstrichen, das »gefühlsmäßige« Konstruieren durch exakte Berechnungsvorschriften mit gesicherten Festigkeitskennwerten zu ersetzen. Die erst im Jahre 1877 übergebene, 3,5 km lange Eisenbahnbrücke wurde am 28. 12. 1879 durch einen Orkan zerstört. Dabei wurde ein D-Zug mit etwa 300 Personen von den Fluten verschlungen.

In den führenden Industriestaaten wurden in den 70er und 80er Jahren staatliche Materialprüfungsanstalten gegründet. Auf Vorschlag von J. Bauschinger, Direktor der Materialprüfanstalt in München, fand 1884 eine erste internationale Konferenz zur Vereinheitlichung der Prüfverfahren für Bau- und Konstruktionsmaterialien statt. Im Jahre 1897 wurde in Stockholm die »Internationale Vereinigung zur Prüfung technischer Werkstoffe« gegründet. Die Ausarbeitung einheitlicher internationaler Prüfstandards und die Vereinheitlichung der Liefer- und Abnahmeverordnungen waren wesentliche Voraussetzung für die internationale Zusammenarbeit und den Warenaustausch zwischen den einzelnen Ländern.

Die Entwicklung des Automobilbaus und später des Flugzeugbaus in diesem Jahrhundert zwang die Konstrukteure und Werkstoffingenieure, sich eingehender mit dem Verhalten von Konstruktionen unter komplizierten Betriebsbeanspruchungen auseinanderzusetzen. Es entstanden neue Berechnungsvorschriften und in Verbindung damit neue Prüfmethoden und Abnahmeverordnungen.

Wie wird heute die Festigkeit der Ozeanriesen, Eisenbahnbrücken, großen Turbinen und gigantischen Pressen geprüft? Der moderne Maschinenbau setzt Teile bis zu 30 bis 40 m Länge, 1,5 bis 2,0 m Durchmesser und vielen Tonnen Masse ein. Solche Giganten waren vorher fast nicht zu prüfen. Da die Havariegefahr dadurch aber bestehen blieb, versuchten die Ingenieure, die Maschinen und Anlagen sicherer zu bauen. Dazu wurden zunächst hohe Sicherheitskoeffizienten angesetzt. Das führte zu großen Materialverlusten. Deshalb baute man auch für große Teile Prüfmaschinen. Die bereits im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts in Schweden gebaute Zerreißmaschine »Amsler« kann bei den neuesten Modellen einen Stahlstab mit 60 bis 80 mm Dicke wie einen Zirrnsfaden zerreißen. Mit einer Welle von 300 mm Durchmesser wird sie aber nicht mehr fertig. Dazu müssen dann andere Maschinen eingesetzt werden.

Im Zentralen Forschungsinstitut für Maschinenbau-technologie wurde unter der Leitung von I. W. Kudrjawzew eine besonders große Prüfmaschine gebaut. Mit ihrer Hilfe kann man die Festigkeit von 400 mm dicken Stäben prüfen, wobei diese Stäbe statischen und zyklischen Beanspruchungen ausgesetzt werden können.

Die größten Prüfmaschinen der Welt streben danach, bestimmte Teile von Pressen, Kurbelwellen großer Motoren und Ruderwellen der Ozeandampfer mit 10000 t Preßkraft zu zerstören. Die Wissenschaftler versuchen jedoch, definierte Gesetzmäßigkeiten der Ähnlichkeitstheorie zu erforschen. Dann wird die Zerstörung teurer Proben nicht mehr notwendig sein, um ihre Festigkeit zu messen. Die Antwort geben dann kleine Modelle im Maßstab 1:10 oder 1:100.

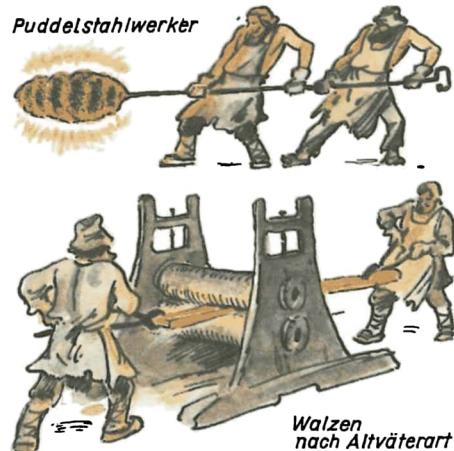
In der Gegenwart verfügen die metallurgischen Betriebe über eine Vielzahl von modernen, leistungsfähigen Prüfgeräten zur Kennzeichnung der Eigenschaften ihrer Erzeugnisse. In jedem Betrieb gibt es eine Gütekontrolle, die TKO, mit einem Stab von Spezialisten, TKO-Kontrolleur ist ebenfalls ein metallurgischer Beruf. Die Aufgabe der Kontrolleure besteht in der Überprüfung der Einhaltung der technologischen Disziplin in allen Verarbeitungsstadien des Metalls, besonders aber in der sorgfältigen Qualitätskontrolle der Enderzeugnisse. In den Betrieben arbeiten als Kontrolleure oftmals auch Frauen. Ihre Sorgfalt, ihr Eifer und ihre Beharrlichkeit gewährleisten die Genauigkeit der Kontrolle. Dies alles begann mit dem Erlaß von Peter I.

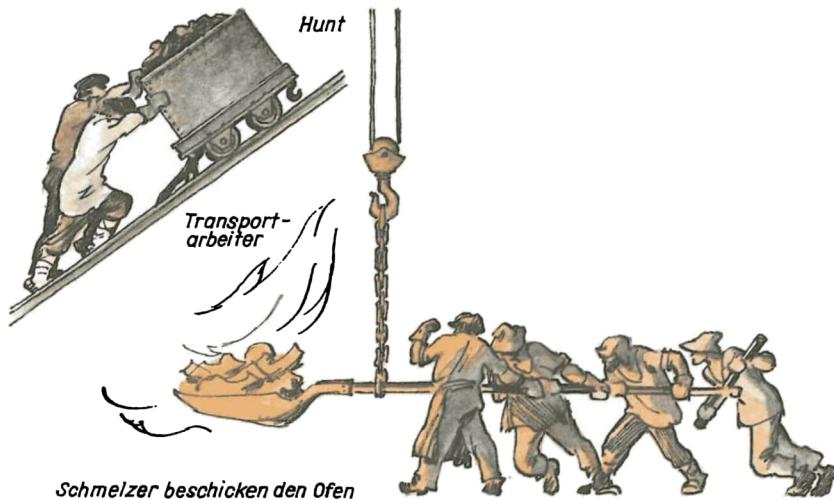
Ausgestorbene Berufe

Lassen Sie uns einen Gedankensprung in das England des 19. Jahrhunderts machen. England war damals das am weitesten entwickelte Industrieland in der Welt. Es stand auch in der Produktion von Eisen und Stahl an der ersten Stelle. Ein französischer Autor schrieb 1833 mit Bewunderung über die in England beim Einsatz von Eisen und Stahl erreichten Ergebnisse: »Man muß nach England fahren, um den ganzen Nutzen des Eisens zu bewerten. Die Engländer sind durch den Mangel an Wäldern gezwungen, Eisen anstelle von Holz zu verwenden. Sie versuchen deshalb, das Eisen kostengünstig zu erzeugen, und bieten es den Verbrauchern zu Preisen an, an die wir auf dem europäischen Festland gar nicht zu denken wagen. Hier sieht man bei jedem Schritt Eisen, Gußeisen, Eisenblech oder Stahl, Maschinen, Säulen, Kolonaden unterschiedlicher Abmessungen von 2 Zoll bis zu 4 Fuß im Querschnitt, Wasser- und Gasleitungen, Gleise, Gitter, Brücken, Fußböden, Dächer, ganze Kais, Wege usw.«

Ein beeindruckendes Bild. In England wurde tatsächlich viel Eisen verwendet. Wie aber wurde es gewonnen? Hören wir dazu einen anderen Autor, der die Eisenproduktion in der Grafschaft Stafford, dem metallurgischen Zentrum des damaligen Englands, beschreibt:

»40 000 Arbeiter – Männer, Frauen und Kinder – schwarz wie Zyklopen, arbeiten pausenlos in einer mit Rauch angefüllten Atmosphäre. Ringsum lodern tausende Feuer. Diese Stätten liegen an den Rändern von





schwarzen Sümpfen und Abgründen, gewühlt in eine noch schwärzere Erde.«

Man kann sich die Arbeit an den metallurgischen Öfen der damaligen Zeit gut vorstellen: auszehrende Hitze durch das heiße Metall und schwere körperliche Arbeit, da es kaum Hilfsmittel für den Lastentransport gab.

Unter den vielen metallurgischen Berufen der damaligen Zeit war die Arbeit des Puddlers die allerschwerste. Das Puddeln war in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts das Hauptverfahren zur Eisenherstellung. Die Arbeit verlief wie folgt:

Auf den Boden des Flammenofens wurden die Roheisenbarren gelegt und geschmolzen. Das Metallbad wurde von den Puddlern ständig umgerührt. In dem Maße, wie der Kohlenstoff und die anderen Beimengungen aus dem Metall herausbrannten, erhöhte sich seine Schmelztemperatur. Aus der Schmelze kristallisierte relativ reines Eisen aus, sie verwandelte sich in einen dickflüssigen Teig. Von Zeit zu Zeit wurde Sand als Schlackenbildner zugesetzt. Die Puddler bemühten sich mit Hilfe von Stangen, das erstarre Eisen zu einem Klumpen – der Luppe – zusammenzuballen. Diese Luppen hatten ein Gewicht von 50 bis 80 kg. Sie wurden aus dem Ofen gezogen und den Schmieden übergeben. Durch das Schmieden wurden die Reste der noch halbflüssigen Schlacke aus der Luppe herausgepreßt und das Metall der Luppe verdichtet.

Hören wir, wie der belgische Schriftsteller K. Le-

mone in seinem Buch »Das Werk« (1886) das Los der Metallurgen beschreibt: »Die Puddler, staubig und dunkel von den Flammen des Ofens, müssen ihre ganze Kraft für die schwere Arbeit aufwenden. Ihr Atem ist heiser von den Belastungen und Anstrengungen. Der Schweiß rinnt wie Tränen in langen Bächen von den gequälten menschlichen Körpern auf den von ihnen festgestampften Zunder. An zwanzig verschiedenen Stellen öffnen sich die Ofentüren, eine Vielzahl von mit Zangen bewaffneten Händen dringen in die Hölle ein und ziehen sonderbare, rauhe Batzen heraus, die mit weißblitzenden, wie Reis aussehenden Körnern bedeckt sind und an einen Medusenkopf mit brennender Mähne erinnern. Ein Batzen nach dem anderen fliegt in eiserne Gestelle, aus deren Augen, Nüstern und Mäulern Flammen schlagen und die in Richtung der Dampfhämmer davongetragen werden. Die Puddler gehen einer nach dem anderen zu Wasserträgen, die am Ausgang stehen, und tauchen ihren Kopf und den Körper bis zum Rücken hinein. Im purpurroten Tageslicht erscheinen ihre Gesichter totenbleich. Auf den Körperteilen sind Brandflecken zu sehen, die vom glühenden Atem der Öfen stammen. Heiser heben sich die Brustkörbe, und mit heißen Strahlen dringt der Atem aus ihren ausgetrockneten Mündern.«

Ist es dann erstaunlich, daß die Puddelmeister ihre Kinder eine solche Arbeit nicht lehren wollten? Dieser Beruf blieb bis zum Ende des 19. Jahrhunderts erhalten. Heute gibt es den Beruf »Puddler« nicht mehr. Die

Arbeit der Stahlwerker erfolgt unter völlig anderen Bedingungen. Natürlich haben auch die heutigen Metallurgen mit heißem Metall zu tun. Die Technologien für seine Erzeugung und Verarbeitung haben sich jedoch entscheidend verändert. Die Anwendung von zahlreichen Hilfsmitteln, angefangen von moderner Arbeitsschutzkleidung bis zu Industrierobotern, erleichtert die Arbeit.

In den alten Hochofenwerken war der schwerste Beruf der des Gichters. Heute muß man den Metallurgen, besonders den jungen, erklären, was das für ein Beruf war. Die Hochöfen, die im Vergleich zu den heutigen Giganten nicht sehr groß waren, fraßen schon immer riesige Mengen Erze, Koks und Kalkstein. Die »modernen« Hochöfen des Jahres 1860 produzierten etwa 7 bis 8 t Roheisen am Tag. Dafür wurden etwa 28 bis 30 t Erz, 20 bis 25 t Koks und 8 bis 10 t Kalkstein benötigt. Der Transport dieser Einsatzstoffe zur Gicht – der »Mündung« des Hochofens – gehörte zu den Aufgaben des Gichters. Das war ein in den alten metallurgischen Betrieben weitverbreiteter Beruf. Tag für Tag zog er seinen Hunt auf die Gichtbühne des Hochofens, war total erschöpft und schweißüberströmt. Auf der Gichtbühne mußte er keuchend den stickigen Qualm, der beim Beschicken aus dem Ofen austrat, einatmen. Sehr viele Gichter wurden vorzeitig Invaliden. Der Hochöfner I. G. Korobow berichtet über die Arbeit der Gichter im Makeev-Werk, das einer französischen Aktiengesellschaft gehörte: »Als Beschicker wurden nur starke, ausdauernde Männer eingesetzt. Nicht jeder kann während einer Schicht eine Menge von 2000 Pud Eisenerz (32,76 t; 1 Pud = 16,3805 kg) in einen Hunt laden, transportieren und entladen. Für 12 und mehr Stunden Arbeitszeit bezahlte man 70 bis 80 Kopeken, das heißt eine Kopeke für einen Hunt, und jeder Hunt wurde mit etwa 25 bis 30 Pud beladen. Der Hof war überall von Radsspuren durchzogen, die Kurven eng und die Gleise zerstört.«

Rudimente dieses Berufs haben sich in alten Werken bis in unsere Zeit erhalten. So wurden zum Beispiel die Hochöfen der Maxhütte Unterwellenborn bis in die 50er Jahre noch von Hand beschickt. Heute haben auch dort Förderbänder für Schüttgüter die schwere Arbeit des Gichters übernommen. Hochöfen mittlerer Größe werden über einen Schrägaufzug mit Hilfe von sich selbst entladenden Kübeln beschickt, wie die Hochöfen des Eisenhüttenkombinates Ost.

Das Beschicken der Siemens-Martin-Öfen erfolgte früher ebenfalls von Hand. Bis zur Revolution gab es

in den russischen Werken keine Beschickungsmaschinen. Alle Schüttgüter, zum Beispiel Erze und Kalk, wurden mit normalen Schaufeln eingeworfen. Die Beschickung des schweren Metallschrottes nahmen Schwerstarbeiter vor – die Einsetzer. Sie warfen die Schrottstücke auf eine große Schaufel mit langem Stiel, die an einer Kette hing. Manchmal betrug die Masse etwa 40 bis 60 Pud. Einige Einsetzer drückten auf den Griff der schwerbeladenen Schaufel, und mit Hauruck schoben sie diese in den Ofen. Anschließend stießen sie den Schrotthaufen um. Heute wird diese Arbeit in den Siemens-Martin-Stahlwerken mit einer leistungsstarken Maschine verrichtet, die mit einem Mal mehr als 10 t Schrott einsetzen kann.

Am Beispiel dieser drei ausgestorbenen Berufe, Puddler, Gichter und Einsetzer, kann man sich die Veränderungen vorstellen, die der technische Fortschritt in die metallurgische Produktion gebracht hat. Die heutigen Metallurgen müssen in der Lage sein, moderne Anlagen zu bedienen. Sie benötigen dafür ein breites Spektrum an Kenntnissen, beginnend von den Eigenschaften der Werkstoffe über moderne Fertigungstechnologien bis zur Steuerungs- und Rechentechnik.

Adolph Menzels »Eisenwalzwerk«

Wie wurde Stahl vor 100 Jahren gewalzt? Eine Vorstellung davon vermittelt uns Adolph Menzel (1815 bis 1905) mit seinem 1875 vollendetem großartigen Gemälde das »Eisenwalzwerk«. Im Zentrum des Gemäldes stellt er eine Gruppe von Walzwerkern dar, die einen funkeinsprühenden, auf Weißglut gebrachten Block zwischen die Walzen eines Vorgerüstes stoßen. Auf der anderen Seite des Gerüsts warten weitere Walzwerker, um den vorgeformten Block aufzufangen und zurückzurichten. Hinter dem ersten Gerüst ist ein zweites und drittes Gerüst zu erkennen. Am zweiten Gerüst übergeben Arbeiter gerade einen Walzknüppel auf die andere Seite.

Alle drei Gerüste werden von einer mit einem großen Schwungrad versehenen Welle angetrieben. Die Welle dreht sich nur in einer Richtung, so daß der Anstich nur von einer Seite möglich ist und deshalb das Walzgut nach jedem Stich der Walzmannschaft auf der anderen Seite zurückgegeben werden muß. Das war eine sehr



schwere Arbeit. Man muß berücksichtigen, daß ein Meter Knüppel mit dem relativ kleinen Querschnitt von 100 mm vierkant etwa 75 kg wiegt und die Temperatur der Knüppel bei 1 000 bis 1 100 °C liegt.

Diese Arbeitsweise entsprach dem damaligen Stand der Technik. Dreimalzengerüste für schwere Abmessungen bzw. Umkehrgerüste, bei denen sich die Walzen vor- und rückwärts drehen und die deshalb einen Anstich von beiden Seiten des Gerüstes gestatten, wurden erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts eingeführt. Auf dem Gemälde sind deutlich Hebel, die auf jeder Seite der Gerüste hängen, zu erkennen, durch die die schwere Arbeit erleichtert wurde.

Die schwere körperliche Arbeit der Kanter, das heißt der Walzwerker, die direkt am Gerüst arbeiten, verdeutlicht Menzel an zahlreichen Details der Körperlhaltung und des Gesichtsausdruckes, aber auch an schweißdurchtränkten Leinenhemden, die am Körper kleben. Ihm ist zum Beispiel auch nicht entgangen, daß die Walzwerker an ihren nackten Füßen nur Holz-

pantoffeln trugen, weil Verbrennungen durch herumsprühendes Eisen und glühenden Zunder leichter zu vermeiden sind, wenn man schneller aus den Schuhen herauskommt.

In seinem Buch »Adolph Menzels Eisenwalzwerk« (1953) beschreibt Konrad Kaiser die zentrale Gruppe der Walzwerker: »Bei Menzels Arbeitern sind nicht nur die Arme, sondern alle Körperteile in Tätigkeit. Arbeitsgewohnte Fäuste, die aus muskulösen Unterarmen herauswachsen, halten die eiserne Karrenstange gepackt. Zwei zangenbewehrte Arbeiter – der eine von vorn, der andere als Rückenfigur gesehen – unterstützen diese Arbeit. Der hintere, von vorn gesehene Walzwerker hält die weitgeöffnete Zange zum Zupacken bereit über das leuchtende Werkstück: Der rechte Arm ist über den Kopf erhoben und gibt den Blick auf ein rot angestrahltes Gesicht frei.

Erläuterungen zu den Bildern auf S. 53, 54 und 55 siehe S. 128.



Der als Rückenfigur gezeigte Arbeiter hält mit der Zange den Block gepackt. Er hat den Unterkörper kräftig nach vorn geschoben, um dem Druck der pressenden Arme mehr Gewalt zu verleihen; er holt die Kraft aus dem ganzen Körper. Den Oberkörper treibt die strahlende Glut des Eisens zurück, wodurch eine herrlich gespannte, inhaltlich bedingte Körperkurve entsteht. Die ganze Gestalt liegt bis auf ein paar Lichtspritzer an Unterarm, Hand und Becken im Schatten des rotgelben Glutscheines und gibt die Möglichkeit zu farblichen Feinheiten, indem das kühle, bläuliche Tageslicht die Körperformen weich modelliert.

Ein fünfter Walzwerker steht mit geöffneter Zange, bereit zum Zupacken, neben der Gruppe, dem Besucher am nächsten. In weiter Schrittstellung hält er die Zange vor sich. Das Tageslicht formt die Gestalt, nur Augen-

partie und rechte Hand sind noch vom Glutlicht erfaßt.

Hinter der zentralen Gruppe steht noch ein Arbeiter in Reserve, die Schenkel der erhobenen Zange des einen Arbeiters rahmen seinen Oberkörper gewissermaßen in eine Dreiecksform ein.«

Neben den direkt an der Produktion beteiligten Arbeitern stellt Menzel zwei weitere Gruppen dar, die Gruppe der Sichwaschenden und die Gruppe der Essenden und Trinkenden. Er macht dadurch sehr deutlich auf die sozialen Zustände der Gründerzeit und die Arbeitsetze aufmerksam. Wasch- und Duschräume waren unbekannt. Das Essen, von einer jungen Frau gebracht, wird am Arbeitsplatz in Staub und Hitze, unter dem Getöse der ohne Pause laufenden Anlagen eingenommen. Der Realist Menzel wird damit bewußt

oder unbewußt zum Kritiker an den Produktionsverhältnissen seiner Zeit. In einem Brief berichtet er über seine Studien für das Gemälde: »Das war in Schlesien, in Königshütte, wo ich diese Studien machte. Ich schwebte dabei in steter Gefahr, gewissermaßen mitverwalzt zu werden. Wochenlang von morgens bis abends habe ich da zwischen den sausenden Riesen schwungrädern und Bändern und glühenden Blöcken gestanden und skizziert. Diese Cyklopenwelt der modernen Technik ist überaus reich an Motiven. Ich meine nicht bloß das bißchen Rauch.«

Soviel zu Adolph Menzel und seinem Eisenwalzwerk. Die Arbeitsbedingungen beim Walzen der relativ kleinen Schienen und Knüppel waren jedoch noch harmlos gegenüber den bei der Herstellung von Grobblechen, besonders von Panzerplatten, vorliegenden Bedingungen. Die englischen Walzwerke hatten in den 60er Jahren auf diesem Gebiet die Führung übernommen. Am 6. September 1867 wurde in Sheffield in den Atlas Steel Works (Atlas-Stahlwerken) von John Brown eine Panzerplatte mit einer Masse von etwa 30 t gewalzt. »Eine so große Metallmenge mit diesen Abmessungen wurde bis zu diesem Zeitpunkt noch nirgends auf der Welt gewalzt«, schrieb die damalige Presse.

Nach dem Erwärmen im Ofen wurde das Paket »mit

den größten Schwierigkeiten aus dem Ofen gehoben und zu den Walzen getragen«. Dabei mußten sich die Arbeiter infolge der unerträglichen Hitze abwechseln, obgleich sie von Kopf bis Fuß mit in Wasser getränktem Segeltuch bekleidet waren. Nach einem viertelstündigen wechselseitigen Walzen des Pakets konnte eine ausgezeichnete Panzerplatte mit 15 Zoll Dicke erreicht werden. Diese große und erfolgreiche Arbeitsoperation erforderte 200 Arbeitskräfte.«

Wie steht es heute damit? Den Beruf des Kanters gibt es nicht mehr, er gehört ebenfalls zu den »ausgestorbenen« Berufen. Die modernen Walzwerke unserer Zeit sind die am weitesten mechanisierten und automatisierten Bereiche der metallurgischen Betriebe. Wer zum erstenmal in ein Hüttenwerk kommt, wird gerade vom Walzprozeß am meisten in Erstaunen versetzt. Das gilt nicht nur für Neulinge. Die Arbeit an den Walzstraßen wird von einer Steuerbühne aus sehr präzise gelenkt. Der glühende Block schießt aus den Walzen heraus und landet auf einem Rollgang. Die Drehrichtung der Rollen ändert sich, sobald die Walzader den Walzspalt verlassen hat, so daß sie nun mit hoher Geschwindigkeit umgekehrt zwischen die Walzen gestoßen wird, die in der Zwischenzeit ihre Drehrichtung geändert haben. In den zwischen den Durchgängen liegenden Zeiten stellen



die Lehren eines Manipulators den Block vor das richtige Kaliber und kanten ihn dabei so, daß er allseitig umgeformt wird. Auch die Anlagen für das Walzen von Blechen, Stabstahl, Draht und Profilen haben sich entscheidend verändert. Das Tätigkeitsbild der Walzwerker hat sich dadurch grundlegend gewandelt. Die

schwere körperliche Arbeit ist weitgehend verschwunden, hohe Anforderungen werden an das Wissen und Können gestellt. Früher war der Beruf des Walzwerkers ein ausgesprochener Männerberuf, heute arbeiten in den klimatisierten Steuerbühnen der Walzwerke unserer Republik auch viele Mädchen und Frauen.

*Biographie
der Eisenerzeugnisse
Eisen im Krieg*

*Die Gewehrfabrikation um Suhl
Bauwerke aus Eisenwerkstoffen
Stahl und Eisen
auf den Weltausstellungen
Ein Brief auf Eisen*

*Der Streit
zwischen Gußeisen und Stahl
Etwas über Rohre*

*Metalle
in der Atomenergietechnik
Metalle im Kosmos*

Eisen in der Technik



Biographie der Eisenerzeugnisse

Draht

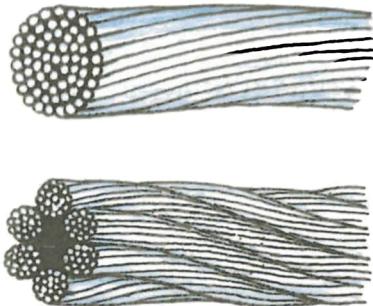
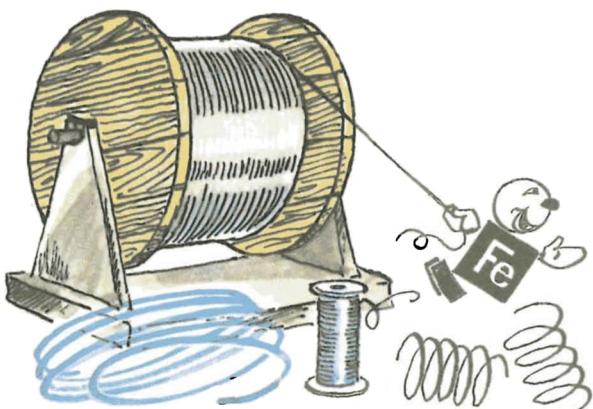
Metallische Erzeugnisse in Form von biegsamen Fäden oder dünnen Stäben – Draht genannt – sind seit langer Zeit bekannt. Im Altertum erfolgte die Herstellung des Drahtes gleichzeitig mit seiner Verarbeitung. Man nimmt an, daß die ersten Drähte entweder durch Schmieden oder durch Zerschneiden von Blechen erzeugt wurden. Die schon im Altertum übliche Herstellung von Panzerhemden aus geschmiedetem Eisendraht kann bis in das 10. Jahrhundert verfolgt werden.

Wann sich das Drahtziehen entwickelte, kann nicht mehr mit Sicherheit bestimmt werden. Schon im frühen Mittelalter waren Zieheisen bekannt; das waren mit mehreren Löchern bzw. Lochreihen versehene Stahlplatten. Mit ihrer Hilfe wurden aus vorgeschmiedeten Rundstäben Eisendrahte in mehreren Zügen hergestellt. Das Handwerk der Drahtzieher erreichte im 14. und 15. Jahrhundert in Deutschland, besonders im Raum Augsburg–Nürnberg–Frankfurt, eine Blüte. Hier wurden schon im 14. Jahrhundert mit Wasserkraft getriebene automatische Vorrichtungen für das Drahtziehen eingesetzt. Als Erfinder dieser sogenannten »Drahtmühlen« wird der Nürnberger Meister Rudolf genannt. In späteren Jahrhunderten wurde diese Technik auch von England und Frankreich übernommen. Die Form der Drähte wurde immer komplizierter. Neben

runden Drähten wurden quadratische und rechteckige Drähte produziert, aber auch konusförmiger Räderdraht mit 6, 7, 8, 10 oder 12 Rillen. Daraus erhielt man durch Abschneiden kleine Zahnräder, die die Uhrmacher für die Herstellung von Uhren verwendeten.

Die Abmessungen änderten sich mit der Zeit. In der Mitte des 19. Jahrhunderts hatten die Stahldrähte in England eine Dicke von 0,43 bis 0,03 Zoll. Bis zum Ende des Jahrhunderts erweiterte sich der Abmessungsbereich auf 0,5 bis 0,004 Zoll. Gegenwärtig werden Drähte mit einer Dicke von 0,01 bis über 20 mm erzeugt. Auf Walzenstraßen können Drähte mit einem Durchmesser über 5 mm als sogenannte warmgewalzte Drähte hergestellt werden. Drähte mit einem kleineren Durchmesser werden aus warmgewalztem Draht durch Ziehen (Kaltziehen) hergestellt. Sie werden deshalb auch als kaltgezogene Drähte bezeichnet. Bei hohen Anforderungen an die Oberflächengüte und die Maßhaltigkeit wird die Technologie des Kaltziehens auch für die Fertigung dickerer Drähte angewendet. Die Walzdrähte werden hierbei zunächst durch Beizen in Säuren oder nach anderen Verfahren entzündet und anschließend mit einem Schmiermittel beschichtet. Beim eigentlichen Ziehprozeß wird der Walzdraht von einer Spule abgewickelt, durch einen Ziehstein gezogen und von einer Zugtrommel aufgehaspelt. Für die Herstellung von dünnen Drähten sind mehrere Züge und Zwischenglühungen erforderlich. Der Drahtzieher muß die technologischen Grundlagen des Drahtziehprozesses und die dafür erforderliche Ziehtechnik beherrschen und die Eigenschaften der zu verarbeitenden Metalle genau

Draht und Seile – Verwandte



Stahlseile



kennen. Er benötigt für eine erfolgreiche Arbeit ferner Kenntnisse auf dem Gebiet der Elektrotechnik, des Schlosserhandwerks sowie der Schmiermittel für die Umformung. Die außerordentliche Breite des Einsatzgebietes der Drähte geht allein schon aus der Aufzählung der verschiedenen Arten hervor: Schweißdraht, Telegraphendraht, Federdraht, Webdraht (für die Herstellung eines der wichtigsten Teile der Webstühle – des Kamms), Corddraht (metallische Fäden für die Versteifung des Cordgewebes der Autoreifen), Nadeldraht, Remisedraht (ein fester metallischer Faden mit mittigen Öffnungen für Webmaschinen), Seildraht, Lagerdraht. Nur mit Drähten, die mit Ultraschall vibrieren, lassen sich Keramik, Glas und ähnliche spröde Werkstoffe ohne Splitter oder Risse in dünne Scheiben schneiden.

Hinsichtlich der Drahtproduktion und der Erzeugung von Teilen aus Draht nimmt die UdSSR den ersten Platz in der Welt ein. Besonders stark nimmt die Erzeugung von Seil- und Federdrähten, aber auch die von Drähten aus Stahl-Kupfer-Bimetallen zu. In der Sowjetunion wurde die Produktion von superdünnen Drähten mit einer Zugfestigkeit von 4 000 MPa aufgenommen. Unter Laborbedingungen gelang es, Drähte mit Zugfestigkeiten von 5 000 MPa herzustellen.

Seile

Eine Ausstellung über Erfindungen auf allen Gebieten des technischen Schaffens der Menschheit umfaßt ins-

gesamt 90 Klassen. Den Seilen gehört davon eine Klasse. Das ist ein beredtes Zeugnis für die Bedeutung der Seile in der Technik. Seile werden für die unterschiedlichsten technischen Zwecke eingesetzt, besonders für Hebe- und Transportmaschinen.

Seile weisen eine alte Geschichte auf. Im Altertum bestanden sie einfach aus Bündeln miteinander verbundener Drähte. Geflochtene Seile aus organischen Fäden und geschmiedete Ketten befriedigten die Anforderungen der Technik im Verlauf vieler Jahrhunderte. Die Entwicklung der Maschinen, vor allem der maschinellen Hebezeuge zu Beginn des 19. Jahrhunderts, erforderte jedoch bedeutend festere Seile.

Die ersten geflochtenen Drahtseile wurden nach Vorgaben des Oberbergrates W. A. J. Albert aus Clausthal im Jahre 1834 hergestellt. Noch im gleichen Jahr griffen der Seilermeister Felten und sein Schwiegersohn Guilleaume die Erfindung auf und begannen in Mülheim bei Köln mit der industriellen Fertigung von Drahtseilen. Sie verwendeten dafür zunächst weiche Eisendrähte. Üblich waren sechsstrangige Seile mit Kreuzschlag aus vielädrigen Einzelsträngen. In den 60er Jahren wurden, ausgehend von England, Seile aus Gußstahldraht eingeführt. Sie hatten die drei- bis vierfache Festigkeit der Seile aus Schmiedeeisen und waren bei gleicher Dicke wesentlich schmiegamer.

Die Verbesserung der Güte der Stahldrähte gestattete weitere Festigkeitssteigerungen. Das enzyklopädische Wörterbuch »Granat« aus dem Jahre 1913 erinnert an Seile, die aus 300 dünnen Drähten geflochten wurden

und eine Dicke bis zu 40 mm besaßen. Viele erreichten auch 400 mm Dicke, wie die Seile der New Yorker Hängebrücke. 40 Jahre später berichtete man in der UdSSR von Seilen, die aus 17 500 Drähten mit 0,3 mm Durchmesser bestehen. Die Seile eroberten sich als neues Konstruktionselement rasch zahlreiche Einsatzgebiete. Pioniere auf dem Gebiet der hängenden Konstruktionen wurden die Brückenbauer. Der Einsatz von Stahlseilen ermöglichte die Errichtung von sehr kühnen technischen Anlagen. Der Deutsch-Amerikaner J. A. Roebling baute 1851 die erste Eisenbahnbrücke über den Niagara mit einer Spannweite von 250 m als Seilbrücke. Er begann 1869 mit dem Bau der Brooklyn-Brücke in New York. Ihre Spannweite beträgt 480,3 m, der Durchmesser der Stahlseile 400 mm.

Eine elegante Konstruktion stellt auch die 430 m lange Donaubrücke in Bratislava (CSSR) dar. Die Brücke ist nur an einem Pfeiler aufgehängt, einer rechteckigen Uferstütze, die gleichzeitig ein Café trägt. Die Brücke ist 20 m breit.

Die größte Hängebrücke Europas ist die 1974 fertiggestellte Brücke über den Bosporus in Istanbul. Der in sechs Spuren befahrbare Teil der Brücke mit 33 m Breite ist in einer Höhe von 64 m über dem Meeresspiegel an zwei Stahlseilen aufgehängt, die an zwei Pfeilern mit 165 m Höhe verankert sind. Der hängende Brückenteil mit 1 074 m Länge ist aus 3 m langen und hohlen Stahlzellen gefertigt, an denen die Fußgängerwege angeschweißt sind. Die Belagdicke des befahrbaren Brückenteils beträgt 12 mm. Die Tragseile mit 60 cm Durchmesser halten einer Belastung von 28 000 t stand. Sie bestehen aus 19 Einzeltrossen, von denen jede 550 Drähte mit 5 mm Durchmesser enthält. Die Gesamtlänge aller Drähte beträgt etwa 50 000 km.

Eine Brücke der Superlative ist die Verrazano-Narrows-Brücke, die im November 1964 in New York dem Verkehr übergeben wurde. Sie gehört zu den schönsten Brücken der Welt und ist mit ihrer 1 295 m großen Mittelöffnung auch die am weitesten gespannte Brücke der Welt. Die Länge des Brückenbauwerkes beträgt 2 033 m. Mit den Anschlußbauwerken auf den Uferseiten erreicht die Brücke eine Gesamtlänge von 4 800 m. Die beiden Pylonen ragen je 210 m über den Meeresspiegel, ihre Gesamthöhe beträgt 280 m, das heißt, die Fundamente reichen etwa 70 m in das Wasser und den Baugrund. Die Durchfahrtshöhe von 66 m bei Hochwasser gestattet auch den größten Überseeschiffen, die Brücke zu passieren.

Bei der Konstruktion mußten zahlreiche Einfluß-

größen berücksichtigt werden, so zum Beispiel auch die Erdkrümmung. Die durch Temperaturunterschiede hervorgerufenen Längenänderungen im Hauptteil der Brücke können bis zu 4 m betragen. Insgesamt wurden für die Brücke 600 000 m³ Beton und 175 000 t Stahl verarbeitet. Die vier Hauptkabel dieser Brücke bestehen aus kaltgezogenen hochfesten Stahldrähten. Sie haben einen Durchmesser von etwa 1 m und sind 3 m lang. Ihre Gesamtbelastung beträgt etwa 95 000 t. Kabel von einem derartigen Ausmaß konnten nicht vorgefertigt werden. Sie wurden an Ort und Stelle gefertigt aus je 26 108 fingerdicken Einzeldrähten mit einer Masse von 41 000 t. Die Gesamtlänge aller Drähte beträgt etwa 230 000 km.

Auch für den Transport eröffneten die Stahlseile völlig neue Möglichkeiten. In den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts wurde in den fortgeschrittenen Industrieländern mit dem Bau von Drahtseilbahnen begonnen, die vor allem für den Transport von Rohstoffen bestimmt waren. Bis zum Jahre 1900 gab es etwa 1 000 Seilbahnen. Jetzt sind es mehrere Tausend. Der Deutsche J. Polig baute im Jahre 1902 Seilbahnen von 11 und 13 km Länge für die Verbindung von zwei Hüttenwerken in Lothringen mit ihren Gruben. Die Anlagen hatten eine Jahresleistung von 600 000 t. Die Leistung einer der beiden Anlagen wurde später verdoppelt.

Beginnend in den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts, wurden im vorrevolutionären Rußland etwas über 100 Seilbahnen gebaut. In der UdSSR gibt es jetzt mehrere Hundert, allein im Tschaiaturer Bassin sind es mehr als 50.

Die ersten Passagierseilbahnen entstanden gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Ihre Einsatzmöglichkeiten waren durch unvollkommene Zugeinrichtung begrenzt. In der Gegenwart gibt es allein in Grusinien 30 Seilbahnen. Für Seilbahnen werden Stahlseile verwendet, die aus hochfesten Drähten mit einer Festigkeit bis zu 3 500 MPa bestehen.

Es gibt auch ungewöhnliche Einsatzgebiete für Seile. Einen originellen Mechanismus stellt die Seilsäge zur Marmor- und Granitgewinnung dar, die im Forschungslabor für Steinbearbeitung des Zentralen Forschungsinstituts für erzfreie Baumaterialien und Hydromechanisierung in Moskau gebaut wurde. Beim Einsatz einer solchen Säge läßt sich die Gewinnung großer Steinblöcke aus dem Bergmassiv wesentlich beschleunigen. Die Säge besteht aus einem Antriebssystem, das ein endloses Stahlseil bewegt. Dieses frisst sich durch

den Block in den Berg hinein. Das Eindringen des Seils in den Felsen wird durch den Einsatz von Schleifpulver beschleunigt.

Saiten

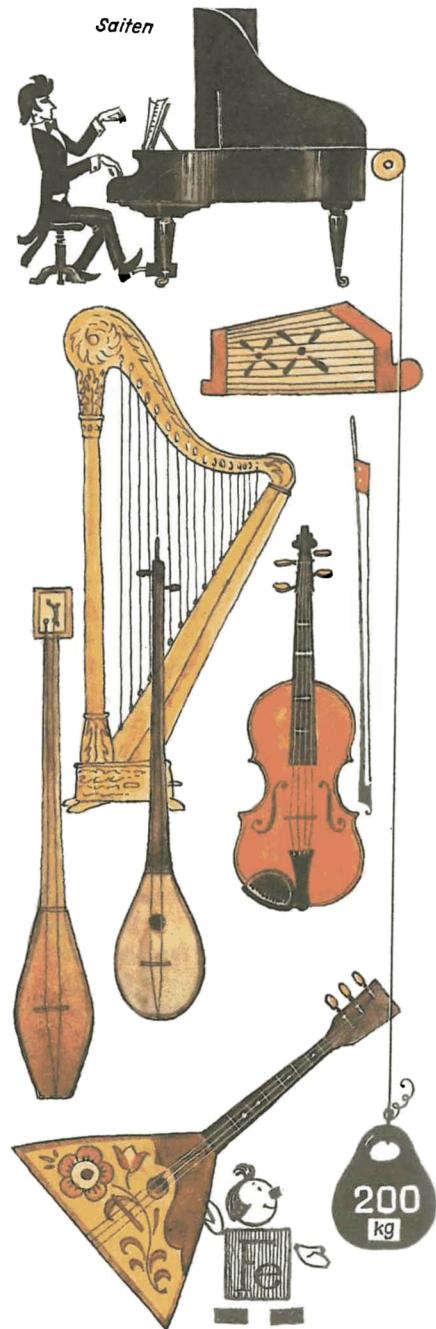
Wenn Sie Verdis Oper »La Traviata« oder das 1. Klavierkonzert von Tschaikowski hören, dann sind Sie vom wundervollen Klang der Musikinstrumente begeistert. In diesem Moment denken Sie nicht an die große Anzahl der verschiedenen Instrumente und auch nicht an ihre Geschichte und ihren Aufbau. Mit seinen reichen Klangmöglichkeiten ist ein modernes Sinfonieorchester auf bestimmte Weise mit der Metallurgie verbunden. Wir gehen hier nur auf die Saiten ein.

Nicht alle Saiten werden aus Stahldrähten hergestellt. Sie können auch aus Kupfer, Sehnen, Kunstfasern oder Nylon sein. Es gibt auch Verbundsaiten, bei denen der stählerne Kern mit weichem metallischem Draht umwickelt ist. Sie werden als Kantillen bezeichnet. Für ihre Herstellung verwendet man Rotkupfer, Silber und Kupfer-Nickel-Legierungen. Häufig werden in den modernen Musikinstrumenten Stahlseiten eingesetzt.

Welche Drähte werden nun für die Saiten verwendet? Die Musiker haben wenig Interesse an der mechanischen Festigkeit dieser Drähte, und wozu soll dieser Wert für die zarten und gefühlvollen Instrumente nützlich sein. Sie interessieren sich in erster Linie für die musikalischen Eigenschaften der Drähte, ihre Weichheit und Klangfülle. Im Standard wird für Saitendrähte jedoch eine hohe mechanische Festigkeit gefordert.

In einem Instrument, zum Beispiel dem Flügel, werden die Saiten so stark gespannt, daß der gußeiserne Rahmen einer Beanspruchung von 20 t ausgesetzt ist. Die spezifische Beanspruchung der Saiten eines Pianos oder Flügels sowie der ersten Saiten der Mandoline oder einer Domra (mandolinenähnliches Zupfinstrument) beträgt bis zu 2000 MPa, das heißt, sie erreicht die Zugfestigkeit der besten Stähle. Die Zugfestigkeit von Klavierdrähten beträgt im Normalfall 2100 bis 2350 MPa. Die Festigkeit der Drähte für Saiten liegt damit noch über der Festigkeit der Seildrähte.

Die Zugfestigkeit ist aber nicht die einzige Anforderung an Saitendrähte. Bedeutung hat beispielsweise auch die Querschnittsform. Die Ovalität des Querschnitts, das heißt die Differenz zwischen zwei senkrecht aufeinanderstehenden Durchmessern, darf maximal 0,005 mm betragen. Außerdem spielt die Elastizi-



tät des Metalls eine wichtige Rolle. Im Standard wird gefordert, daß sich der Draht beim Abwickeln von einer Spule nur zu einem Ring mit nicht unter 400 mm Durchmesser zusammenrollen darf.

An die Saitendrähte werden deshalb sehr strenge Forderungen gestellt, da die Saiten für die Streichinstrumente nur dann geeignet sind, wenn sie den geforderten Ton liefern. Die Untersuchung der Eigenschaften der »singenden« Stähle wird von den Metallurgie, Wissenschaftlern und Musikkundlern gemeinsam fortgesetzt. Die Klangfülle eines Flügels wird durch mehr als 200 Saiten gewährleistet. Dabei hat jede ihre eigene »Stimme«, die vom Durchmesser, der Länge und der Spannkraft abhängt. Lange Zeit wurde angenommen, daß der Klang der Saiten in der Hauptsache von ihrer Spannung und Elastizität abhängt. Es zeigte sich jedoch, daß die Klangdauer direkt von den physikalischen Eigenschaften bestimmt wird.

Die Relaxation der Saiten, das heißt ihre »Selbstentspannung«, wurde genauer erforscht. Für eine hohe Haltbarkeit der Instrumente ist eine geringe Relaxation aller Saiten wichtig. Das erfordert eine besondere Umformtechnologie und ein bestimmtes Wärmebehandlungsregime für den betreffenden Stahl.

Saiten werden nicht nur für Musikinstrumente benötigt. Die Eigenschaften der Saiten, bei verschiedenen Belastungen unterschiedliche Töne von sich zu geben, nutzen die Ingenieure auch beim Bau von Meßinstrumenten aus, zum Beispiel beim Saitengalvanometer.

Klaviersaitendrähte dienen außerdem als Zugelemente für Doppeldecker. Die Saiten für vorgespannte Tafeln sind nicht sehr kompliziert. Das sich entwickelnde Bauwesen fordert jedoch eine große Menge an solchen Drähten mit genau definierter Länge, so daß spezielle automatische Vorrichtungen zur Herstellung von Bausaiten geschaffen wurden.

Nägel

Was kostet ein Nagel? Vor einhundertfünfzig Jahren konnte man in den kasachischen Steppen für eine Handvoll Nägel ein ganzes Schaf bekommen. Jetzt wiegt der Verkäufer für eine Mark zwei Hände voll Nägel ab. Was für eine Entwicklung muß die Metallurgie genommen haben, daß sich die Kosten für dieses Erzeugnis derart verringerten!

Der Stammbaum des Nagels beginnt mit der Fischgräte und den Stacheln der Dornengewächse, mit deren

Hilfe die Urmenschen Teile ihrer Hütten und Arbeitsgeräte befestigten.

Nicht umsonst versuchten die Einwohner Tahitis, die noch kein Eisen kannten, einen von Cook, dem englischen Seefahrer und Forschungsreisenden, mitgebrachten Nagel in die Erde zu pflanzen, damit er wächst und eine neue Ernte liefert.

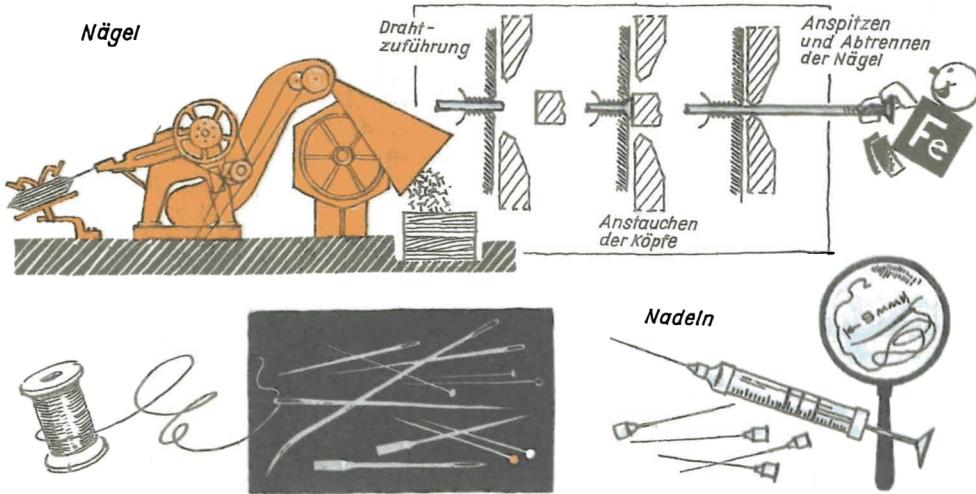
In seinem traditionellen Aussehen – angespitzter Stift mit einer Kappe – trat der Nagel erstmalig in der Bronzezeit auf. In Ägypten, Griechenland und Rom wurden Nägel aus Kupfer, Bronze und Eisen hergestellt. Germanische Zimmerleute und Schiffbauer verwendeten Eisennägel, während im frühen Mittelalter geschmiedete Eisennägel weitverbreite Anwendung fanden. Der Nagel spielte in der Zeit des Holzbauens eine wichtige Rolle. Der Beruf des Nagelschmiedes, der sich schon im 10. Jahrhundert entwickelte, stand in einem hohen Ansehen.

Das erste Patent für eine Maschine zur Erzeugung von Eisennägeln erhielt im Jahre 1606 der Engländer Bulmer. Seine Maschine fand jedoch keine Anwendung. Mehr Erfolg hatte Perkins, der 1790 eine gut funktionierende Maschine für die Nagelherstellung erfand. Ein Durchbruch auf diesem Gebiet wurde jedoch erst durch die Verwendung von Draht erzielt. Die hohe Produktivität der Drahtstiftmaschinen führte zu einer starken Einschränkung des Anwendungsgebietes geschmiedeter Nägel.

Heute erfolgt die Erzeugung von Nägeln aus Draht mit hochproduktiven automatischen Maschinen. Auf ihnen werden Nägel mit den Abmessungen von $0,6 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ bis $8 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ erzeugt. Eine Maschine fertigt mehr als 1 000 Nägel in der Minute.

Die Qualitätsverbesserung der Nägel, dieser einfachsten Verbindungselemente, ist auch heute noch Gegenstand von Entwicklungsarbeiten. Nägel und Schrauben aus Kohlenstoffstählen mit dünnen Polymerüberzügen werden zum Beispiel in der Möbelindustrie der DDR verwendet. Der Überzug verhindert das Rosten der Verbindungselemente und die damit verbundenen nachteiligen Auswirkungen auf das Aussehen und die Haltbarkeit. Neue Nägel und Schrauben gewährleisten eine festere Verbindung der Teile. Die Festigkeit von Verbindungen ist beispielsweise bei Stahlschrauben mit einem Plastiüberzug um fast 80 % höher als bei normalen Schrauben.

In England werden Nägel aus Plexiglas hergestellt. Hinsichtlich Festigkeit sind sie nicht schlechter als Metallnägel. Sie werden zur Herstellung von Schiffs-



möbeln verwendet, die immer der Feuchtigkeit ausgesetzt sind.

Kann man Nägel auch aus Metallspänen fertigen? Normalerweise werden Späne als Schrott beim Stahlschmelzen eingesetzt. Englische Ingenieure fanden auch eine andere Verwendung: Nach einer Druckbelastung von 600 MPa wandeln sich die Späne in eine homogene, vom dichten Metall nicht zu unterscheidende Masse um, aus der man qualitätsgerechte Nägel erhält.

Nadeln

Die Nadel, dieses für die Anfertigung von Kleidung und Schuhen so wichtige Werkzeug, war schon im Altertum bekannt. Damals wurden die Nadeln noch aus Knochen und Fischgräten hergestellt. Sie hatten ein Ohr, das mit Hilfe von Feuersteinsplittern gebohrt wurde. Danach stellte man Näh- und Stecknadeln aus Bronze her. Bei den Ausgrabungen im Gebiet von Magdalenenberg (Österreich) wurden unter den Eisengegenständen einer 2000 Jahre alten Fundstätte auch Nähnadeln und Scherenklingen gefunden. Mit der Entwicklung der Metallverarbeitung, besonders der Technologien für die Drahtfertigung, wurden die Nadeln ein wesentlicher Gegenstand der metallurgischen Produktion. Schon im 14. Jahrhundert gab es in Nürnberg das Handwerk der Drahtzieher und Nadler, die zur Herstellung der Nadeln schon damals gezogenen Stahldraht verwendeten.

Die Beherrschung der schwierigen Technologie für das Ziehen dieses Drahtes war Voraussetzung für die Nadelfertigung. Erst im 17. Jahrhundert wurde dieser Produktionszweig von deutschen Handwerkern in England und Frankreich eingeführt.

Nach Rußland wurden »Lübecker Nadeln« von Kaufleuten der Hanse gebracht. Bald danach begann jedoch in Rußland die eigene Fertigung von Nadeln.

So gab es nach alten Aufschreibungen im Jahre 1677 in einer Vorstadt von Moskau bereits fünf Meister, die Nadeln herstellten. Geschmiedete Nadeln aus Eisen und Bronze waren allerdings nur für die Reichen erschwinglich.

Lange Zeit wurden die Nadeln von Hand gefertigt. Obwohl schon Leonardo da Vinci Maschinen für die Nadelherstellung entworfen hatte, begann erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts in England und Deutschland die fabrikmäßige Herstellung von Nadeln. Das Nadelkleingewerbe war mit der hochproduktiven Fertigung nicht mehr konkurrenzfähig und starb aus.

Auch heute ist die Herstellung von Nadeln ein komplizierter Prozeß. Bereits bei der Herstellung des Drahtes sind besondere Qualitätsbedingungen zu berücksichtigen. Als »Nadelstahl« wird meist unlegierter Werkzeugstahl mit einem Kohlenstoffgehalt von etwa 1 % verwendet. Durch die Erschmelzung im Elektrofen wird ein hoher Reinheitsgrad gewährleistet. Bevor der Stahl als blander Nadeldraht mit einem Durchmesser von 0,25 bis 5 mm zur Auslieferung kommt,

durchläuft er viele Produktionsstufen. Die Metallurgen achten dabei besonders darauf, daß der Draht nicht entkohlt, damit im gehärteten Zustand eine hohe Oberflächenhärte gewährleistet werden kann. Die besonders bei den dünnen Abmessungen notwendigen, häufigen Glühungen werden deshalb unter Schutzgas oder im Vakuum durchgeführt. Ferner müssen die Metallurgen eine hervorragende Güte der Oberfläche gewährleisten. Zum Beispiel muß die Oberfläche frei sein von Rissen, Einschlüssen, Rost und sonstigen anderen Fehlstellen.

Nähmaschinennadeln können gerade oder gebogen sein. Sie weisen am spitzen Ende anstelle einer Öse einen Haken auf. Ihr Durchmesser liegt zwischen 0,25 bis 4 mm. Handnähnadeln haben einen Durchmesser von 0,30 bis 0,50 mm.

Die fertigen Nadeln werden einer strengen Prüfung auf Elastizität und Härte unterzogen. Nach einer Biegung von 10° darf bei einer Nähmaschinennadel keine Restdeformation zurückbleiben. Ein Bruch darf erst nach einer Biegung von 18 bis 30° auftreten. Handnähnadeln dürfen erst bei einer Biegung von 30 bis 40° brechen. Die meisten Nadeln erhalten einen schützenden Überzug, hauptsächlich durch Vernickeln. Besonders hohen Anforderungen wird durch Verwendung eines nichtrostenden Chromstahles Rechnung getragen. Die Schwierigkeiten bei der Nadelherstellung werden durch die Tatsache unterstrichen, daß ihre Massenfertigung nur in 7 Ländern der Erde, darunter die DDR, erfolgt. Deshalb sind Nadeln auch auf dem Weltmarkt ein begehrtes Handelsobjekt.

Das Nadelwerk Ichtershausen in der DDR erzeugt Nadeln in einem sehr breiten Sortiment für die unterschiedlichsten Einsatzgebiete. Zu den kleinsten Nähnadeln der Welt zählen zum Beispiel 9 bis 10 mm lange Nadeln mit einem Öhr von $0,4 \times 0,15$ mm und einem Durchmesser von 0,18 mm. Für die Chirurgen werden in Ichtershausen 18 verschiedene Typen von Nähnadeln gefertigt. Sie haben eine Länge von 6 mm bis 140 mm und Durchmesser von 0,20 bis 2,20 mm. Die kleinsten Abmessungen haben die Nadeln für das Nähen von Hornhautrissen des Auges. Eine halbrunde Nadel mit einer gestreckten Länge von 6 mm und einem Durchmesser von 0,2 mm kann man für 20 Operationen verwenden. Es bedarf einer besonderen Kunstfertigkeit, um in das 0,1 mm breite Öhr der Nadel einen 0,03 mm starken Faden aus synthetischem Material einzufädeln. Für bestimmte Einsatzzwecke werden deshalb auch chirurgische Nähnadeln mit einer festen Nadel-Faden-Verbindung gefertigt.

Eisen im Krieg

»Wo Blut ist, ist auch Eisen«, sagt ein altes Sprichwort. Wieviel Eisen wurde für die Kriegsführung in der Geschichte der Menschheit bisher verbraucht? Wenn es gelänge, diese Ziffer zu berechnen, ihr Wert wäre kolossal.

Nehmen wir nur die Werte dieses Jahrhunderts. Für den ersten Weltkrieg (1914 bis 1918), einschließlich seiner Vorbereitung, wurden über 200 Millionen Tonnen Stahl und für den zweiten Weltkrieg etwa 800 Millionen Tonnen Stahl verbraucht. Der Stahlverbrauch für Kriegszwecke betrug in einigen Ländern, zum Beispiel in Japan, während der Kriegsjahre 80 bis 90 % ihres Gesamtaufkommens.

Schon in den frühesten Menschheitsepochen spielte Eisen bei kriegerischen Auseinandersetzungen der Stämme und Völker eine große Rolle. Der Vorlauf bestimmter Völker bei der Eisenerzeugung oder die Verfügbarkeit von Eisen und Waffen aus Eisen durch den Handel waren oft entscheidend für ihre kriegerische Überlegenheit. Man nimmt beispielsweise an, daß den Philistern die Eroberung der kleinasiatischen Küste im 12. Jahrhundert v. u. Z. vor allem durch die Anwendung von Eisenwaffen möglich wurde. Archäologische Untersuchungen ergaben, daß die vor ihnen dort beheimateten Völker noch mit Bronzewaffen kämpften.

Die blanken Waffen bestimmten die Kriegstechnik bis zur »Entdeckung« des Schießpulvers durch das Abendland. Im 14. Jahrhundert begann eine stürmische Entwicklung der Artillerie. Der britische Wissenschaftler und Friedenskämpfer J. D. Bernal schätzt in seinem bekannten Werk »Die Wissenschaft in der Geschichte« (1954) ein, daß die Verwendung der Kanonen eine technische Umwälzung in der Kriegsführung einleitete, die nur mit derjenigen verglichen werden kann, die zu Beginn der Eisenzeit vor 3000 Jahren erfolgt war. »Schießpulver, Kanonen und Musketen verliehen einem Gegner gegenüber, der diese Waffen nicht besaß, praktisch Unbesiegbarkeit und sicherten die Überlegenheit der Zivilisierten über die bei weitem zahlreicheren Eingeborenen.« Die Herstellung und Anwendung von Kanonen setzte ausreichende finanzielle Mittel voraus. Daraüber verfügte jedoch nicht der Landadel, sondern das junge Bürgertum und die von ihm gestützten Könige. Die Anwendung des Schießpulvers in der Kriegstechnik führte damit zum Zerfall der Macht

des Landadels. Im Zusammenwirken mit anderen Faktoren wurde damit der Anfang vom Ende des Feudalismus eingeleitet. Die auf Kanonen gestützte Herrschaft über die Weltmeere gab den Westeuropäern die Möglichkeit, ihre Maßstäbe anderen Völkern aufzuzwingen und den zugänglichen Reichtum der Welt in ihren Händen zu konzentrieren.

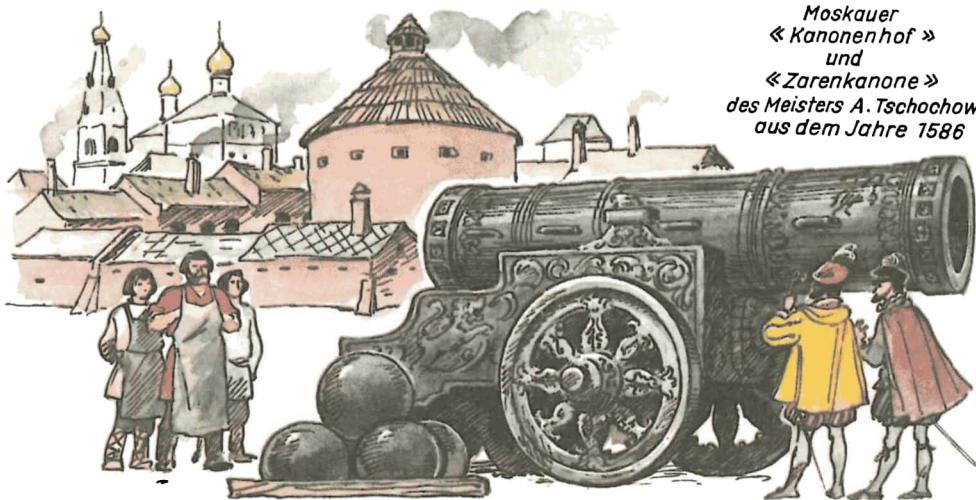
Als Geschosse für die ersten Kanonen wurden Steine verwendet. Um eine möglichst hohe Durchschlagskraft zu erreichen, baute man sehr großkalibrige »Büchsen«, die sehr schwer waren. Die Metallurgen konnten damals noch nicht die dafür benötigte große Menge Flüssigmetall zur Verfügung stellen. Die meisten Steinbüchsen wurden deshalb aus Schmiedeeisen hergestellt. Sie waren ähnlich wie Fässer, allerdings mehrlagig, aus breiten Ringen und Stäben aufgebaut. Die Ringe der Kammern waren mit den Stirnflächen aneinander geschweißt. Die Masse der Belagerungsgeschütze des 14. und 15. Jahrhunderts erreichte 8 bis 16 t. Die größte aus dieser Zeit erhalten gebliebene Büchse ist die »Dulle Griet« (Tolle Grete) in Gent mit einem Kaliber von 64 cm, einer Länge von 3,05 m und einer Masse von 16,4 t.

In der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts traten Eisenkugeln an Stelle der Büchsensteine. Die Mündungsgeschwindigkeiten wurden damit erheblich gesteigert. Der Aufbau der Geschütze änderte sich, es wurden vorwiegend gegossene Geschütze hergestellt, zunächst aus Bronze, später aus Gußeisen. Im 16. und 17. Jahrhundert entstanden an den großen Fürstenhöfen

Europas riesige Geschütze als Ausdruck der Macht und des Reichtums. Für militärische Zwecke waren diese Riesen wenig geeignet. Die Riesengeschütze der russischen Gießer des 16. Jahrhunderts sind Ausdruck der meisterhaften Beherrschung ihres Handwerks. Mehr als 60 Jahre arbeitete im Moskauer Kanonenhof der Meister Andrej Tschochow (etwa 1630 gestorben). Er goss 1577 Kanonen und Büchsen, vor allem die Kanonen Triol, Skoropega, Aspid, Lew und Achilles. Das größte Werk dieses berühmten Meisters ist die Zarenkanone (1586), die einen Ehrenplatz im Moskauer Kreml innehat. Sie wiegt 2 400 Pud (40 t). Der Laufdurchmesser beträgt 89 cm, seine Länge mehr als 5 m. Die Masse einer Kugel erreicht 2 t und die Pulvermasse 480 kg.

Seit Beginn der Herstellung von Bronzekanonen waren keinerlei wesentliche konstruktive Veränderungen vorgenommen worden. Kanonen wurden aber viele gebraucht. Im Jahre 1720 verfügte die englische Flotte über 182 Kriegsschiffe mit 9 940 Kanonen. Mit Zunahme des Handels und der Flotten stieg auch der Bedarf an Waffen. Die Zahl der Produktionsbetriebe für solche Waffen nahm zu.

Von der Kanonenabteilung der Karroner Werke ist eine Beschreibung aus dem Jahre 1796 erhalten geblieben. Es heißt dort: »Mitten unter diesen Kriegsmaschinen, diesen alten Todeswaffen, sind an geeigneten Plätzen gigantische Kräne, alle Arten von Winden, Hebeln und Kloben aufgestellt, die für den Transport der vielgestaltigen schweren Teile dienen. Ihre Bewegungen und das schrille Kreischen der Kloben, das



*Moskauer
«Kanonenhof»
und
«Zarenkanone»
des Meisters A. Tschochow
aus dem Jahre 1586*

Klopfen der Hämmer und die Tätigkeit der Hände, die in den Gang der vielen Maschinen eingreifen, zeigen so viel Neues und Interessantes. . . . Von diesen Werkstätten gibt es so viele, daß die Luft in unmittelbarer Nähe erhitzt ist und nachts alles von Feuer und Licht glänzt. Wenn Du in einem bestimmten Abstand die glühenden Kohlen und die aus den Hochöfen fliegenden Funkenstrahlen bemerkst sowie das Klopfen der schweren Hämmer, die laut auf den Amboß schlagen, und das schrille Pfeifen der Luftpumpen hörst, dann weißt Du nicht, ob Du Dich auf dem Boden eines ausbrechenden Vulkans oder schon auf einer Zauberfahrt in die Hölle befindest, wo der Teufel mit seinen Zyklopen Blitze schmiedet.«

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden Grenzen der Anwendung von Gußeisen für die Herstellung von Geschützrohren erreicht. Die Erhöhung der Reichweite der Geschütze und der Durchschlagskraft der Geschosse erforderte hohe Mündungsgeschwindigkeiten. Die dafür notwendige Erhöhung des Gasdruckes war durch die begrenzte Beanspruchbarkeit des Gußeisens nur bedingt möglich. Die Geschützläufe wurden störanfällig. In der Schlacht bei Trafalgar (1805) kapitulierte das französische Schiff »Grosny«, als auf ihm zwei Kanonen explodierten. Nicht viel besser waren auch die Kanonen während des Krimkrieges. Man versuchte, Schweißeisen mit niedrigen Kohlenstoffgehalten zu verwenden, aber dieses Metall war zu weich. Im Jahre 1844 explodierte auf dem amerikanischen Schiff »Princeton« während einer Marineparade ein 20-Zoll-Geschütz aus Schweißeisen, wobei der Außenminister und der Minister der Seekriegsflotte ums Leben kamen.

Die Verstärkung der gußeisernen Läufe der Geschütze führte zu einer enormen Erhöhung ihrer Masse. Die Kanone des englischen Schiffes »Viktoria«, die mit 32-Pfund-Kugeln schoß, wog etwa 4 bis 5 t. Die Masse der Kanonen erhöhte sich bis auf 15% der Wasserverdrängung der Schlachtschiffe.

Den Masserekord auf dem Gebiet der gußeisernen Kanonen hält die Uraler Zarenkanone, die in den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts in einem Permer Kanonenbetrieb gegossen wurde. Sie ist um 300 Pud schwerer als die Moskauer Zarenkanone und wiegt 44,8 t. Die Masse der Kugeln beträgt 480 kg, die der Pulverladung liegt bei 64 kg. Der Lauf des 20-Zoll-Kalibers wurde mit Hilfe eines Sandkernes gefertigt, in dem Rohre zur Zirkulation des Kühlwassers eingebaut waren. An den Laufwänden erhielt man ein sehr feinkörniges Gefüge,

dessen Festigkeit um das Dreifache größer war als in der Mitte des Laufkörpers.

Bei der Prüfung hielt die Kanone 314 Schüsse aus, was ihre gute Qualität bestätigte. In einer Schlacht wurde diese Kanone jedoch niemals eingesetzt. Der Grund bestand in der Ablösung der gußeisernen Geschütze der russischen Artillerie durch solche aus Stahl mit gezogenen Läufen, die leichter, manövrierfähiger und von größerer Reichweite waren. Die für die Uferartillerie der Ostsee bestimmte Kanone blieb aber in Perm als Denkmal der Kunst der Uraler Meister.

Die Ablösung des Gußeisens für die Herstellung von Geschützrohren durch geschmiedeten Gußstahl geht auf Arbeiten der Firma Alfred Krupp zurück. Krupp hatte sich in den 30er und 40er Jahren des 19. Jahrhunderts Verdienste um die Einführung des geschmiedeten Gußstahls in den Maschinenbau, besonders den Schwermaschinenbau, den Schiffsmaschinen- und Schienenfahrzeugbau erworben. Er nutzte die dabei gewonnenen Erfahrungen für die Herstellung von Geschützrohren. Nach anfänglichen Versuchen mit vollgeschmiedeten Rohren im Jahre 1854 ging man zur Mehrlagenbauweise über. Auf ein geschmiedetes Seelenrohr wurden Ringlagen aufgeschrumpft. Damit waren günstige Voraussetzungen für die Durchsetzung von weiteren Neuerungen im Artilleriewesen geschaffen. Der schwedische Offizier und Hüttenbesitzer von Wahrendorf hatte schon 1846 ein Hinterladungsgeschütz konstruiert und seinen Lauf auf Empfehlung von Giovanni Cavalli mit Zügen versehen. Der Amerikaner Eastmann erhielt 1853 ein Patent für ein Hinterladungsgeschütz mit Schraubverschluß. Die preußische Artillerie hatte 1851 die gezogenen Rohre der Handfeuerwaffen auf Geschütze übertragen. Für diese Neuerungen war Gußstahl besonders gut geeignet.

Ägypten war der erste Staat, der von Krupp eine große Menge von Geschützen bezog. Preußen führte 1859 die Kruppschen Stahlgeschütze ein. Krupps Werke in Essen entwickelten sich durch das Rüstungsgeschäft zu den größten Fabriken der Welt.

Täglich um 12 Uhr ertönt in Leningrad über der Newa ein Artillerieschuß. Diese Tradition begann mit einer Salve von der Hauptadmiralität am 6. Februar 1865. Bald danach wurde die dafür verwendete Kanone in die Peter-Pauls-Festung überführt, dort gab sie ihren ersten Schuß am 24. September 1873 ab. Der bedeutendste Schuß dieser Kanone mit glattem Lauf und einem 60-Pfund-Kaliber ertönte am Abend des 25. Oktober (7. November) 1917 um 21.45 Uhr. Er gab das Signal für

die historischen Salven des Kreuzers »Aurora«. Vom 2. Juli 1934 bis zum 24. Juni 1957 war die mittägliche Salve nicht zu hören. Danach beschloß das Leningrader Stadtparlament die Wiederaufnahme dieser Tradition. Am 6. Oktober 1973 feierte die Kanone ihr hundertjähriges Bestehen. Jetzt hat sie bereits über 7000 Schüsse zu friedlichen Zwecken abgegeben.

Parallel zu den Kanonen entwickelten sich die Handfeuerwaffen. Auch sie waren beweglicher und billiger als die traditionellen Waffen der Ritter des Mittelalters und gewannen deshalb rasch militärische Bedeutung.

Für die Herstellung von Handfeuerwaffen wurde Schmiedeeisen verwendet, nachdem anfängliche Versuche mit Bronze gelungen waren. Die Bewaffnung der Bürgerschaft der aufblühenden Städte und die Bildung stehender Heere führten im 16. Jahrhundert zu einer sprunghaften Erhöhung des Bedarfs an Gewehren. Holland hatte gegen Ende des 16. Jahrhunderts ein stehendes Heer von 20 000 Mann. Karl V. sammelte 1532 vor Wien gegen die Türken ein Heer, das aus 90 000 Mann Fußvolk und 30 000 Reitern bestand. Iwan der Schreckliche gründete 1545 in Rußland das Strelitzencorps (strelzi = Schützen). Die Bewaffnung solcher Massen konnte von den in den großen Städten, zum Beispiel Nürnberg, Augsburg und Frankfurt am Main, beheimateten Büchsenschmieden nicht mehr bewältigt werden. Der Bedarf erzwang den Übergang von der handwerksmäßigen Einzelfertigung zur manufakturmäßigen arbeitsteiligen Produktion genauso wie die zunehmende Kompliziertheit der Gewehre, die Verringerung ihrer Masse und die Senkung der Herstellungskosten. Die Handarbeit wurde durch den Einsatz von Wasserhämtern zum Schmieden der Rohre abgelöst. Diese Umstände führten zur Verlagerung des Gewerbes der Büchsenschmiede aus den »teureren« Städten in Gegenden, wo gutes Eisen, Holzkohle, Wasserkraft und billige Arbeitskräfte verfügbar waren. Die Randbedingungen waren in der Grafschaft Henneberg, im Raum von Suhl, Zella und Schmalkalden in nahezu idealer Weise erfüllt.

Die Gewehrfabrikation um Suhl

Schmalkalden und Suhl waren schon seit Jahrhunderten Zentren des Eisengewerbes in Deutschland. Steirische Schmiede sollen schon im Jahre 385 am Stahlberg bei Schmalkalden Eisenhütten angelegt haben. In diesem

Gebiet wurden die ersten nachweisbaren Stücköfen Deutschlands errichtet. Das sind Schachtöfen, die den ursprünglich für die Erzeugung von Schmiedeeisen verwendeten Rennherden durch ihre höhere Produktivität und die Möglichkeit der Verhüttung ärmerer, schwer schmelzbarer Erze überlegen waren. Das am Stahlberg abgebaute Eisenerz war reich an Mangan. Der aus ihm erzeugte »Schmalkaldische Stahl« war für seine gute Qualität bekannt. Dieser gute Ruf dürfte unter anderem darauf zurückzuführen sein, daß der Stahl, bedingt durch die Erzbasis, einen höheren Mangan gehalt hatte und deshalb als »naturlegierter« Manganstahl anzusehen ist.

Suhl versorgte schon im 15. Jahrhundert die fränkische Ritterschaft mit Panzern und Schwertern. Die einheimischen Waffenschmiede wurden um 1530 durch zugewanderte Büchsenschmiede verstärkt. Durch Aufteilung in die Gewerbe der Rohrschmiede, Bohrer, Schloßmacher, Stecher, Garniturmacher, Schafter, Ladestockmacher und anderer wurde die Grundlage für eine Massen- und Präzisionsfabrikation von Gewehren geschaffen. Die manufakturmäßige Waffenproduktion entwickelte sich sehr rasch.

Der Vorwurf unzüglichen Arbeitens war Anlaß für die Bildung der »Innung der Schlosser, Büchsenmacher, Sporer und Windenmacher«, der am 22. Januar 1563 durch Graf Georg Ernst zu Henneberg Innungsrechte verliehen wurden. Die Innung hatte ihren Sitz in Suhl.



Ihr Statut enthielt unter anderem Vorschriften für eine dreijährige Lehrzeit, für die Anfertigung von Meisterstücken, für die Pflicht zum Beschauen und Beschießen sowie zur Zeichnung der Rohre und das Verbot zur Herstellung von Einbrecher- und Folterwerkzeugen.

Die Gewehrfabrikation in Suhl, Zella und den umliegenden Orten nahm in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts einen solchen Aufschwung, daß das Gebiet bis zum Jahre 1634 ein »Zeughaus, Rüst- und Waffenkammer für Deutschland und Europa« genannt wurde. Im Jahre 1553 wurden in Suhl von acht Büchsenschmieden in einer Woche 526 Rohre aus 20,5 Zentner Eisen gefertigt. Sechs Hämmer versorgten um 1570 zehn Büchsenschmieden und 22 Kleinschmieden, von denen 28 Schlosser-, 4 Laufschneider- und 7 Bohrbetriebe abhängig waren. Die Hämmer erzeugten 1570 6 700 Zentner (335 t) Eisen. Großhändler aus Suhl belieferten Freund und Feind mit Waffen. Ihre Rohre fanden selbst den Weg zum Erbfeind, den Türken. Valentin und Stephan Klett sowie Claus Reitz lieferten 1586 auf einmal der Schweiz 2 000 Feuergewehre und 500 Präzisionsmusketen. 6 000 Rohre lieferte Simon Store 1600 an den dänischen König. Rudolf II. bestellte 1590 viele tausend Musketen und versprach die Befreiung von allen Donauzöllen von Regensburg bis Wien. Selbst die Frauen fanden damals Beschäftigung bei der Herstellung der leichteren Gewehrteile.

Der industriellen Blüte Suhs wurde 1634 ein jähres Ende bereitet. Suhl stand damals unter sächsischer Verwaltung. Die kaiserlichen Kroaten unter Graf Isolano brannten am 16. Oktober 1634 die Stadt und die Eisenhämmer nieder, um sich an dem Grafen, von Sachsen-Weimar zu rächen. Der Zerstörung entging nur der Eisenhammer des Valentin Klett auf der Mühlwiese mit Rohrschmiede, Bohr- und Schleifmühle nebst Wohnhaus. Danach wurde die Stadt noch mehrfach von den Schweden heimgesucht.

Von diesen Schicksalsschlägen hat sich Suhl nur zögernd erholt. Die Gewehrfabrikation blühte in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts wieder auf. Suhl verlor jedoch einen großen Teil seiner Absatzgebiete. Die größeren europäischen Staaten gründeten nach dem 30jährigen Krieg eigene Gewehrfabriken, um den hohen Eigenbedarf unabhängig von Importen aus einem fremden Land zu decken. Durch strenge Vorschriften sicherten die Suhler die Qualität ihrer Waffen und erlangten damit wieder einen weltbekannten Ruf.

Die gute Qualität der Suhler Gewehre war, neben dem handwerklichen Geschick der Schmiede, vor allem auf

die gute Qualität des Eisens, das im Gebiet von Suhl produziert wurde, zurückzuführen. Es zeichnete sich durch eine besonders hohe Zähigkeit aus. In der Mitte des 18. Jahrhunderts hatten die fünf Suhler Hämmer eine Jahreskapazität von 4 500 t Eisen. 11 ganze und 22 halbe Rohrschmieden produzierten jährlich etwa 60 000 Rohre, von denen ein großer Teil ungeschäftet ausgeführt wurde. Der Siebenjährige Krieg brachte einen besonderen Aufschwung. In den ersten vier Jahren des Krieges lieferten Suhler Waffenhändler allein an Preußen 25 000 Gewehre. Auch die Revolutionskriege und die Napoleonischen Kriege brachten viel Arbeit. Im Jahre 1795 wurden von Suhl in das Ausland geliefert: 3 579 Karabiner, 15 515 Muskete, 105 Jagdflinten, 661 Büchsen, 1 158 Pistolen, ferner noch zahlreiche Flinten-, Pistolen- und Büchsenläufe, Schlosser und Bajonette.

In der Umgebung von Suhl lagen noch weitere Gewehrfabriken. In Zella und Mehlis befanden sich Gothaische Gewehrfabriken. In Steinbach, im Hessischen, wurden ebenfalls Gewehrstücke und zeitweilig Garniturstücke gefertigt. Die Rohrschmiede von Schöna, das in der Nähe von Steinbach liegt, belieferten die Gewehrfabrik in Schmalkalden.

Der Erzbergbau und die Eisenerzeugung in der Umgebung von Suhl gingen im 18. Jahrhundert stark zurück, so daß der Eisenbedarf der Büchsenschmiede nicht mehr durch die eigene Erzeugung gedeckt werden konnte. Die industrielle Entwicklung im 19. Jahrhundert führte schließlich zur vollständigen Einstellung des Suhler Erzbergbaues.

Nach 1945 erlebte die Suhler Industrie eine neue Blüte. Heute haben die Jagdwaffen aus dem Ernst-Thälmann-Werk in Suhl einen Weltruf als Spitzerzeugnisse, die höchsten Qualitätsansprüchen genügen.

Bauwerke aus Eisenwerkstoffen

In der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts gelang A. Darby und seinem Sohn nach langwierigen Versuchen die Ablösung der Holzkohle als Brennstoff bei der Roheisenerzeugung durch den Steinkohlenkoks. Dadurch wurde eine sprunghafte Steigerung der Roheisenproduktion erzielt. Die Hochöfen hatten im 17. Jahrhundert die Wälder Englands verschlungen. Zahlreiche Versuche zur Anwendung mineralischer Brennstoffe in Hochöfen brachten nicht das ge-

wünschte Ergebnis. Die Verfügbarkeit und der Preis der Holzkohle bestimmten die Höhe der Roheisenproduktion. Diese Grenze bestand nun nicht mehr. Die gegenüber der Holzkohle höhere mechanische Belastbarkeit des Kokses gestattete in Verbindung mit der Weiterentwicklung des Hochöfengebläses den Bau größerer Hochöfen mit höheren Leistungen.

Für die Erzeugung von Schmiedeeisen aus Roheisen gab es noch keine leistungsfähigen Verfahren. Das Roheisen der Kokshochöfen hatte einen höheren Schwefel- und Siliziumgehalt. Es ließ sich deshalb schwieriger zu Schmiedeeisen frischen. Durch den hohen Siliziumgehalt war es jedoch für Gießereizwecke sehr gut geeignet. Das Überangebot an Roheisen führte deshalb zu einer spürbaren Erhöhung der Erzeugung von Gußeisen, für das völlig neue Einsatzgebiete erschlossen wurden. Das Gußeisen wurde unter anderem zu einem wichtigen Werkstoff für tragende Konstruktionen. Erinnert sei in diesem Zusammenhang an den Einsatz von Gußeisen für den Bau von Brücken, die Herstellung von Säulen, Treppengeländern, Schienen, Rädern u. a.

Eines der berühmtesten Baudenkmäler dieser Zeit ist der Kristallpalast, der anlässlich der ersten Weltausstellung im Jahre 1851 in London errichtet wurde. An der Ausschreibung für das Projekt des Hauptgebäudes der Weltausstellung beteiligten sich 241 Projektanten. Die Mehrzahl der Projekte entsprach nicht den Hauptforderungen – billig und neu. Angenommen wurde das Projekt des Gartenarchitekten J. Paxton. Ausgehend von seinen Erfahrungen beim Bau von Gewächshäusern aus Eisen hatte er vorgeschlagen, die Halle aus Gußeisen und Glas zu errichten.

Für die Montage des 363 m langen und 137 m breiten Gebäudes wurden nur 17 Wochen benötigt. Das für damalige Verhältnisse grandiose Gebäude konnte nur mit Hilfe einer Metallkonstruktion errichtet werden. Die verglaste Fläche in diesem Palast betrug 81 000 m² und überstieg damit die von dem Gebäude selbst eingenommene Fläche. Es erhielt deshalb die Bezeichnung Kristallpalast.

Die Kombination von Metall und Glas eröffnete eine neue Epoche im Bauwesen. Architekten und Ingenieure fanden ein breites Feld für ihr Schaffen. Der Kristallpalast wurde das Vorbild vieler Markthallen, Kaufhäuser und Bahnhöfe, die im vergangenen Jahrhundert in Europa und Amerika gebaut wurden.

Als ein Beispiel dafür sei das älteste Pariser Kaufhaus »Bon Marché« genannt, das 1876 erbaut wurde. Das

Gebäude stellt eine kühne, exakt berechnete Skelettkonstruktion aus Eisen dar. Als Emile Zola in einem seiner Romane das gigantische Kaufhaus »Paradies der Damen« beschrieb, hatte er das Bon Marché im Auge. Er berichtet uns über dieses Kaufhaus folgendes: »Es erinnert an einen Bahnhof, der von den Etappengeländern eingerahmt, durch frei schwebende Treppen zerschnitten und von Hängebrücken unterbrochen ist. Eisentreppen winden sich kühn hinauf und sind durch Absätze verschont. In den Raum ragende Eisenbrücken erstrecken sich in geraden Linien. Das durch die Glasfenster matt einfallende Licht wandelt das Eisen um in eine leichte architektonische Verschnörkelung, in vom Licht durchdrungene verzwickte Spitzen, aber auch in die moderne Darstellung eines Märchenpalastes und in einen babylonischen Turm mit übereinanderliegenden Etappen, einem breiten, großen Saal und gibt den Blick frei auf die riesige Weite der anderen Säle und Etagen. Eisen herrscht tatsächlich überall vor. Der junge Architekt ließ es nicht mit Farbschichten bedecken, die dem Eisen etwa das Aussehen von Holz oder Stein gegeben hätten. Die Treppen mit den vom Samt umgebenen Geländern sind aus graviertem, poliertem Eisen gefertigt, das wie stählerne Harnische glänzt.«

Auch in Rußland wurden einige Gesellschaftsbauten mit origineller Lösung unter Einsatz von Metallkonstruktionen errichtet. Von diesen bedeutenden und progressiven Konstruktionen, die die Ingenieurleistung mit der architektonischen Komposition verbinden und aus Gußeisen und Eisen gebaut wurden, ist der Kuppelbau der Isaak-Kathedrale in Petersburg zu nennen. Er wurde nach den Projekten des Architekten A. Monferran in den Jahren 1818 bis 1858 erbaut.

In Übereinstimmung mit den ersten Vorstellungen sollte die Kuppel aus Ziegelsteinen gemauert werden wie die der Londoner St.-Peter-Kathedrale, die gegen Ende des 17. Jahrhunderts eingeweiht wurde. Monferran ging aber im letzten Augenblick vom Ziegelbau ab, und unter Ausnutzung seiner außergewöhnlichen Erfindergabe schlug er eine Kuppel aus Gußeisen und Eisen vor. Die Bautechnik jener Zeit kannte noch keine ähnlichen Konstruktionen. Der Projektant empfahl, sie aus einem konischen und einem sphärischen Teil mit einem Durchmesser von 22,15 m herzustellen. Auf diese Weise schuf er eine haltbare, leichte und billige Kuppel. Für den Bau wurden 24 gußeiserne Rippen verwendet, die im Fundament ein Auflager hatten. Der Bau der Kuppel wurde im Jahre 1842 beendet.

Diese Etappe der technischen Entwicklung hinterließ

auch auf dem jetzigen Gebiet der DDR zahlreiche Spuren. Der in den Jahren 1853/54 errichtete, 28 m hohe Aussichtsturm auf dem Löbauer Berg besteht z. B. aus Gußeisen. Die Teile mit einer Gesamtmasse von 70 t wurden im Bernsdorfer Eisenwerk gegossen. Eine gelungene Konstruktion ist auch die gußeiserne Wendeltreppe im Jagdschloß Granitz bei Binz auf Rügen. Aber auch im täglichen Leben trifft man auf viele unscheinbare Erzeugnisse aus jener Zeit mit schönen Details, wie Brückengeländer und Gitter aus Gußeisen, gußeiserne Kandelaber, Gartenbänke u. a.

Der Eiffelturm

Das hundertjährige Jubiläum der Französischen Revolution von 1789 sollte mit einer Weltausstellung in Paris gefeiert werden. Im Jahre 1885 wurde ein Wettbewerb für das Projekt eines Baues ausgeschrieben, der das



Eiffelturm
erbaut
1887 bis 1889
Höhe 326 m
Masse 7000 t
Nieten
2 500 000 Stück

Emblem für die gesamte Ausstellung sein sollte. Die Jury erhielt 700 Projekte. Davon blieben nur 18 in der engeren Wahl.

Das kühnste Projekt, eine grandiose Anlage in Form eines metallischen Turms von 300 m Höhe, stellte der Ingenieur Gustav Eiffel (1832 bis 1923) vor. Das Projekt wurde zunächst als nichtrealisierbar, nutzlos und unvernünftig bezeichnet. Zu dieser Zeit hatte Eiffel bereits Erfahrungen mit Stahlkonstruktionen beim Bau von Brücken, Viadukten und anderen Anlagen gesammelt. Er wurde der »König der metallischen Armaturen« genannt. Eiffel bestand auf seinem Projekt und bewies seine Realität.

Der metallische Turm wurde vom Konstrukteur als Symbol des 19. Jahrhunderts – des Jahrhunderts der Eisenbrücken, Eisenbahnen und Hochöfen – deklariert. An diesem Projekt arbeiteten im Büro von Eiffel 400 Mitarbeiter.

Ende Januar 1887 begannen auf dem Marsfeld die Erdarbeiten zum Bau des Turmfundaments. Das war kein gewöhnlicher Bau. Er wurde unter dem Schutz der Polizei ausgeführt. Eine Menschenmenge erzürnter Pariser kam zum Marsfeld, um ihrer Empörung Ausdruck zu verleihen. Diese waren der Ansicht, daß der Turm das Bild der berühmten Stadt schänden würde. Vierzig führende Vertreter der französischen Intelligenz traten in der Presse mit Protestbriefen auf. Zu den empörten Unterzeichnern gehörten der Komponist Gounod, die Schriftsteller Guy de Maupassant, Alexandre Dumas und andere.

Eiffel hatte aber auch Befürworter. Der Schriftsteller Emile Zola billigte und unterstützte den Bau des gold-silbrigen Eiffelturms. Dabei wuchs der Turm. Täglich wurde elf bis zwölf Stunden gearbeitet. Hier wurden zum ersten Male auch technische Neuheiten eingeführt. Die meisten Turmteile wurden in den Betrieben hergestellt und mit Hilfe von Dampfkränen, die auf verschiedenen Ebenen standen, montiert. So wurden die Teile von Kran zu Kran übergeben und gelangten höher und höher. Außengerüste wurden nicht verwendet. Der Bau dauerte zwei Jahre, zwei Monate und zwei Tage.

Nach seiner Fertigstellung war der Turm eine kolossale Metallkonstruktion von 300 m Höhe (jetzige Höhe mit Aufbauten 326 m). Für seine Errichtung waren 15 000 Stahlteile und 2,5 Millionen Schrauben erforderlich. Seine Masse beträgt 7 500 t, davon entfallen 7 000 t auf den metallischen Teil. Er wurde so fest gebaut, daß die Schwankungen des Turmoberteils während eines starken Sturms 15 cm nicht überschreiten.

Am 15. Mai 1889 um 11.30 Uhr wurde der Turm für den Publikumsverkehr freigegeben. Die Hoffnungen Eiffels erfüllten sich in vollem Umfange. Die Anlage eroberte sich die Herzen der Pariser Bevölkerung. Der Turm als Symbol Frankreichs schmückte die ersten Seiten eines Reiseführers, offizielle Dokumente, Briefmarken und Ansichtskarten.

Der Eiffelturm war eine so kühne Ingenieurleistung, daß viele Techniker jener Zeit ihn nicht ernstnahmen. Einer von ihnen schrieb: »Der Eiffelturm stellt als Idee eine spekulative Kapriole der Industrie dar.«

Der Turm wurde zu Reklamezwecken gebaut. Als die Ausstellung ihre Pforten schloß, deckten die Einnahmen für den Eintritt alle Ausgaben für den Bau, die 5 Millionen France betragen. Seine Errichtung ist jedoch ein beredtes Zeugnis der Leistungsfähigkeit und Organisiertheit des Bauwesens. In der Geschichte der Bautechnik hat diese Metallkonstruktion einen festen Platz.

Der Turm bleibt nach wie vor eines der kühnsten und progressivsten Beispiele für das Schöpfertum von Ingenieuren. Auch heute ruft er durch seine Höhe, seine klare Linienführung in der Konstruktion und seine aufstrebende Silhouette einen bleibenden Eindruck hervor.

In den ersten Jahren hatte der Turm keinerlei praktische Bedeutung. Mit der Entwicklung der Rundfunk- und Fernsehtechnik wandelte er sich in eine ausgezeichnete Antenne um. Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts erfolgte von ihm aus die erste Radioübertragung.

Im Jahre 1909 gab es Versuche, den Turm zu demontieren, er blieb dennoch stehen. Während des ersten Weltkrieges konnten durch die Antenne auf dem Turm wichtige Nachrichten des Feindes abgehört werden. Sie trugen unter anderem zum Sieg in der Marne-Schlacht bei. Paris hatte seinen Turm gerettet, nun rettete der Turm Paris.

Der Sender »Eiffelturm« übertrug 1922 sein erstes Konzert. Drei Jahre später führte hier E. Belen seine ersten Fensehversuche durch.

Amerikanische Zeitungen berichteten 1928, daß der Turm völlig durchgerostet sei und umzufallen drohe, deshalb müßte man ihn zerstören. Daraufhin wurde der Turm eingehend untersucht und festgestellt, daß das Gerede über den Rostbefall völlig aus der Luft gegriffen war. Der Turm besitzt eine wahrhaft »eiserne« Gesundheit. Seine Konstruktion wird von einer festen und dichten Farbschicht bedeckt, die den Stahl vor dem

Angriff der Atmosphäre schützt. Der Turm wird alle 7 Jahre gestrichen, wozu 40 t Farbe erforderlich sind.

Es wird allerdings nach noch besseren Überzügen gesucht, da der zunehmende Autoverkehr in Paris Korrosionsvorgänge begünstigt. Einige Skeptiker haben bereits die Meinung ausgesprochen, daß die Turmkonstruktion in etwa 30 Jahren zu Pulver umgewandelt ist. Der Stadtrat erhält Vorschläge, den Turm als Metallschrott zu verkaufen. Die Pariser sind bereit, alle Kräfte für die Erhaltung dieses einmaligen Bauwerkes zu mobilisieren. Zur Erforschung der Korrosion werden die allerneuesten Methoden und Geräte eingesetzt. Der Turm wird mit den besten Farben gestrichen. Große Hoffnungen setzt man auf Überzüge aus Polymeren.

Der Turm lebt weiter. Jetzt befinden sich auf seiner Spitze Rundfunk- und Fernsehantennen, Projektoren, meteorologische Instrumente sowie Meßgeräte für die Radioaktivität und die Verschmutzung der Atmosphäre. Der Eiffelturm ist eines der berühmtesten Baudenkmäler für die Anwendung des Eisens als Konstruktionswerkstoff. Wie die französischen Fachleute bestätigten, hat er einen ausgezeichneten Zustand und kann nochmals 100 Jahre überdauern.

Wolkenkratzer

Die schmiedeeisernen Tragkonstruktionen der Gebäude der Weltausstellung in Philadelphia 1876 leiteten in den USA die Epoche der Stahlkonstruktionen im Bauwesen ein. 1883 wurde in Chicago erstmalig ein Gebäude in vollständiger Stahlkonstruktion errichtet, 1886 entstand mit einem 14stöckigen Gebäude der erste »Wolkenkratzer«. Der Eiffelturm überragte alle bisherigen Bauwerke um fast das Doppelte. Die bei seinem Bau gesammelten Erfahrungen wurden bei der Errichtung der amerikanischen Wolkenkratzer genutzt. Im Geschäftsviertel von New York entstanden Gebäude ähnlicher Abmessungen.

Den ersten Platz unter den Wolkenkratzern nahm lange Zeit das 318 m hohe »Chrysler Building« ein. Es mußte ihn 1931 abgeben an das »Empire State Building«. Die »Große Lady von Manhattan«, wie die New Yorker diesen neuen Wolkenkratzer scherhaft nennen, nimmt ein ganzes Stadtviertel ein. Er weist, einschließlich der ihn krönenden Rundfunk- und Fernsehantennen, eine Gesamthöhe von 381 m auf. Unter Berücksichtigung des Abbruches eines alten 15stöckigen Hauses dauerte sein Bau insgesamt 19 Monate. Die



Bau von Wolkenkratzern

Montage des Stahlgerütes mit 60000 t Masse dauerte nur 6 Monate. Am 1. Mai 1931, dem Tag der feierlichen Einweihung dieses Gebäudes, brachte der damalige Präsident der USA Hoover durch einen Knopfdruck in Washington alle Lampen des »Empire State Building« zum Brennen und wandelte es in eine gigantische leuchtende Säule mit einer Höhe von 102 Etagen um.

Das Gebäude wurde während der Weltwirtschaftskrise gebaut, erst 1942 waren für alle Räume Pächter gefunden. Während des Krieges erhielt die »Große Lady« eine »Kriegsverwundung«, denn in Höhe der 79. Etage flog ein amerikanischer Bomber dagegen.

Nach dem Krieg wechselte die »Große Lady« mehrmals den Besitzer und wurde mit jedem Mal teurer. Der Bau des Wolkenkratzers kostete 47 Millionen Dollar. Das letzte Mal wurde er für 100 Millionen Dollar verkauft.

Heute nimmt das »Empire State Building« nur noch den vierten Platz unter den Wolkenkratzern ein. Das Prestigestreben ist die vorwärtsdrängende Kraft der neuen Epoche des »Höhendramas« der amerikanischen Städte. Zu Beginn der 70er Jahre entfaltete sich ein neuer Wettlauf der superhohen Bauwerke.

Im Dezember 1970 begann der Bau des ersten der zwei 110geschossigen Türme des Welthandelszentrums in New York. In beiden Gebäuden können sich gleichzeitig bis zu 130 000 Personen aufhalten. Ihre Höhe von 411 m blieb nicht lange Rekord.

Der Wolkenkratzer mit 110 Etagen »Sears toyer«, der 1971 bis 1973 in Chikago gebaut wurde, erreicht eine Höhe von 442 m. In der 103. Etage (415 m) befindet sich eine Aussichtsplattform. Von dort kann man das Bauwerk bewundern. Es hat den Anschein, als ob das ganze Gebäude aus quadratischen, vertikal aufgestellten Säulen besteht. Jede von ihnen ist eine feste, starre Konstruktion und stellt selbst ein Einzelgebäude mit einer Seitenlänge von etwa 23 m dar. Neun miteinander verbundene quadratische Säulen bilden den unteren Teil des Gebäudes.

Durch ein solches Bauprinzip wurde eine Stahleinsparung von etwa 10 Millionen Dollar erzielt. Die Architekten begrenzten die Höhe der 9 Säulen des unteren Teils auf 50 Etagen. Zwei weitere Säulen enden mit der 66. Etage. Die zwei folgenden in der Höhe der 89. Etage. Bis zur 110. Etage gehen nur zwei Säulen.

Damit erhielt man eine stufenförmige Silhouette des Turms.

Die amerikanischen Städteplaner sind um das »Wolkenkratzerfieber« besorgt. Im New Yorker Stadt-

teil Manhattan sind viele baufällige Häuser abgetragen worden, und an ihre Stelle bauen verschiedene Firmen mehrere 50- bis 80geschossige Wolkenkratzer, die sich in unterschiedlichen Fertigungsstadien befinden.

Die Baufachleute bestätigen, daß die Wolkenkratzer zu einer Überfüllung der anliegenden Straßen und zu einer übermäßigen Bevölkerungsdichte führen. Am Fuß dieser gigantischen Gebäude weht ein starker Wind, der die Fußgänger in den Nachbarstraßen oft belästigt. Die Flugverbindung wird durch die Wolkenkratzer regelrecht gestört, der Vogelflug behindert und die Fernsehübertragungen negativ beeinflußt. Sehr gefährlich sind Brände in ihnen.

Der Streit über die Wolkenkratzer wird auch in den anderen Ländern geführt. In Tokio entstand 1968 der erste Wolkenkratzer. Bis heute schießen die hohen Gebäude in der japanischen Hauptstadt wie Pilze aus der Erde, unwahrscheinlich schnell und ohne jede Ordnung. Manchmal bedecken 2 bis 3 Wolkenkratzer die Sonne für ein ganzes Viertel.

Den ersten Wolkenkratzer im tropischen Afrika will man in der Hauptstadt von Zaire, in Kinshasa, bauen. Das Gebäude mit 40 Etagen wird eine Höhe von 146 m erreichen. In der letzten Etage wird sich ein Schwimmbassin befinden.

Auch der Eiffelturm erhielt im Jahre 1973 einen Gegenspieler. Auf dem Montparnasse wurde ein 209 m hohes Gebäude errichtet, das in ein glitzerndes Kleid aus Glas und Stahl gehüllt ist. Der Bau dieses 58geschossigen Turms wurde von vielen Parisern mit Empörung aufgenommen. Sie sind an die klassischen Konturen ihrer Heimatstadt gewöhnt. »Der Montparnasse, das traditionelle Viertel der Künstler und Poeten, hat seine Seele verloren«, klagte eine Zeitung.

Die Mehrzahl der Baufachleute vertritt die Meinung, daß es praktisch sinnlos ist, Gebäude mit einer Höhe über 50 bis 60 Etagen zu errichten. Sie sind unrentabel. Und dabei wird über die Menschen, die im Schatten der Wolkenkratzer leben müssen, noch gar nicht einmal gesprochen.

Die Ostankinower Nadel

Hohe, turmähnliche Bauwerke haben unterschiedliche Aufgaben, darunter auch ingenieurtechnische, so zum Beispiel ihre Verwendung als Rundfunk- und Fernsehturm. Zu den überzeugenden Beispielen dafür zählt außer dem Eiffelturm der stählerne Sendeturm des Ingenieurs W. G. Schuchow in Moskau (1921; 148 m

Höhe). Schuchow schuf eine einmalige, einfache und stahlsparende Netzkonstruktion, ein »Spinngewebe« aus Stahl.

Ein dem Eiffelturm ähnlicher Turm entstand 1958 in Tokio. Seine Höhe beträgt 333 m, und die Masse der Stahlkonstruktion liegt durch die Verwendung höherfester Stähle bei nur 4 000 t. Er scheint durchsichtig zu sein, da die heutigen Stähle fester und ihre Träger dünner sind als zur Zeit Eiffels. Der Schnellift fährt in einer Minute zur ersten Plattform in 150 m Höhe. Anschließend kann man auf schönen Eisentreppen noch höher gelangen.

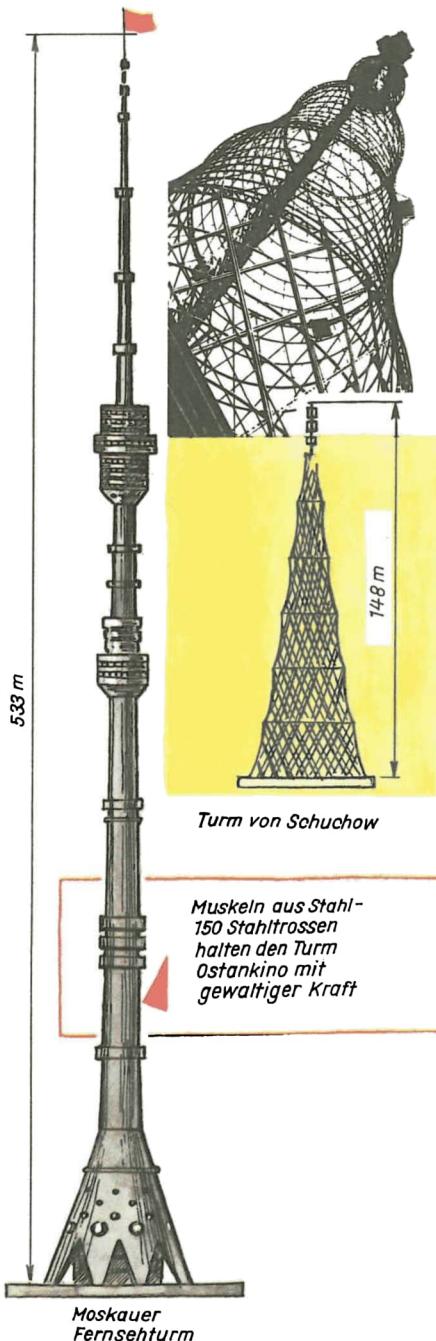
Eine der Sehenswürdigkeiten Berlins, der Hauptstadt der DDR, ist der 365 m hohe Fernsehturm. Zwei Schnelllifte befördern die »Liebhaber großer Höhen« in eine große Kugel aus nichtrostendem Stahl und Glas. Hier befinden sich in einer Höhe von 203 m eine Aussichtsplattform und ein Café mit 200 Plätzen. Die Gesamtmasse des Turms beträgt 26 000 t. Allein für die Kugel mit der Plattform und dem Café wurden 600 t Stahl verwendet.

In Leningrad erhebt sich ein 315 m hoher Fernsehturm aus Metall. Er besteht aus einem großen zylindrischen Schaft, in dem zwei Schnelllifte verkehren. Das Bemerkenswerteste an dem Turm ist, daß er um das 6fache weniger als der Eiffelturm und das 3fache weniger als der Tokioter Turm wiegt, obgleich alle drei Türme etwa gleich hoch sind. Eine derartige Masseverringerung konnte durch den Einsatz von Schweißkonstruktionen und Rohrelementen erreicht werden. Das Wichtigste dabei ist der besondere Aufbau des Turmschaftes, der in Form einer gitterförmigen, gekrüppelten Pyramide aus Stahlrohren gefertigt wurde.

Im Jahr 1967 übernahm die »Ostankinower Nadel« mit einer Gesamthöhe von 533 m die Führung unter den hohen Bauwerken. Die Masse dieses Fernsehturms übersteigt 32 000 t, sein Durchmesser beträgt am Fuß 63 m, an der Spitze 74 cm. Die Konstruktion dieses Riesen unter den hohen Bauwerken ist ungewöhnlich.

Der Turm erhebt sich auf einem monolithischen ringförmigen Fundament von 9,5 m Breite, 3 m Höhe und einem Außendurchmesser von 74 m. Das Fundament besteht aus Spannbeton. Seine Armierung übernehmen 14 Stahlbündel. Jedes Bündel besteht aus 24 Stahldrähten mit je 5 mm Dicke. Die Bündel wurden hydraulisch mit einer Zugkraft von 60 t vorgespannt. Das Fundament gewährleistet eine 6fache Kippsicherheit des Turmes.

Wie »Stahlmuskeln« halten 150 Seile mit einem



Durchmesser von 38 mm den Ostankinower Turm mit ungeheurer Kraft. Die Hauptaufgabe der Stahlseile ist die Verringerung der Deformation bei Windbelastung und einseitiger Sonneneinstrahlung. Deshalb wurden die Seile 50 mm von der Innenoberfläche des Turmschaftes entfernt angebracht. Jedes Seil ist aus 269 Drähten mit je 1,8 mm Dicke geflochten und mit einer Zugkraft von 1200 kN vorgespannt.

An die Eisenbetonkonstruktion des Turmes schließen sich mehrere metallische Antennen an, ihre Gesamthöhe beträgt 148 m, ihre Masse über 300 t. Sie sind in Form von Stahlrohren ausgeführt. Für die Wartung der Antennen verwendet man bis 470 m Höhe einen Spezialaufzug. Zur Untersuchung und eventuellen Demontage der Vibratoren und für das periodische Streichen der Antennenstahlkonstruktion sind 6 Plattformen mit Geländern vorhanden, an die die Malergerüste angehängt werden können.

In 337 m Höhe befindet sich ein zweigeschossiges Restaurant »Siebenter Himmel« und eine Aussichtsplattform. Von dort können 400 Personen gleichzeitig die Hauptstadt der UdSSR betrachten. Das Restaurant dreht sich in einer Stunde einmal um seine Achse. Den Besuchern stehen 4 Schnellaufzüge zur Verfügung, die in 1,5 min die Aussichtsplattform und das Restaurant erreichen. Das Kollektiv der Projektanten und Erbauer des Turmes wurde 1970 mit dem Leninpreis ausgezeichnet.

Mit der Entwicklung von Rundfunk und Fernsehen wächst die Zahl der »Höhenrekorde«. Die höchsten Sendemasten der Welt sind der Mast Pharao in den USA (628 m) und der Sendemast des Rundfunkzentrums der VR Polen in Konstantynow (646 m). Der polnische Antennenmast ist aus 86 Gliedern aufgebaut und hat eine Gesamtmasse von 420 t. Die Glieder bestehen aus Stahlrohren mit 245 und 133 mm Querschnitt und wechselnder Wanddicke. Der Mast stützt sich in einem Punkt gegen einen Isolator mit riesigen Abmessungen und wird von mehreren Stahlseilen gehalten. Im Inneren gibt es Treppen, Lasten- und Personenaufzug.

Stählerne Inseln

Unter dem Meeresboden fanden die Geologen große Erdölvorräte. Sie werden im Mexikanischen Meerbusen, in der Karibischen See, an den Ufern Südamerikas und Alaskas gefördert. Dort stehen die Bohrtürme am Ufer, durch schräg ausgeführte Bohrlöcher wird das Erdöl unter dem Meeresboden gefördert. In der UdSSR

entstanden Erdölgewinnungsanlagen unmittelbar im Meer. Das sind die in der ganzen Welt bekannten Neftjanie Kameni (Erdölfelsen) im Kaspischen Meer, etwa 40 km vor der Apscheroner Halbinsel.

Am 17. Juni 1980 wurde das 30jährige Bestehen der Neftjanie Kameni gefeiert. Vor 30 Jahren, als die ersten Schürfarbeiten begannen, gab es dort nur schwarze Felsen und Reste von zerstörten Schiffen. Heute sind die Neftjanie Kameni ein bekannter Industriebetrieb, der mit mehr als 300 km Länge auf Pfählen und einzelnen künstlichen Inseln liegt. Hier sind hunderte Bohrlöcher, Reservetanks, Sportplätze, Geschäfte, eine Schule, ein Kulturhaus und die ersten mehrtägigen Wohnhäuser aus Stein errichtet worden.

In den ersten 25 Jahren gingen die Bohrlöcher nicht über eine Tiefe von 2000 m hinaus. Inzwischen ist man bei einer Tiefe von 4200 m angelangt. Dort befinden sich nach Meinung der Fachleute die Erdöl enthaltenden mesolithischen Ablagerungen.

Stählerne Inseln entstanden auch in anderen Ländern. Von künstlichen, auf Pfählen ruhenden oder schwimmenden Inseln, wie in Neftjanie Kameni im Kaspischen Meer, werden Erdölbohrungen auch in vielen Meeren durchgeführt.

In den vergangenen 15 bis 20 Jahren ist ein kontinuierliches Wachsen der Erdölindustrie auf dem Meer zu beobachten. Schon 45 Länder der Erde führen Arbeiten auf dem offenen Meer durch, wozu mehr als 200 schwimmende Bohrinseln genutzt werden. Etwa

20 % der Weltförderung an Erdöl stammen aus marinen Lagerstätten.

Immer größere Anlagen für die Förderung von Erdöl aus dem Meer entstehen. Die japanische Firma Mitsubishi baute eine Bohrplattform von 120 m × 80 m, die sich 40 m über dem Meeresspiegel erhebt.

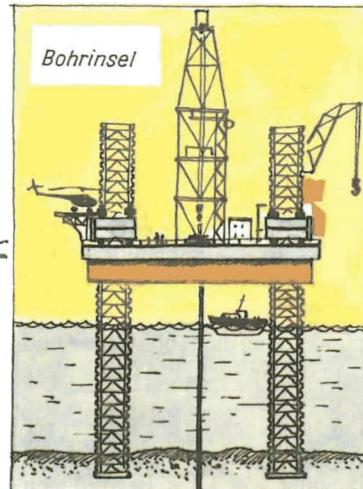
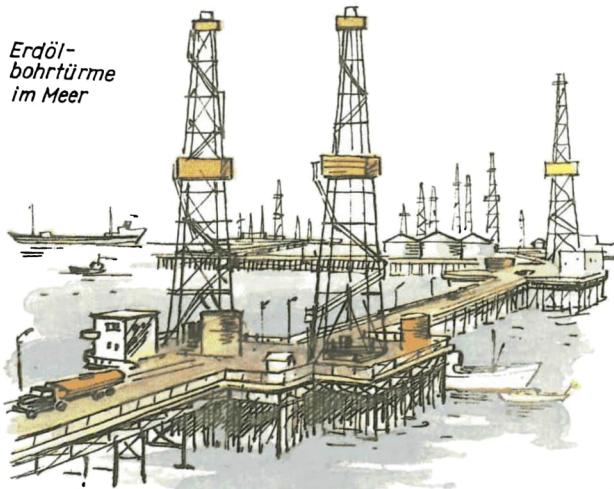
In der norwegischen Stadt Stavanger wurde eine Plattform ausgerüstet, die mehr als 40 Bohrlöcher bedienen kann. Die Masse der Plattform beträgt 200 000 t, ihre Höhe erreicht die eines 50geschossigen Gebäudes.

Die finnische Firma Riuma-Ripola entwickelte eine Bohrplattform mit einer Wasserverdrängung von 7000 bis 15 000 t, die das Arbeiten in 200 bis 1 000 m Tiefe und das Bohren von Löchern mit 8 bis 10 km Tiefe erlaubt. Die schwimmenden Inseln besitzen eine Arbeitsplattform von 100 m × 100 m.

1977 existierten in der Welt mehr als 250 Bohrinseln. Obgleich jede von ihnen riesige Summen kostet, erhöht sich ihre Anzahl weiter. Es wird angenommen, daß der Anteil der Erdölförderung aus dem Meer im Jahre 2000 etwa 50 % der Weltförderung erreicht.

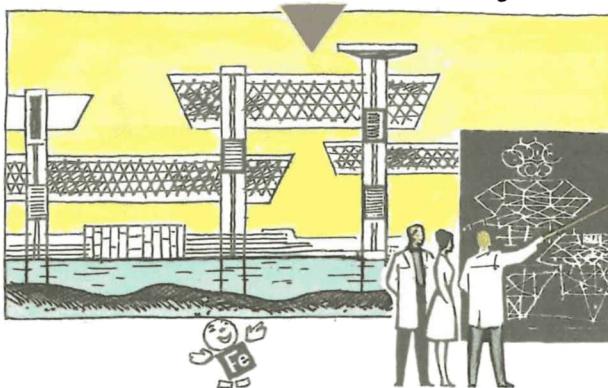
Kühne Projekte

Die Eroberung des Ozeans eröffnet neue Einsatzgebiete für Stähle. Riesige Mengen werden für die Erdöl- und Erdgasgewinnung aus dem Meer, für die Förderung der Bodenschätze des Meeres, für die

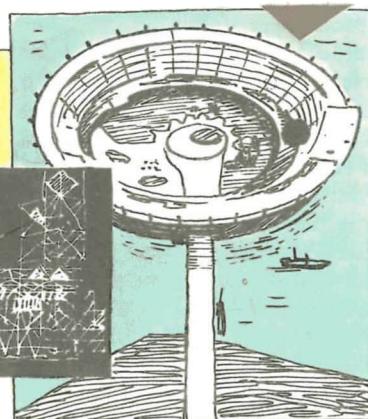


Kühne Projekte

„Schwebendes System“ - Räumliche Struktur aus vertikalen Stützen und zwischen ihnen angeordneten mehrstöckigen Gebäuden. Architekt Kenzo Tange



Künstliche Insel nach einem Projekt von Paul Mimon



Fischereiwirtschaft, für den Bau von Entsalzungsanlagen und die Energieerzeugung aus dem Meer, für das Anschwemmen von Land, für den Bau unterschiedlicher Schwimmeinrichtungen, Anlegestellen, Unterwassertunnel und für Objekte des Seetourismus, aber auch für die Herstellung von Schiffen und Ausrüstungen des Fischerei- und Seeverkehrswesens eingesetzt. Der Ozean ist ein neuer »Markt« für den Stahl. Der Stahlbedarf für die Eroberung des Ozeans beträgt allein in Japan in den nächsten Jahren etwa 50 Millionen Tonnen.

Es sind einige kühne Projekte entstanden, deren Realisierung nur durch die Anwendung von Stahlkonstruktionen gigantischer Abmessungen möglich ist. Immer häufiger werden unterschiedliche Projekte von schwimmenden Städten in Japan, England und den USA vorgeschlagen.

Die erste schwimmende Stadt wurde von amerikanischen Ingenieuren projektiert. Die künstliche Insel wird an 30 Schwimmern aus Beton mit 70 m Höhe und 27 m Durchmesser befestigt. In den Schwimmern befinden sich ein Kraftwerk, Tanks mit Süßwasser und Brennstoff sowie eine Müllverbrennungsanlage. Auf der oberen Plattform befinden sich die Wohnhäuser und die Gebäude der Banken und Behörden. Ein Landeplatz für Hubschrauber ist vorgesehen.

Eine Schiffbaufirma in Japan schlug ein Projekt für Schwimmseln in Form einer riesigen Stahlplattform mit einer Wasserverdrängung von 1 bis 10 Millionen

Tonnen vor. Auf ihnen können Werke und Fabriken gebaut werden.

Englische und holländische Firmen entwickelten Konstruktionen für schwimmende Erdöllager und Beschickungseinrichtungen für Tanker. Die Insel besteht aus drei übereinanderliegenden zylindrischen Teilen. Der untere Teil mit 98 m Höhe und 29,3 m Durchmesser ist für die Aufbewahrung von Erdölprodukten vorgesehen. Im Mittelteil sind die Pumpen und andere Ausrüstungen angeordnet, während im Oberteil Wohnstätten, Tauchausrüstungen, Steuervorrichtungen und Ankereinrichtungen untergebracht sind.

Der Transport zwischen Tokio und Osaka wuchs mit solch großem Tempo, daß vor kurzem ein Projekt zur Verbindung beider Stadtgiganten durch ein Förderband vorgelegt wurde. Die »Bandtrasse« ist 250 km lang. Sie wird rund um die Uhr arbeiten und mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h Lasten in Containern von 600 kg Masse befördern. Vorversuche mit solchen Förderbändern werden zur Zeit an einem Modell durchgeführt.

Der Einsatz von Förderbändern zur Lösung von Verkehrsproblemen ist nicht neu. Der »rollende Bürgersteig« für die Beförderung von Passagieren gehört auf den großen internationalen Flughäfen vieler Länder zum alltäglichen Bild, so beispielsweise in Leningrad, Amsterdam und Kopenhagen. Die Passagiere werden in überdachten und klimatisierten Gängen auf einem

breiten Band mit einer Geschwindigkeit von etwa 0,8 bis 1 m/s von der Zentralhalle zu den Startplätzen der Flugzeuge befördert. Die Länge dieser »rollenden Wege« liegt mit 150 bis 200 m allerdings um Größenordnungen unter dem japanischen Projekt. Das gleiche gilt für die anderen technischen Daten.

Der belgische Ingenieur Fevrier entwickelte ein Projekt für eine Autobahn, die als Hochstraße auf einer Stahlkonstruktion errichtet wird. Er schlägt dafür die Trassen der Eisenbahnlinien vor. Über den Gleisen soll in der ersten Etage eine moderne Chaussee gebaut werden, die auf einer Stahlkonstruktion ruht. Der Schienenzugverkehr wird dadurch nicht beeinträchtigt. Der Bau einer solchen Bahn ist nach Meinung des Autors um das Drei- bis Vierfache schneller zu realisieren als der einer herkömmlichen Autobahn.

Noch eines von diesen interessanten Projekten, und zwar auf dem Gebiet der Luftfahrt, sei erwähnt. Die englische Firma John West Design Association baute das Modell eines Flugapparates in Form einer »fliegenden Untertasse«. Dieses Modell von 10 m Durchmesser hat, auf den Umfang verteilt, mehrere Motoren. Das Innere der Scheibe besteht aus einem mit Helium gefüllten Plastballon. Bei Probeflügen wurde der Flugapparat von der Erde aus über Funk gesteuert. Bei erfolgreicher Prüfung hat die Firma die Absicht, eine »fliegende Untertasse« mit 230 m Durchmesser und 800 t Masse für den kommerziellen Gebrauch zu bauen. Die Konstrukteure sind der Meinung, daß dieser Flugapparat eine Geschwindigkeit von 160 km/h erreichen wird. Er kann 1600 Personen und 400 t Last aufnehmen.

Der Stahl wird nach wie vor bei der Verwirklichung kühner Projekte der Gegenwart und Zukunft eine wichtige Rolle spielen.

Stahl und Eisen auf den Weltausstellungen

Ab der Mitte des 19. Jahrhunderts wurden Weltausstellungen durchgeführt, an denen sich viele Länder beteiligten. Der Weg von der ersten Weltausstellung (1851) in London bis zur Ausstellung 1975 auf Okinawa ist eine Widerspiegelung des Fortschritts, den die Menschheit in den unterschiedlichsten Schaffenssphären, darunter der Metallurgie, erreicht hat.

Für die Weltausstellung 1851 wurde das Schloß aus Glas und Eisen, der »Kristallpalast« gebaut. Die interessantesten Exponate waren Maschinen. Damals begann die Periode des Maschinenbaues. Der Stahlbedarf stieg kontinuierlich. Die Leistungsfähigkeit der Stahlindustrie wurde an der Größe der abgegossenen Blöcke aus Tiegelstahl gemessen. Stahlproduzenten aus Sheffield stellten einen Block mit einer Masse von 2 700 englischen Pfund (1 080 kg) aus. Im letzten Augenblick wurde für die Ausstellung ein Monsterblock angeliefert. Hersteller des sensationellen Blockes war der damals noch relativ unbekannte deutsche Industrielle Alfred Krupp. Den 2 150 kg schweren Block erzeugte er durch den gleichzeitigen Abguß von Stahl aus 98 Tiegeln. Wie die Presse berichtete, wurde dieser Stahlblock von den Sheffielder Stahlwerkern wie ein sehr großer Brillant bestaunt.

Auf der im Jahre 1855 eröffneten Weltausstellung in Paris wurden 21 000 Exponate vorgestellt. In der metallurgischen Abteilung sorgte Krupp, ein jetzt schon bekannter Industrieller, für eine neue Sensation. Als die Mitglieder der Jury die Stände abgingen, durchschlug plötzlich sein 4,8 t schwerer Stahlblock den Holzboden des Pavillons, stürzte in den Keller und wandelte alles, was sich dort befand, in eine undefinierbare Masse um. Diejenigen, die Krupp kannten, witterten darin einen Reklametrick. Wenn das wahr ist, so ist ihm dieser Trick gelungen. Fachleute, die Bruchstücke des Blockes untersuchten, waren von der Qualität des Stahles begeistert. Krupp stellte auch Kanonen aus. Er zeigte seine 12-Pfund-Stahlkanone (Masse der Sprengladung), die nach 3 000 Schüssen nicht einen einzigen Kratzer im Lauf hatte.

Sehr zum Ärger Krupps löste jedoch noch eine weitere deutsche Erfindung bei der Jury Begeisterung aus. Eine junge Aktiengesellschaft, der Bochumer Verein für Bergbau und Gußstahlfabrikation, zeigte auf der Ausstellung Glocken, die aus flüssigem Stahl abgegossen waren. Jacob Mayer, dem technischen Direktor des neuen Betriebes, war es nach langjährigen Versuchen als erstem gelungen, Anfang der fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts eine Technologie zur Herstellung von Stahlformguß zu entwickeln. Bis zu diesem Zeitpunkt war man nicht in der Lage, aus schmiedbarem Eisen Gußstücke herzustellen. Gußeisen war das Metall mit dem höchsten Schmelzpunkt, das in den Gießereien verarbeitet wurde. Krupp erklärte, daß die ausgestellten Glocken Fälschungen seien und aus Grauguß beständen. Er verlangte einen Nachweis der

Schmiedbarkeit des Materials durch Zerstörung einer Glocke und Schmiedeversuche an den Bruchstücken. Die vor Zeugen ausgeführten Versuche ergaben, daß der für die Herstellung der Glocken verwendete Werkstoff schmiedbar war. Dem Bochumer Verein wurde eine Goldmedaille verliehen. Jacob Mayer erhielt aus der Hand Napoleon III. das Kreuz der Ehrenlegion. Dieser Kampf »Deutscher gegen Deutsche« zeigt, mit welcher Härte und Rücksichtslosigkeit Krupp den Konkurrenzkampf führte.

Nicht eine der industriellen Abteilungen der Londenner Weltausstellung von 1862 stellte so viel Neuigkeiten vor, wie die Abteilung der Stahlindustrie.

Auf der Ausstellung wurden zum ersten Male Panzerplatten gezeigt, obwohl der Bau von Panzerschiffen erst begonnen hatte. Der englische Rüstungsproduzent Lord Armstrong stellte seine neuen Geschütze aus, die allgemeines Erstaunen hervorriefen. Der englische Ingenieur und Erfinder Henry Bessemer zeigte eine breite Palette von aus seinem Stahl gefertigten Erzeugnissen. Neben metallurgischen Produkten, wie Stahl und Draht, wurden Fertigerzeugnisse, angefangen vom Rasiermesser über Werkzeuge bis zum Geschützrohr ausgestellt. Bessemer konnte sich neben seinen eigenen Versuchen vor allem auf die erfolgreiche Anwendung seines Verfahrens in Schweden stützen. Die Ausstellung leitete den Siegeszug des Bessemerverfahrens ein.

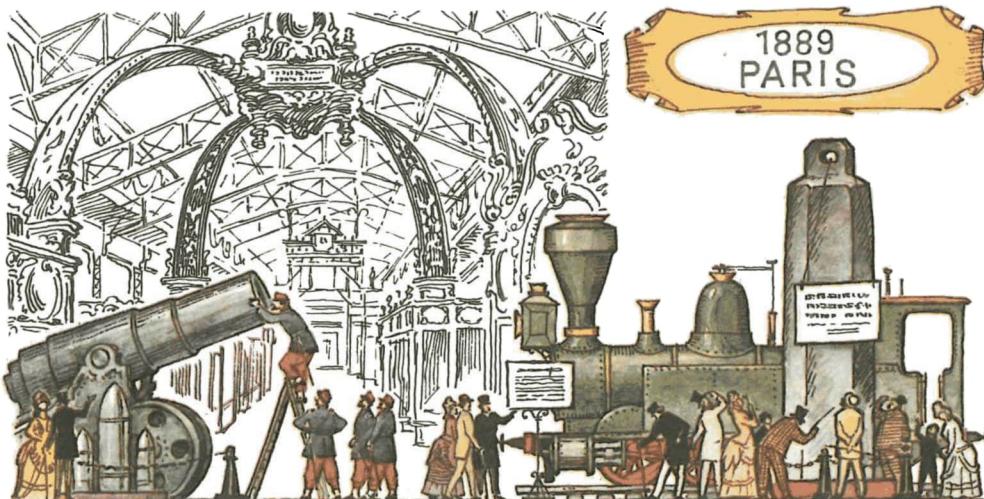
Auch im russischen Pavillon war die Metallurgie sehr gut vertreten. Das beeindruckendste Exponat war ein

Stahlgeschütz mit einem Kaliber von 12 Pfund, das in Slatoust vom Bergingenieur P. M. Obuchow aus einem Block mit 21 Pud und 35 englischen Pfund gefertigt worden war. Das Geschütz wurde auf der Ausstellung mit einer Goldmedaille ausgezeichnet.

Im Jahre 1867 auf der Pariser Weltausstellung stellte Krupp einen 38,4-Tonnen-Block aus. Die vorsichtige Jury drängte auf eine Verstärkung des Bodens. Um eine solche Stahlmenge herzustellen, mußte man in den Öfen nicht weniger als 1500 Tiegel mit einem Fassungsvermögen von etwa 30 kg beheizen und damit nicht weniger als 250 solcher Öfen gleichzeitig arbeiten lassen, die von mindestens 800 Arbeitern bedient wurden. Der Block war für die Herstellung einer Schiffskurbelwelle vorgesehen und an einem Ende achtflächig geschmiedet.

Den großen Blöcken aus Tiegelstahl machten Erzeugnisse Konkurrenz, die mit Hilfe der neuen Verfahren der Massenproduktion von flüssigem Stahl hergestellt waren, dem Bessemer- (1856) und dem Martinverfahren (1864). England zeigte Bauteile aus Bessemerstahl. Die französischen Metallurgen Emile und Pierre Martin stellten Erzeugnisse aus, die nach dem von ihnen entwickelten Verfahren hergestellt waren: Stahlbleche, Bandeisen für Lokomotiven, Gewehrläufe, Lafetten und Gußstücke mit großen Abmessungen. Für die hervorragende Güte ihres Stahles erhielten sie auf der Ausstellung eine Goldmedaille.

Aus Manchester brachte man Draht der ersten Kontidrahtstraße der Welt, konstruiert und gebaut von



George Bedson. Es wurde ein Drahtring mit einer Masse von 126 kg ausgestellt. Der Draht hatte einen Durchmesser von 4,75 mm und war 485 m lang. Erzeugnisse aus Draht nahmen auf der Weltausstellung einen breiten Raum ein. Es wurden auch Kabel, Drahtgewebe, Näh- und Stecknadeln sowie Stahldrähte für die unterschiedlichsten Verwendungszwecke gezeigt.

Die Erzeugnisse der russischen Stahlwerke (Obuchow, Perm und Slatoust) waren hinsichtlich der Qualität nicht schlechter als die aus Kruppstahl. Besondere Beachtung wurde den Panzerplatten des Kamaer Werkes geschenkt, die nach einem Verfahren des russischen Erfinders W. S. Pjatow hergestellt worden waren. Für Kupfer, Eisen und Erze des Nishnje Tagiler Gebiets erhielten die russischen Metallurgen eine Goldmedaille. Alle russischen Exponate bekamen insgesamt 300 Auszeichnungen und 145 Ehrendiplome.

Die Weltausstellung von 1889 in Paris, die zu Ehren des 100. Jahrestages der Französischen Revolution veranstaltet wurde, hatte einen grandiosen Umfang. Auf den Weltausstellungen wurden immer häufiger neue Konstruktionen für Bauwerke vorgestellt, für die man Stahl, Glas und Eisenbeton verwendete. Verbesserte metallische Tragkonstruktionen gestatteten eine wesentliche Vergrößerung der Abmessungen der überdachten Fläche. Die Maschinengalerie, die von F. Diuter unter Mitarbeit des Ingenieurs Kontamen projektiert wurde, zeichnete sich nicht nur durch ein riesiges Hallenschiff von 114 m Breite, 420 m Länge und 45 m Höhe aus, sondern unterstrich auch die ästhetische Wirkung einer Stahlkonstruktion, die man einfach nicht hinter einer Steinfassade verbergen konnte.

Der i-Punkt der Ausstellung war der bekannte Eiffelturm. Zunächst nur zur Demonstration der Errungenschaften der französischen Baukunst und der Darstellung eines aufstrebenden Bauwerkes im Ausstellungsensemble vorgesehen, wurde er zu einem Symbol des »Eisenzitalters«.

Die Metallurgie hatte nach Angaben der Ausstellungsleitung riesige Erfolge. Sie informierte über die neuen Verfahren zur Erzeugung flüssigen Stahles, die seine Massenproduktion bei sinkenden Kosten gestatteten. Damit wurde der Bau solcher Komplexe, wie Eiffelturm und Maschinengalerie, erst möglich.

Neben dem Bessemer- und dem »klassischen« Siemens-Martin-Verfahren hatten das Thomasverfahren und der Siemens-Martin-Ofen mit basischer Auskleidung an Bedeutung gewonnen. Beide Verfahren gestatteten eine Entphosphorung des flüssigen Stahles

und ermöglichen damit die Verhüttung von phosphorthaltigen Eisenerzen. Sie fanden deshalb auf der Ausstellung besondere Beachtung. Das von dem Engländer S. G. Thomas entwickelte Verfahren war die technische Voraussetzung für die rasche Steigerung der Stahlproduktion Deutschlands in den letzten 20 Jahren des vorigen Jahrhunderts.

Der wirtschaftliche Aufschwung Deutschlands wurde durch günstige politische und ökonomische Bedingungen möglich, besonders die Gründung des Deutschen Reichs, die Annexion der Eisenindustriegebiete Elsaß und Lothringen, die französische Kriegskontribution in Höhe von 5 Milliarden Francs und die Errichtung von Schutzzöllen. Die Verhüttung der lothringischen Minette, einem phosphorthaltigen Eisenerz, gestattete die kostengünstige Erzeugung von Thomasroheisen. Nach ersten Versuchen zum Thomasverfahren im Jahre 1879 trat im Minettegebiet eine besonders rasche Steigerung der Stahlproduktion ein. So wurden in Deutschland im Jahre 1881 200 000 t Thomasstahl erzeugt, während es 1899 bereits fast 4 Millionen Tonnen waren. In England lag die Produktion im Jahre 1881 bei 46 000 t, und im Jahre 1899 war lediglich eine Steigerung auf etwas über 500 000 t Thomasstahl zu verzeichnen. Noch vor der Jahrhundertwende mußte das Mutterland der modernen Metallurgie seine führende Rolle in Europa an Deutschland abtreten.

Die Pariser Weltausstellung an der Scheide zweier Jahrhunderte rief besonderes Interesse hervor. Man demonstrierte die Ergebnisse des vergangenen Jahrhunderts.

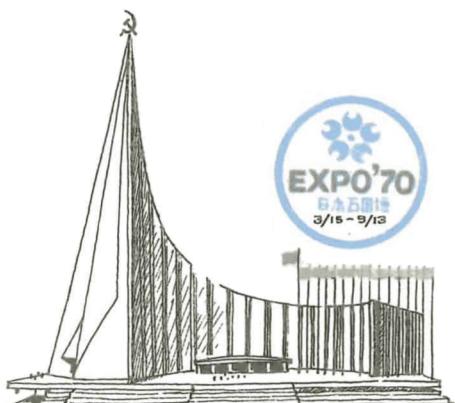
Die Uraler Meister fertigten für die Weltausstellung einen Pavillon aus Gußeisen an, der aus 2000 Einzelteilen bestand. Der fast 5 m hohe Pavillon schien aus gegossenen Spitzen gewebt zu sein. Sie waren durch unterschiedliche Reliefs unterbrochen, die bald phantastische Tiere, Vögel oder Fische, bald aber auch Segelschiffe darstellten. Dieses wundervolle Kunstwerk russischer Gießer eroberte in der Metallabteilung die höchste Auszeichnung, den Grand Prix. Auf dieser Ausstellung wurde auch für den russischen Metallurgen D. K. Tschernow ein feierlicher Empfang gegeben. Tschernow hatte maßgeblichen Anteil an der Schaffung der wissenschaftlichen Grundlagen der Metallkunde.

Von 1851 bis 1975 fanden 40 Weltausstellungen statt. Das Bemerkenswerteste auf den letzten Ausstellungen war der Einsatz von Stahl für den Bau der Ausstellungsbauten.

Die Brüsseler Ausstellung »Expo 58« war dem Beginn des Raumzeitalters und des Einsatzes der Atomenergie für friedliche Zwecke gewidmet. Das Hauptsymbol der Ausstellung, das bekannte Atomium, das in 165milliardenfacher Vergrößerung das Modell des Kristallgitters des Eisens darstellte, schien selbst ein kosmisches Symbol zu sein. Es besteht aus neun Kugeln von 18 m Durchmesser. Davon waren acht Kugeln an den Ecken eines Würfels mit 102 m Kantenlänge angeordnet. Die neunte befindet sich in seinem Mittelpunkt. Der ganze Würfel steht auf einer seiner Ecken. Die Kugeln sind durch Röhren verbunden, in denen Rolltreppen laufen. Bis in die heutigen Tage ist dieses Symbol eine Touristenattraktion geblieben. Hier befindet sich der schnellste Lift Europas. In wenigen Sekunden werden die Besucher auf die oberste Plattform befördert, von der man eine ausgezeichnete Aussicht genießt. Dieses Bauwerk aus Aluminium und Stahl symbolisiert den Sieg des Menschen über die Naturkräfte, über die Kräfte des Atoms. Gleichzeitig ist es eine Ehrenbezeugung für das Eisen.

Der größte Pavillon der »Expo 58« war der sowjetische. Ein allgemein bewundertes Ausstellungsobjekt war das Modell des ersten künstlichen Erdsatelliten, der für viele unerwartet am Vorabend der Eröffnung der Ausstellung gestartet wurde. Außerdem schenkte man neuen Maschinen und Ausrüstungen, den Modellen grandioser Bauplätze und anderen Darstellungen der Schöpferkraft des Sowjetvolkes große Beachtung.

Auf der Ausstellung »Expo 67« in Montreal zeichnete sich die Architektur des sowjetischen Pavillons durch



Sowjetischer Pavillon

Einfachheit, Klarheit und sorgfältige Gestaltung aus. Das Dach des eingeschossigen Pavillons (67 m × 142 m) wurde von zwei Paaren V-förmiger Träger gehalten. Das ermöglichte eine gelungene Gestaltung des Innenraums und gewährleistete eine gute Akustik. Die Tragkonstruktion des Pavillons war aus Stahl. In das Dach, als Basis der Konstruktion, waren die Decken des Erdgeschosses und die Zwischenetagen eingehängt. Die Beanspruchung wurde von vier vertikalen Zugstützen abgefangen. Das Dach und die Decken aus Aluminium sowie die durchgehende Wandverglasung, die mit Hilfe eines Stützgitters möglich wurde, zeugten von einer ausgereiften konstruktiven Lösung.

Der Pavillon der USA hatte die Form einer riesigen zerschnittenen Kugel (3/4-Sphäre). Die Kugel bestand aus einem Skelett von Stahl und Aluminium, belegt mit Millionen kleiner Elemente, die aus durchsichtiger Plaste gefertigt worden waren. Die Höhe des Pavillons betrug 60 m, sein Durchmesser 76 m. Das äußere Skelett wurde aus Rohren mit 88 m Außendurchmesser gefertigt. Die Tragkonstruktion der Wände und des Daches bestand aus Balken, die sich auf 75 cm dicke Rohrsäulen stützten. Die Dachfläche betrug 13 100 m². Die Gesamtlänge der im Skelett verbauten Rohre betrug mehr als 43 km, ihre Masse 600 t.

Auf der Ausstellung »Expo 70« in Osaka dominierte der in eine Höhe von 100 m aufstrebende sowjetische Pavillon. Die vertikale, glatte Fassade stellte ein riesiges rotes Banner dar, das aus Metallblech bestand.

Der Pavillon der USA war ein Bauwerk in ovaler Form (Länge der großen Achse 142 m und der kleinen 83,5 m), das etwas in die Erde eingelassen und mit einer riesigen, sehr stark geneigten elliptischen Kugel aus durchsichtigen Plasten abgedeckt war. Das Plastgitter wurde von einem Stahlskelett getragen.

Die Ausstellung »Expo 75« in Okinawa stand unter dem Motto »Der Ozean und seine Zukunft«. Eines der interessantesten Ausstellungsexponate war der schwimmende Pavillon Japans »Aquapolis«, der Prototyp einer Stadt auf dem Meer. Das ist eine schwimmende, 32 m hohe Stahlinsel mit einer Fläche von 10 000 m² und einer Masse von 16 000 t. Sie ist mit dem Ufer verbunden, kann aber bei schlechtem Wetter unter Wasser tauchen. Von ihrer Galerie hat man einen Ausblick in Neptuns Reich. Die Schlingerbewegungen liegen selbst bei starkem Sturm unter einem Grad. Die »Aquapolis« hat ein geschlossenes System der Lebenshaltung, das die Umwelt überhaupt nicht verschmutzt. Sie bietet 2 400 Personen Unterkunft.

Ein Brief auf Eisen

Das »Birmingham-Journal« in England erhielt vor über 100 Jahren aus der amerikanischen Stadt Pittsburg einen Brief, der auf ein Blatt aus metallischem »Papier« geschrieben war. Er hatte folgenden Wortlaut: »In der Ausgabe Ihrer Zeitschrift vom 1. Oktober 1864 las ich, daß John Brown aus Sheffield ein Eisenblech mit der Dicke von 13,5 Zoll gewalzt hat. Ich nehme an, daß dies das allerdickste Blech ist, das je erzeugt wurde. Im Gegensatz zu ihm schicke ich Ihnen dieses eiserne Blättchen, das im Werk »Sligo« in Pittsburg hergestellt wurde. Ich denke, daß es das allerdünne Muster auf der Welt ist, und rufe ganz England auf, das Eisen noch streckfähiger zu machen. Wenn ich mich nicht irre, ist das der erste Brief, der auf Eisen geschrieben wurde und den Atlantik überquert hat.

John K. Evans«

Bis zu jener Zeit wurde das dünne europäische Eisenblech in einem belgischen Werk erzeugt. Seine Dicke betrug 0,07 Zoll. Das amerikanische Blech des Briefes war nicht dicker als 0,001 Zoll, das heißt etwa 0,025 mm.

Die englischen Metallurgen nahmen den Aufruf von Evans an und fertigten bald noch dünner Bleche aus Eisen. Um ein Paket Bleche mit 1 Zoll Höhe zu erhalten, mußte man 2000 solcher Bleche aufeinander legen. Diese Bleche waren um das Zweifache dünner als die amerikanischen.

Es wurde auch versucht, Stahl für die Erzeugung dünner Bleche und Bänder einzusetzen. Eine führende Stellung auf diesem Gebiet erreichte das schwedische Stahlwerk Sandvik. Gestützt auf die hervorragende Qualität des schwedischen Stahls, stellte es schon 1884 kaltgewalztes Band mit Dicken ab 0,15 mm aufwärts her.

Solch dünne Bleche und Bänder aus Stahl und Eisen sind natürlich nicht zum Briefschreiben bestimmt. Sie werden in den verschiedensten Gebieten des Maschinen- und Gerätebaues sowie der Elektronik eingesetzt. Ein typisches Banderzeugnis aus Stahl ist das Rasierklingenband. Bei der Herstellung dieses Erzeugnisses konnte die schwedische Stahlindustrie ihre führende Stellung behaupten. Die meisten Rasierklingenproduzenten der Welt, auch die der DDR im Eichsfeld, verwenden als Ausgangsmaterial schwedisches Rasierklingenband.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts waren

Schienen das Haupterzeugnis der Walzwerke. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden kaum noch neue Eisenbahnlinien gebaut. Es entstanden andere Einsatzgebiete für den Walzstahl. Die Entwicklung des Maschinenbaus, besonders der Fahrzeugindustrie, des Elektromaschinenbaus und des Schiffbaus, führte zu einem starken Anstieg des Bedarfes an Blechen. Die gewalzten Bleche, besonders die kaltgewalzten, sind eines der ökonomischsten Metallerzeugnisse. Aus ihnen lassen sich sehr leichte Stanz- und Schweißkonstruktionen unterschiedlicher Gestalt herstellen, deren Anwendung anstelle von Gußstücken eine Massenverringerung um 30 bis 50 % bringen kann. Geschweißte Rohre und aus Blechen hergestellte Profile sind im Vergleich zu den warmgewalzten Rohren und Profilen sehr viel dünnwandiger. Der Ersatz der warmgewalzten Erzeugnisse durch geschweißte führt deshalb zu einer Senkung des Stahlverbrauchs um 10 bis 15 %. In vielen Ländern überholte die Produktion von Breitflacherzeugnissen die Produktion von Stahlgußteilen, Formstahl und nahtlosen Rohren.

In den letzten 20 Jahren sank das Verhältnis des Ausstoßes von Gußstücken zu Walzmaterial in den USA von 22 auf 17 % und in der UdSSR von 36 auf 28 %.

Der Anteil von Breitflacherzeugnissen an der Gesamtproduktion von Walzstahl nimmt kontinuierlich zu und erreicht in einigen Ländern 50 %. Das ist auf die Entwicklung der Bauindustrie, des Fahrzeugbaus, der Elektrotechnik, der Konservenindustrie sowie anderer Industriezweige zurückzuführen.

Als Beispiel für die Leistungsfähigkeit der sowjetischen Blechwalzwerker sei die Aufnahme der Produktion eines hochwertigen Stahles für die Herstellung von Lochmasken für Farbfernsehgeräte genannt. Dieser Stahl zeichnet sich durch definierte magnetische und mechanische Eigenschaften sowie ein besonders homogenes Gefüge aus. Neben neuen Anlagen und Fertigungstechnologien mußten deshalb für seine Herstellung auch neue Methoden der Qualitätskontrolle entwickelt werden.

Farbfernsehrohren enthalten einen aus drei verschiedenen Leuchtbodystanzen bestehenden Schirm. Eine farbige Wiedergabe des Bildes erfordert eine eindeutige Zuordnung des Elektronenstrahles zu den betreffenden Stellen des Leuchtschirmes, so daß der gleiche Strahl immer nur eine Lichtart erzeugt. Diese Zuordnung wird durch eine Lochmaske gewährleistet, die den Strahl freigibt, wenn er zum Beispiel eine grüne

leuchtende Stelle des Schirmes trifft. Diese Maske hat einen geringen, genau definierten Abstand vom Bildschirm. Die Anzahl ihrer Löcher entspricht der Anzahl der Bildpunkte des Leuchtschirms, je nach der Größe der Fernsehröhre hat eine Maske ein Lochraster mit 300 000 bis 500 000 Punkten.

Wie werden diese Lochmasken produziert? Wie erhält man dieses superdünne, etwa 60 cm breite Stahlband? Sowjetische Ingenieure und Wissenschaftler unter Leitung von Akademiemitglied A. I. Zelikow schufen dafür eine einmalige Walzanlage, die das Walzen von Stahlband mit großer Genauigkeit ermöglicht.

Für die Erzeugung des Lochmaskenstahles wird im Magnitogorsker Metallurgischen Kombinat eine spezielle Walzstraße verwendet, die sich durch eine hohe Stabilität der Walzparameter auszeichnet. Die neue Technologie garantiert Abweichungen in der Breite von weniger als 1 μm und in der Länge von weniger als 8 μm auf 3 km Länge. Es werden 150 μ dünne Stahlbänder mit minimaler Dickendifferenz hergestellt. Der Blechrand glänzt wie ein Spiegel. Das gesamte Zentrum ist durchlässig. Nur bei sehr sorgfältiger Betrachtung erkennt man, daß das Blech mit einer Vielzahl von Mikroöffnungen durchsetzt ist.

Eine Firma der BRD begann mit der Herstellung von 3 μm dicker Folie. Diese Folie ist dünner als eine solche aus Aluminium, sie ist aber hinsichtlich der Festigkeit nicht schlechter als diese. Kann man noch dünneres Band herstellen?

Im Leningrader Stahlwalzwerk wurde im Jahre 1975 die Produktion von Band aus Präzisionslegierungen mit 1,5 μm Dicke aufgenommen, das ist etwa um das 40fache dünner als ein Menschenhaar. Aus diesem Band werden Teile für Rechenmaschinen gefertigt. Ein solches Band zwischen die Finger genommen, erscheint als ein Stück luftiger Seide, aber nicht wie Metall. Wenn man es zerreißen will, ist dies nicht so einfach. Es erfordert eine große Kraft.

Das Problem des Walzens von superdünnen Bändern lösten die Betriebsingenieure gemeinsam mit den Wissenschaftlern des Allunionsforschungsinstituts für den metallurgischen Maschinenbau und des Zentralen Forschungsinstituts für Schwarzmetallurgie.

Die Walzstraße wird nur von einem Mann bedient. Er ist gleichzeitig Walzer und Wartungsschlosser. Das Aggregat arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie die Anlagen zum Walzen tonnenschwerer Blöcke, hier ist nur alles viel kleiner. Das Ersatzteillager der Straße hat

auf einem normalen Schreibtisch Platz. In sauberen Kästen liegen Walzen mit unterschiedlichen Durchmessern, Rollen und andere Baugruppen. Auch die Fertigprodukte nehmen nicht viel Platz ein. Es ist völlig normal, wenn ein erfahrener Walzwerker in einer Schicht nur einige Dutzend Gramm Walzgut liefert.

Das Walzen auf dieser Walzstraße ist eine Arbeit für Präzisionsmechaniker, da das Walzgerüst sehr genau eingestellt werden muß. Um den Beginn der Walzoperation zu erfassen und das Band gleichmäßig einzustechen, ist besondere Aufmerksamkeit erforderlich. In dieser Abteilung wurde eine neue 26er Walzstraße aufgestellt. Auf ihr werden die Leningrader Walzwerker Stahlbänder mit 1 μm Dicke erzeugen.

Der Streit zwischen Gußeisen und Stahl

Der Schriftsteller Jewgenij Permjak schrieb eine kleine Erzählung »Gußeisen und Stahl«. In ihr werden die Verwandtschaftsbeziehungen von Gußeisen und Stahl sehr gut dargestellt. Hören wir, was uns Jewgenij Permjak berichtet:

»Flammenströmend floß aus dem Ofen der heiße Stahl. Er funkelte mit goldenen Sternen, erstarrte zu teueren Blöcken und tat sehr überheblich. Vor dem grauen Gußeisen rührte sich der Stahl so, daß es vor Scham fast rot geworden wäre.

»Ich«, sprach der Stahl, »bin rostfrei, dunkle nicht nach und bin schwierig herzustellen. Wie ein Diamant so fest und wie eine Schlange geschmeidig. Werde ich gehärtet, dann halte ich besonders gut. Sägen, Bohren und Schneiden, alles kann ich. Wenn du willst, werde ich Damaszenerstahl oder eine Nadel. Ich kann Brücken legen. Als Schiene eile ich durch das Land. In Maschinen arbeite ich. Als Feder bin ich zu gebrauchen. Aber wer bist du, Gußeisen? Für Pfannen und Bügelseisen allein brauchbar. Nun, vielleicht wirst du noch für zweitklassige Gehäuse und Ständer, manchmal auch für Mahlräder eingesetzt. Du bist nicht schmiedbar, nicht biegsam, sondern nur spröde wie Eis. Was bist du nur für ein unmodernes Metall.«

So spricht der Stahl und röhmt damit seine ganze Zunft. Im Flugzeug fliegt er, im Schiff schwimmt er, und nichts hatte er vergessen. Selbst als Schreibfeder hatte er an sich gedacht, Uhrzeiger ebenfalls nicht ausgelas-

sen. Buchstäblich alles wurde aufgezählt. Er sprach so viel von sich, daß es in sieben Schubfächer nicht hineingeht. Überflüssiges hat er allerdings nicht hinzugefügt. In seinem Stahlgesang war alles richtig.

Natürlich, Gußeisen ist nicht Stahl. Nur eines hätte er nicht vergessen dürfen, daß er einem »Gußeisen« sein Leben verdankt und daß er heute mit ihm wie Bruder und Schwester verwandt ist, denn beide haben eine gemeinsame Mutter... Alles andere ist natürlich richtig, wenn man das Gewissen unberücksichtigt läßt.«

Gußeisen und Stahl werden heute aus dem im Hochofen erzeugten Roheisen hergestellt, das von seiner chemischen Zusammensetzung und seinen Eigenschaften auch als ein Gußeisen angesehen werden kann. In den Hüttenwerken des Mittelalters wurden die Gußstücke direkt am Hochofen aus dem Roheisen abgegossen. Erst die Entwicklung der leistungsfähigen Kokshochöfen erzwang eine Trennung der Produktion von Roheisen und Gußstücken. Das am Hochofen zu Masseln (Stücken) vergossene Roheisen wurde in Flammenöfen oder Kupolöfen verflüssigt und anschließend in die gewünschte Form gebracht. Es entstand der »Guß zweiter Schmelzung« und damit neben dem Zwischenprodukt Roheisen das Fertigerzeugnis aus Gußeisen. Heute wird zwischen dem Roheisen für die Stahlerzeugung, dem Stahlroheisen und dem Roheisen für die Gießereien, dem Gießereiroheisen, unterschieden.

»Natürlich, Gußeisen ist nicht Stahl«, sagte der Autor in seinem Märchen. »So wie der Rabe kein Falke ist, so ist Gußeisen kein Stahl«, sagt ein kirgisches Sprichwort. In unseren Tagen entspricht diese Weisheit manchmal nicht der wahren Qualität des Gußeisens.

Das alte »Handbuch der Geschichte des Handwerkes« (1788) berichtet: »Gußeisen wird beim Schmelzen in einem Herd flüssig. Man gießt aus ihm Töpfe, Kessel und andere Gefäße, im Notfall auch Kanonen.«

Jetzt stellt man eine weitaus größere Zahl von Gegenständen aus Gußeisen her. Seine Sprödigkeit und geringe Festigkeit sind bedauerlich. Dies ist durch die Ausscheidung von großen Graphitlamellen im herkömmlichen Gußeisen zu erklären. Manchmal sagt man auch scherhaft, Gußeisen ist durch Graphit verdorbenen Stahl. Der Graphit zerteilt und schwächt die metallische Matrix. Er macht das Gußeisen spröde, unelastisch und senkt die Festigkeit. Die Graphitausscheidungen konnte man zunächst nicht verkleinern und auch nicht gleichmäßiger im Metall verteilen, bis man eines Tages herausgefunden hatte, daß Zusätze

von ein wenig Ferrosilizium, einer Legierung aus Eisen und Silizium, den Graphit des Gußeisens verfeinern. So behandeltes Gußeisen nähert sich in seinen Eigenschaften den niedrigkohlten Stahlmarken. Trotzdem blieb es spröd.

Die Suche wurde fortgesetzt und versucht, Ferrosilizium durch Magnesium zu ersetzen. Bei ganz geringen Zusätzen begann das Metall zu wallen und zu brodeln. In der Pfanne stieg die Temperatur sehr stark. Als man das erstarnte Metall einer genauen Analyse unterzog, stellte man fest, daß unter der Wirkung von 0,1 % Magnesium die Graphitausscheidungen eine kugelförmige Gestalt annahmen. Dieses Gußeisen war nicht mehr spröd, seine Eigenschaften waren nicht schlechter als die der besten Baustähle. Aus diesem Material wurden Walzen, Kokillen und Verschleißteile metallurgischer Ausrüstungen gegossen. Die Haltbarkeit dieser Teile stieg um das Dreifache.

Die Arbeiten zur Steigerung der Festigkeit des Gußeisens waren aber noch nicht am Ende angelangt. Die Wissenschaftler der Kiewer Polytechnischen Hochschule behandelten das erstarrende Metall mit elektrischem Strom.

Aus vielen Versuchen wählten sie die besten Behandlungsbedingungen aus. Die Prüfung zeigte, daß solch ein »elektrisches« Gußeisen eine um 25 % höhere Festigkeit im Vergleich zu normalem Gußeisen besitzt. Bedeutet das, daß der Strom das Gußeisen verfestigt? Als die Wissenschaftler die Proben unter dem Mikroskop betrachteten, erkannten sie, daß der Kohlenstoff in diesem Material gleichmäßig in Form von kaum sichtbaren Strichen feinverteilt war. Diese Gefügeveränderungen sind die Ursache für die höhere Festigkeit dieses Gußeisens.

Es ist bekannt, daß Stahl hart, Gußeisen spröde und Aluminium weich ist. Belgische Metallurgen entwickelten eine Gußeisenlegierung mit Aluminiumzusätzen. Diese Legierung unterscheidet sich hinsichtlich der Festigkeit nur wenig von normalem Stahl, behält aber alle guten Eigenschaften des Gußeisens.

Sowjetische Metallurgen schufen Gußeisensorten, die bestimmte Eigenschaften des Aluminiums aufweisen. Über zehn Jahre arbeitete der Hauptmetallurge des Gorkier Autowerks, der Leninpreisträger B. P. Platonow, an diesem Problem. Er war seit langem davon überzeugt, daß die Motoren leichter und kompakter hergestellt werden können, wenn die Gußhülle des Motors verändert wird. In der Praxis des Automobilbaues wurde für dieses Teil schon immer graues Guß-

eisen eingesetzt. Es ist billiger und sicherer gegenüber den in der UdSSR in breitem Umfang verwendeten Aluminiumlegierungen. Es hat aber auch einen Nachteil: Gußeisen ist sehr schwer, und bisher konnte noch niemand Teile aus ihm herstellen, die der Masse der Aluminiumteile entsprachen.

Platonow wußte, daß die Festigkeit des Gußeisens von der Form und Verteilung des Graphits bestimmt wird. In besonders festen, dünnwandigen Gußteilen sollte der Graphit in Form kleinster Kugeln enthalten sein, während er in dicken Teilen die Form von Lamellen aufweisen darf. Damit besteht das Problem der Herstellung komplizierter, vielgestaltiger Teile mit dünnen Wandpartien darin, daß man ein Verfahren suchen muß, das eine allmähliche und manchmal sehr ausgeprägte Veränderung des Gußgefüges ermöglicht.

Der Wissenschaftler nutzte für sein Verfahren die Abhängigkeit der Graphitform im Gußeisen von der Abkühlungsgeschwindigkeit, das heißt von seiner Wanddicke. Er verwendete starre zweischichtige Maskenformen. In ihnen wird das Gußeisen gerade in den Oberflächenpartien sehr fest, wo dies das Einsatzgebiet erfordert. Nach der Methode von Platonow wurde im Gorkier Autowerk eine Reihe von Zylinderblöcken für Motoren hergestellt. Sie wurden allseitig überprüft und lieferten ausgezeichnete Ergebnisse.

Die neuen Gußeissensorten konkurrierten tatsächlich sehr erfolgreich mit dem Stahl. Aus dem verbesserten Gußeisen stellt man oftmals hochbeanspruchte Maschinenteile her. Das ist sehr ökonomisch, da Gußeisen billiger als Stahl ist. Dabei wird ausgenutzt, daß sich Gußeisen besser als Stahl vergießen läßt und der Prozeß der Gußstückherstellung leichter und einfacher ist. In der DDR werden etwa 70 % aller Gußteile aus grauem Gußeisen mit Lamellengraphit, 3 % aus Gußeisen mit Kugelgraphit, 2,5 % aus Temperguß, 18,4 % aus Stahl und 6,5 % aus Nichteisenmetallen erzeugt. Diese Erzeugnisstruktur entspricht bis auf den zu niedrigen Anteil des Gußeisens mit Kugelgraphit dem internationalen Stand.

Etwas über Rohre

Die Definition des Rohres als langer Hohlzylinder mit meist kreisförmigem, rundem Querschnitt, der für den Transport von Flüssigkeiten, Dämpfen und Gasen

vorgesehen ist, ist längst veraltet. Die genannten Stoffe sind nicht mehr die einzigen Produkte, die durch Rohre transportiert werden. Rohrleitungen bieten auch gute Möglichkeiten für eine schnelle und wirtschaftliche Beförderung von festen Stoffen über große Entfernungen, so zum Beispiel für Zement, Kohle, Mehl, Zucker, Baumwolle und Eisenerz.

In Ufa wurde eine Salzleitung errichtet. Mit ihrer Hilfe wird über eine Entfernung von 150 km von der Lagerstätte bis zum Chemiebetrieb eine Natriumchloridlösung befördert. In Irland wird mit Hilfe von Rohrleitungen Dubliner Bier in Ortschaften transportiert, die bis zu 20 Meilen von der Hauptstadt entfernt sind. In London läßt ein Großbetrieb heißen Tee für seine Arbeiter durch Rohre verteilen. Der Tee kühlte bis zur Ausgabestelle nicht ab, obwohl er bis zu acht Minuten unterwegs ist.

In Kanada wurden Versuche zum Einsatz von Erdölleitungen für den Transport von granulierten Materialien und Mineralien vorgenommen. Dabei zeigte sich, daß Eisenerz und Gußstücke selbst mit großen Abmessungen sehr gut in ihnen transportiert werden können. Die Aufzählung muß mit den Erdöl- und Erdgasleitungen vervollständigt werden, die zur Zeit die hauptsächliche Art von Transportleitungen darstellen.

Es ist bekannt, daß die Anhäufung der unterschiedlichsten Retorten, Rohre und Behälter, das sogenannte »Gefäßsystem«, eine der wichtigsten Besonderheiten der Produktion des 20. Jahrhunderts ist.

Es wird nicht nur für den Transport der unterschiedlichsten Materialien eingesetzt. In ihm laufen auch chemische Reaktionen ab. Außerdem dient es zur Aufbewahrung von Produkten technischer Prozesse. Es ist Grundlage für die Automatisierung und Vergrößerung der Produktionsfonds.

Stahlrohre werden auch als Baumaterial eingesetzt. Seit Beginn des vorigen Jahrhunderts werden sie in den unterschiedlichsten Gebieten der Technik verwendet. Rohrkonstruktionen spielen überall dort eine Rolle, wo die Verringerung der Masse eines der wichtigsten Konstruktionsprinzipien ist: im Schiffsbau, bei Fahrgerüsten, in der Autoindustrie und im Flugzeugbau.

Jetzt verwendet man in vielen Zweigen der Volkswirtschaft Profilrohre mit unterschiedlichem Querschnitt. Die aus Rohren gefertigten Autobuskarosserien, Flugzeugsessel, Geschäftsvitrinen und Baukonstruktionen sind sehr elegant, fest und billig.

Der Bedarf der modernen Technik an Stahlrohren ist

sehr groß. Deshalb nimmt ihre Herstellung im System der metallurgischen Produktion eine Sonderstellung ein. Manchmal wird sie auch als »vierte« Abteilung bezeichnet.

Die Sowjetunion nimmt einen führenden Platz bei der Erzeugung von Stahlrohren ein. Seit 1962 ist sie der größte Rohrproduzent der Welt. In der Stadt Wolshski arbeitet seit 1969 ein neuer Industriegigant mit neun elektrischen Rohrschweißanlagen. Hier wurden im Jahre 1974 aus Warmband die ersten großkalibrigen Rohre mit 2120 mm Durchmesser geschweißt. Diese Rohre sind für die Errichtung großer Wasserleitungen und Bewässerungssysteme vorgesehen.

Welche Technologien wendet der moderne Rohrwalzwerker an? Die nahtlosen »Arterien« mit 50 bis 110 mm Durchmesser und 2 bis 15 mm Wanddicke werden in folgender Weise erzeugt. Ein runder Stab wird zwischen schräg angeordneten tonnenförmigen Walzen gelocht. Die Walzen drehen sich in die eine Richtung und der Stab in die andere. Zwischen den Walzen befindet sich in Bewegungsrichtung des Stabes ein Walzdorn, der das Rohr innen kalibriert. Danach wird es auf einer kontinuierlichen Anlage ausgewalzt, die aus mehreren in einem Winkel von 90° angeordneten Walzenpaaren besteht.

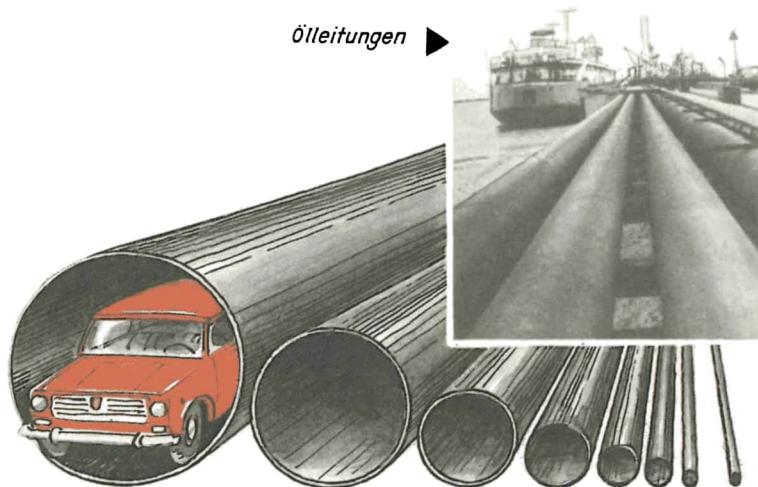
Nahtlose Rohre werden vorwiegend aus Edelstählen gefertigt. Sie werden zum Beispiel in der Erdölindustrie (als Bohrrohre), in der chemischen Industrie (als Rohrleitungen), im Maschinenbau für die Herstellung von zylindrischen und ringförmigen Teilen (z. B. Ku-

gellagerringe) und im Automobilbau (Kardanwellen) eingesetzt.

Im vergangenen Jahrhundert nahm der Anteil der geschweißten Rohre an der Rohrproduktion ständig zu. Die geschweißten Rohre haben in der Regel geringere Wanddicken und weisen kleinere Schwankungen in den Wanddickenabmessungen auf als nahtlose Rohre. Dadurch wird eine viel größere Metalleinsparung erreicht. Die Festigkeit der Schweißnaht steht durch Anwendung moderner Schweißmethoden der des Grundwerkstoffs in keiner Weise nach.

Für die geschweißten Rohre verwendet man Bänder aus niedriggekohlten Stählen, die durch lange Öfen geleitet werden. Die Bandränder werden auf 1300°C erhitzt. Beim Austritt aus dem Ofen wird das Band von Walzen mit rundem Kaliber erfaßt und zu einer Röhre verformt. Im nächsten Walzpaar erfolgt das Verschweißen der Ränder. Zwischen weiteren Walzpaaren erhält das Rohr seine endgültige, in engen Toleranzen vorgegebene Abmessung.

Elektrisch geschweißte Rohre mit kleinen und mittleren Durchmessern werden in der chemischen Industrie, im Maschinenbau, in der Luftfahrt- und Rundfunktechnik, im Werkzeugmaschinenbau und in der Atomenergietechnik sowie in anderen Industriezweigen eingesetzt. Sie werden hauptsächlich für den Transport von flüssigen und gasförmigen Stoffen und als Konstruktionselement verwendet. Rohre mit mittleren Durchmessern kommen unter anderem als Konstruktionselemente für die Herstellung von Fahrrädern,



Autos und verschiedenen Landmaschinen zum Einsatz. Rohre mit großen Durchmessern (426 bis 1 620 mm und mehr) finden in der Hauptsache für den Transport von Flüssigkeiten und Gasen ihre Anwendung.

Die führende Stellung der sowjetischen Rohrwalzwerker findet ihren Ausdruck in zahlreichen neuen Technologien und Anlagen. Das »Flaggschiff« der Rohrwalzwerker ist das Dnepropetrowsker Werk »W. I. Lenin«. Dieser moderne Betrieb wandelte die Rohrherstellung in eine Fließfertigung mit hoher Arbeitsproduktivität unter Ausschaltung der körperlich schweren Arbeit um.

Hier erfolgte zum ersten Male das Schweißen der Rohre mit Radiofrequenzströmen, einem hochproduktiven Verfahren. Zum ersten Male in der Welt wurde hier der Walzvorgang komplex mechanisiert und automatisiert. Das Walzen wird von einmaligen Mechanismen und elektronischen Geräten gesteuert, die die Handarbeit vollständig ausschließen. Die Produktion von Bimetallrohren nach dem neuen Verfahren des Thermodiffusionsschweißens wurde eingeführt.

Metalle in der Atomenergietechnik

Uran und Eisen ... Gibt es zwischen ihnen Gemeinsamkeiten? Auf dem Erdball gibt es Lagerstätten, wo beide Elemente gemeinsam vorkommen. In diesen Fundstätten sind Uranminerale im Eisenerz eingelagert. Viele Uranminerale, insbesondere die mit industrieller Bedeutung, sind ausgesprochen unansehnlich und lassen sich von den überall anzutreffenden Eisen- und Manganoxiden nur schwer unterscheiden. Das Eisenerz mit dem hohen Urangehalt wird im Hochofen vorgeschmolzen. Das Eisen wird reduziert und wandelt sich in Roheisen um, während Uran in der Schlacke verbleibt. Diese Uranschlacke wird in den Chemiebetrieben weiterverarbeitet. Dabei erhält man zunächst Uranoxid und anschließend das reine Metall. Aus dem Roheisen werden uranhaltige Schnellarbeitsstähle hergestellt.

Es existieren aber auch andere Verbindungen zwischen der Metallurgie und der Atomenergietechnik, wobei viele Erfolge auf diesem Gebiet mit den Errungenschaften der Metallurgie zusammenhängen.

Der Eisbrecher »Lenin« ist das erste für zivile Zwecke eingesetzte Schiff der Welt, das mit einem Atomantrieb fährt. Er begann seine Fahrt durch das

Nordpolarme im Jahre 1959. Der Atomeisbrecher fährt mit einer Geschwindigkeit von fast 4 km/h und durchbricht dabei eine Eisdecke mit einer Dicke von anderthalbfacher Mannesgröße. Ohne den Einsatz neuer hochfester Stähle wäre das nicht denkbar. Die üblichen Gefahren des Meeres können dem Eisbrecher keinen Schaden zufügen. Sein fester Unterbau ist aus Sonderstählen gefertigt. Außerdem ist das Schiff mit einem großen stählernen »Eispanzer« umgeben. In einem baltischen Werk wurde für dieses Schiff die Ruderwelle hergestellt. Das 18 m lange Teil mit einer Masse von 46 t war äußerst kompliziert zu bearbeiten.

Der amerikanische Atomeisbrecher »Savanna« begann seinen Dienst 1962 zunächst als Fracht-Passagierschiff und danach ausschließlich als Frachtschiff. Für den kommerziellen Liniedienst war das Schiff nicht geeignet. Es führte seine Fahrten nur zu Reklamezwecken durch. Die Verluste wurden durch staatliche Subventionen gedeckt. Im Jahre 1972 wurde das Schiff auf Grund gesetzt. Der Dampfturbinenteil und die Reaktoren des Schiffes waren technisch und moralisch verschlossen.

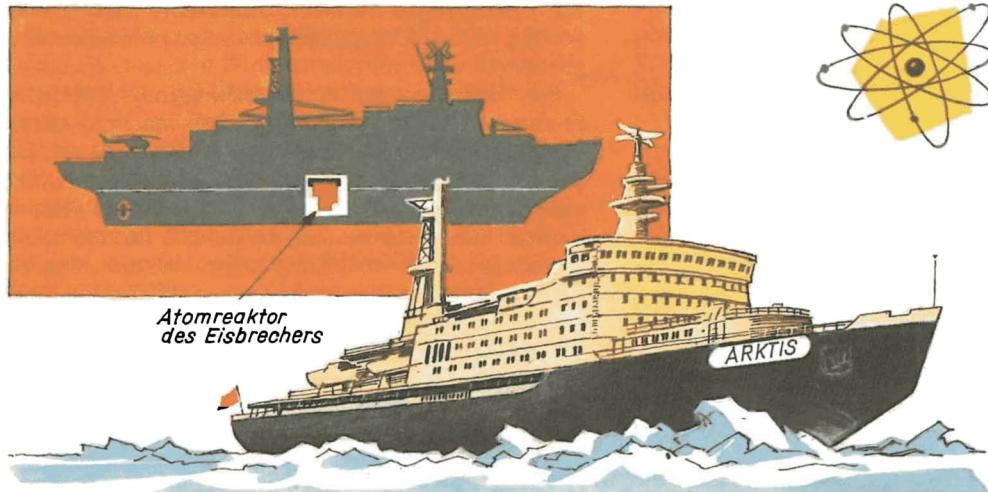
Der in der BRD gebaute atombetriebene Erzfrachter »Otto Hahn« fuhr als Frachtschiff auf der Linie zwischen der BRD und Marokko.

Das vierte atombetriebene Handelsschiff war der japanische Frachter »Muzu«. Im Jahre 1972 wurde er gebaut. Seine erste Kontrollfahrt absolvierte er im August 1974. Die Prüfung des Atomreaktors auf der »Muzu« ergab ein unzulässig hohes Strahlungsniveau hinter der Schutzausrüstung. Nach Ansicht der auf dem Schiff anwesenden Wissenschaftler war das Auftreten der radioaktiven Stoffe auf eine Rißbildung in der Schutzhülle des Reaktors zurückzuführen.

Die abgelaufene Schiffahrtsaison des Atomeisbrechers »Lenin« bestätigt die Ungefährlichkeit des Atomschiffes in bezug auf die radioaktive Strahlung. Im Jahre 1971 wurden die drei Reaktoren des Eisbrechers durch zwei neue ersetzt. Sie weisen ein einfacheres System auf und entsprechen dem modernen technischen Niveau.

Die mehrjährigen erfolgreichen Fahrten des Eisbrechers beweisen den großen Vorteil von Schiffen mit Kernreaktoren.

Aus dem Baltischen Werk in Leningrad lief im Dezember 1974 der Atomeisbrecher »Arktis« zur Probefahrt aus. Seine Länge beträgt 140 m; seine Breite 30 m. Der Eisbrecher ist in der Lage, auch extrem dicke Eisschichten zu bezwingen.



Das Unterteil der »Arktis« besteht aus hochfesten Stählen. Die Projektanten schlugen vor, das Unterteil aus mehreren Verstrebungen unterschiedlicher Dicke zu bauen. Dadurch wurde eine bedeutende Einsparung an legierten Stählen erreicht. Außerdem wird das Auftreten von sogenannten »Kämmen« auf dem Unterteil ausgeschaltet, die durch die Beanspruchung des zerschlagenen Eises hervorgerufen werden. Besondere Aufmerksamkeit schenkten die Konstrukteure und Schiffsbauer dem Eisenschild des Atom-eisbrechers. Dieses erinnert an die stählerne Schneide einer gigantischen Axt mit mehreren Tonnen Masse. An diese Vorrichtung werden große Anforderungen hinsichtlich Verschleißfestigkeit, Zähigkeit und Festigkeit bei niedrigen Temperaturen gestellt.

In der Schiffahrtsaison lief das neue Flaggschiff der sowjetischen Eisbrecherflotte in die Arktis aus und begann seine Arbeit zur Schaffung von Durchfahrten für Schiffe zu den nördlich gelegenen Stationen und Häfen, die am Ufer des Nordpolarmeeres liegen.

Stahl wird aber außerdem auch in großem Umfang für den Bau von Atomreaktoren eingesetzt. Es gab heiße Debatten darüber, ob für Atomreaktoren Zirkon oder rostfreier Stahl verwendet werden sollte. Zirkon und seine Legierungen sind sehr betriebssicher, aber noch sehr teuer. Stahl ist bedeutend billiger. Heute werden deshalb überwiegend rostfreie Stähle für die unterschiedlichsten Bauteile atomarer Anlagen eingesetzt.

In allen Atomkraftwerken der USA sind die Vorrichtungen und Mechanismen, die mit der Wärmeabfuhr

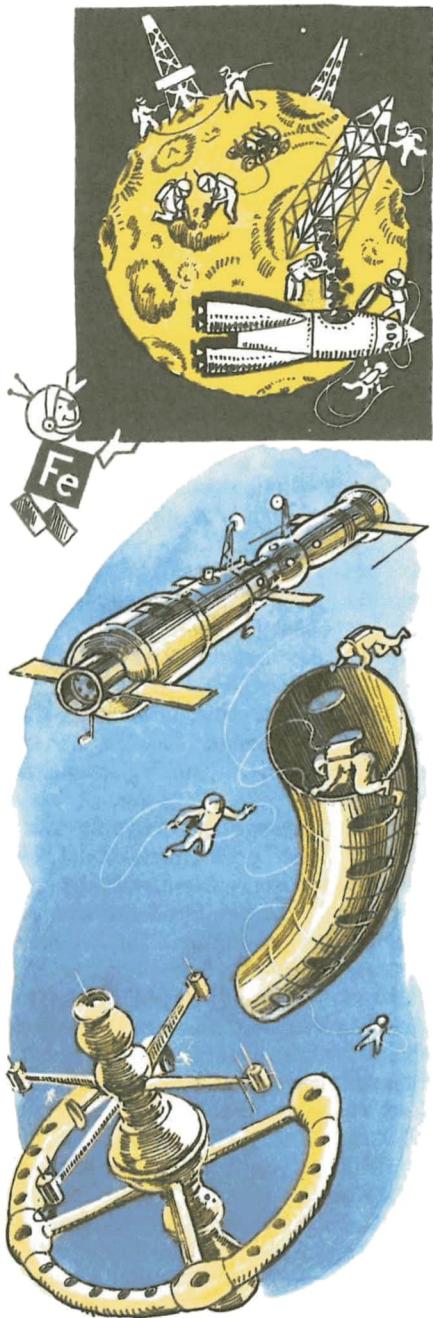
verkettet sind, in hohle Stahlkugeln eingeschlossen. Damit ist alles, was mit der Radioaktivität in Berührung kommt, von der Umgebung isoliert.

Das Gebäude des Atomkraftwerkes »Henrique Fermi« ist von einer zylindrischen Stahlsäule mit 22 m Innendurchmesser umgeben. Die Höhe dieses »Stahlgefäßes« beträgt 52,2 m, davon ragen 15,6 m in die Erde hinein.

Innerhalb dieser Stahlschale sind die übrigen Teile des Reaktors und die Mechanismen mit Schutzvorrichtungen aus Beton, Kohlenstoffstählen, legierten Stählen und Graphit geschützt.

Stahl ist für den Schutz gegen radioaktive Strahlung geeignet, da er die Neutronen gut aufnimmt. Das große Aufnahmevermögen thermischer Neutronen ist aber gerade jene Eigenschaft, die ein Hindernis für den Einsatz von Stahl als Hüllenswerkstoff für Brennelemente von Druckwasserreaktoren darstellt. Diese Einsatzgrenze führt zu einem verringerten Wirkungsgrad der mit Druckwasserreaktoren arbeitenden Kraftwerke gegenüber den herkömmlichen.

Die Anwendung des Stahls in Wärmekraftwerken lässt die Erzeugung von Wasserdampf mit Temperaturen bis zu 550°C zu. Die Verwendung von Magnesium und Zirkon für die Hüllensrohre von Druckwasserreaktoren begrenzt die Wassertemperatur im Primärkreislauf auf etwa 300°C. Deshalb führen die Metallurgen einen beharrlichen Kampf um die Entwicklung neuer Werkstoffe für den Bau von Kernkraftwerken. Dabei muß der Einfluß der Strahlung auf die Eigenschaften



der verschiedenen Werkstoffe untersucht werden. Was können diese Untersuchungen dem Metallkundler geben?

Wie bekannt ist, ruft die Bestrahlung mit Neutronen, Protonen, Deutonen und Alphateilchen eine starke Veränderung der Werkstoffeigenschaften hervor. Es wurden zum Beispiel Eisen- und Nickelproben, die einer Wärmebehandlung bei unterschiedlichen Temperaturen unterzogen wurden, im Reaktor bestrahlt. Die anschließende Untersuchung zeigte, daß die zulässige Zugbelastung der Eisenproben um 60 bis 70 % und die der Nickelproben um 30 bis 35 % zunahm; ihre Zähigkeit nahm stark ab. Das wurde auch bei vielen anderen Werkstoffen beobachtet. Ursache dafür ist die Erhöhung der Anzahl von Kristallbaufehlern. Bei Raumtemperatur erhöht die Bestrahlung in der Regel die Härte und die Festigkeit, während die Plastizität sinkt.

Die Forschungsarbeiten werden fortgesetzt. Erfolge bei der Entwicklung neuer Legierungen dienen der Weiterentwicklung der Atomenergietechnik.

Metalle im Kosmos

Jeder Zweig der Technik stellt in Übereinstimmung mit seiner Entwicklung immer wieder neue spezifische Anforderungen an die metallischen Werkstoffe. Extrem hohe Forderungen werden an die Werkstoffe für Sputniks und Raumschiffe gestellt. In ihnen sollen sich die besten mechanischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften vereinen.

Eine Voraussage, wie sich dieser oder jener Werkstoff unter den Bedingungen des kosmischen Raumes verhält, ist äußerst schwierig. Die genaue Kenntnis dieses Verhaltens ist aber für die Konstrukteure von Raumschiffen sehr wichtig. Die Ergebnisse der kosmischen Forschung der UdSSR und der USA haben die Notwendigkeit einer kosmischen Metallkunde besonders unterstrichen. Die Wissenschaftler werden vor die Aufgabe gestellt, metallische Werkstoffe für die kosmische Industrie bereitzustellen. Die Anforderungen an die Werkstoffe für die kosmischen und reaktiven Apparate sind sehr hoch und vielfältig. Die kosmischen Apparate unterliegen in der Start- und Landephase einer sehr hohen thermischen Belastung. Im Weltraum sind sie extrem niedrigen Temperaturen ausgesetzt. Die Temperaturwechsel-

festigkeit der Werkstoffe muß sehr hoch sein. Sie müssen Anforderungen erfüllen an die hermetische Dichtheit unter den Bedingungen des absoluten Vakuums (10^{-16} at), an die Beständigkeit gegen Vibration und große Beschleunigungen (um das 10000fache größer als die Erdbeschleunigung) sowie haltbar sein gegen Meteoriteneinschlag, gegen die Langzeiteinwirkung von Plasma, Strahlung, Schwerelosigkeit usw.

Sowjetische Wissenschaftler entdeckten die Erscheinung der supratiefen Reibung fester Körper. Sie stellten fest, daß die Reibung zwischen polymeren Werkstoffen, zum Beispiel Polyäthylen, und metallischen Werkstoffen unter Vakuum durch Bestrahlung der Oberfläche der Polymere mit beschleunigten Heliumatomen extrem verringert wird. Der Wert des Reibungskoeffizienten sinkt um drei Größenordnungen. Während des Versuches blieb dieser Effekt in einem breiten Bereich der Geschwindigkeit auch bei großer spezifischer Belastung erhalten. Die Ausnutzung dieser Erscheinung eröffnet große Perspektiven für die Erhöhung der Lebensdauer und der Sicherheit von Maschinen und Vorrichtungen, die im Vakuum und im offenen Weltraum arbeiten.

Bei den auf dem Mond durchgeführten Untersuchungen fand man Lagerstätten mit wertvollen Bodenschätzungen – Eisen, Mangan, Titan und andere Erze. Das Mondgestein enthält neue, bisher unbekannte Mineralien. Es wurde auch Eisen gefunden, das selbst unter Erdbedingungen keinerlei Oxydation unterliegt.

Auf der Erde ist die Schaffung von kosmischen Bedingungen wie Schwerelosigkeit, Hochvakuum, tiefe Temperaturen, energiereiche radioaktive Strahlen sehr schwierig und teuer. Diese Bedingungen sind jedoch für die Herstellung einer Reihe von Produkten sehr interessant. Vor der menschlichen Gesellschaft steht deshalb die Aufgabe, in der weiteren Entwicklung den Kosmos auch für Produktionszwecke zu erobern.

Der Kosmonaut der UdSSR Wiktor Gorbatko berichtete dazu Korrespondenten: »Den Begriff »Produktion im Kosmos« kann man nicht mit Erdmaßstäben messen. Das ist offensichtlich. Das Volumen und die Menge der hergestellten Produkte werden begrenzt sein. Die spezifischen Besonderheiten der von einer Raumstation zur Erde gelieferten Produkte rechtfertigen aber vollkommen die Kosten.«

Als Beispiel führte Gorbatko die geschäumten Stoffe an. Auf der Erde scheidet sich unter dem Einfluß der Schwerkraft das Gas aus der Schmelze ab. Im Kosmos

könnte unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit geschäumter Stahl hergestellt werden. Diese neuen Werkstoffe werden für die Erbauer künftiger kosmischer Objekte notwendig sein.

Bei Raumflügen durchgeführte Experimente gestatten eine erste Einschätzung der Möglichkeiten einer außerirdischen Produktion. Dazu gehören zum Beispiel das Experiment »Universalofen« während des gemeinsamen Fluges Sojus – Apollo, besonders aber die zahlreichen Experimente, die an Bord der Raumstation Salut 6 mit dem Ofen »Splaw« durchgeführt wurden. Erinnert sei in diesem Zusammenhang an die Gemeinschaftsflüge im Interkosmos-Programm.

Gegenwärtig wird an Projekten zur Errichtung von Orbitalstationen im erdnahen Raum gearbeitet. Der Autor vieler kühner Projekte und Ideen G. I. Pokrowski nimmt an, daß die reale Möglichkeit existiert, im Kosmos relativ billige »Schmelzbetriebe« aufzubauen. Als Rohstoffe für die Produktion kann das gesamte Sonnensystem mit seinen zahllosen Meteoriten und kleinen Asteroiden genutzt werden. Die Energie für die »Himmelsaggregate« wird in Sonnenbatterien gespeichert. Das einwandfreie kosmische Vakuum ermöglicht die Anwendung modernster Technologien.

Die Rohstoffe, die eingefangenen Meteoriten, werden mit Klammern gehalten. Die Lichtimpulsquelle, die an den Sonnenbatterien angeschlossen ist, erregt einen Quantengenerator. Der Strahl dieses Lasers verdampft die Stoffe des Meteoritenkörpers. Das Hochtemperaturplasma wird durch ein elektrisches Feld gehalten. Außerdem wird es mit Hilfe einer magnetischen Linse in Form eines Strahles fokussiert. In einem Magnetspektrographen wird der Plasmastrom in Ionenstrahlen unterschiedlicher Stoffe zerlegt. Danach wird das gewünschte Metall – Eisen, Kobalt, Nickel oder ein anderes – kondensiert, so daß allmählich ein Metallkern wächst. Die anfallenden Schlacken werden für die Bewegung und Stabilisierung des Flugapparates in den Raum geschleudert.

Die metallischen Kerne werden geschliffen, zerschnitten und mit vorgegebener Geschwindigkeit in den Kosmos geschleudert. Dort sind sie als Baumaterial zur Errichtung von Orbitalstationen im erdnahen Raum unseres Sonnensystems vorgesehen. Das Anschweißen des Kerns an freifliegende Träger erfolgt mit Sonnenenergie.

Zur Zeit kann man noch über die technologischen Details der zukünftigen kosmischen Metallurgie streiten; eines ist aber sicher: Es wird eine solche geben.

Mosaik

metallurgischer Sprichwörter

Diamanten im Eisen

Gold aus dem Hochofen

Eine gefährliche Legierung

Kunstguß – gegossene Poesie

Das eiserne Amulett

Die eiserne Kammer

Das Hochofenwerk –

ein Kurbadeort

Allerlei Wissenswertes über das Eisen



Mosaik metallurgischer Sprichwörter

»Ein Volk ohne Eisen ist wie eine Speise ohne Salz.« Mit diesen Worten beginnt eine Schrift, in der G. Rzewski seinem Zaren, Peter I., das Projekt eines Eisenhandelsmonopols, ähnlich dem bereits bestehenden Salzhandelsmonopol, unterbreitete. Der Volksmund kennt viele althergebrachte Redewendungen, aus denen hervorgeht, welch große Bedeutung die menschliche Gesellschaft seit jeher dem Eisen beimitzt und wie sehr die Eigenschaften dieses Metalls geschätzt werden. Eine kleine Auswahl derartiger Sprichwörter soll hier vorgestellt werden.

»Willst du ein wahrer Mensch sein, so werde fest wie Stahl« (kirgisisch).

»Auf ein wahres Wort und auf Eisen kann man sich verlassen« (aserbaidshanisch).

»Fest wie ein stählernes Schwert« (japanisch).

»Eine gute Degenklinge biegt sich, ehe sie bricht« (deutsch).

Noch höher im Kurs stehen aber menschliche Eigenschaften, die nachstehenden Redewendungen zum Ausdruck bringen.

Die Tataren sagen: »Ausdauer kann selbst Eisen brechen«, und die Usbeken meinen, daß »der Fleißige Berge versetzen und eiserne Seile zerreißen kann«.

Der Turke zieht den Vergleich: »Der Mensch ist fester als Eisen, härter als Stein und zärtlicher als eine Rose.«

Auf den alten Erfahrungsschatz des Schmiedes beziehen sich einige Redewendungen, die zugleich die friedlichen und unfriedlichen Verwendungsmöglichkeiten eiserner Werkstoffe zum Ausdruck bringen:

»Gutes Eisen erkennt man beim Schmieden, ein gutes Pferd beim Galoppieren« (kalmückisch).

»Ungeschmiedet ist das Eisen weder Sense noch Sichel« (kurdisch).

»Aus schlechtem Eisen ist kein Schwert zu schmieden« (türkisch).

»Aus verdorbener Baumwolle wird kein Damast und aus rostigem Eisen kein Schwert« (aserbaidshanisch).

»Alles Eisen kommt aus den gleichen Öfen, aber das eine wird zum Schwert, das andere zum Hufeisen« (tadzhikisch).

Unübersehbar ist die Zahl der Sprichwörter, die die vielfältigen Probleme der Menschen zur Technologie

des Schmiedehandwerks in Bezug setzen und mehr oder weniger offensichtlich, aber auf anschauliche Weise eine Lehre vermitteln wollen.

»Schmiede das Eisen, solange es heiß ist« (Volksmund vieler Länder).

»Schmiedest du Eisen, so spare nicht an Kohle, erziehst du einen Sohn, so spare nicht an Brot« (chinesisch).

»Ein Hammerschlag genügt nicht, um Eisen zu schmieden« (spanisch).

»Das Schmieden ist noch nicht zu Ende, wenn der Schmied die Zange kühl« (suaheli).

»Es kann auch am Amboß liegen, wenn das Schmieden nicht gelingt« (finnisch).

»Wer eine gute Sichel macht, den kann man einen Schmied nennen« (finnisch).

»In den Händen des Schmiedes fließt Eisen wie Wasser« (usbekisch).

Natürlich spielt auch der große Feind des Eisens, der Rost, im Volksmund eine Rolle. So stammt aus dem Türkischen:

»Gram zerstört den Menschen, Feuchtigkeit das Eisen.«

Aus dem Arabischen: »Selbst Eisen zerfällt wie Staub.«

Aus dem Russischen: »Rost auf dem Eisen und menschliche Falschheit bleiben nicht lange verborgen.«

Aus dem Kalmückischen und Mongolischen: »Gutes Eisen verfällt nicht dem Rost, wahre Freundschaft nicht der Vergessenheit.«

Aus dem Aserbaidshaniischen: »Solange es arbeitet, setzt Eisen keinen Rost an.«

Der Gedanke des zuletzt aufgeführten Sprichwortes liegt auch zwei überlieferten Aphorismen zugrunde. Einer wird Cato dem Älteren zugeschrieben: »Mensch und Eisen haben eines gemeinsam: Für eine Sache eingesetzt, erhalten sie sich blank; sind sie untätig, frißt sie der Rost.«

Der andere geht auf Leonardo da Vinci zurück: »Ruhendes Eisen rostet, stehendes Wasser faulst. So läßt Untätigkeit auch den menschlichen Geist verkümmern.«

Manche Sprichwörter knüpfen an historische Sachverhalte an. Das in Bulgarien gebräuchliche Qualitätsurteil »Saubere Arbeit – wie aus der Samakower Schmiede« beruht auf der im Mittelalter zu Berühmtheit gelangten Güte der schmiedeeisernen Erzeugnisse aus der bulgarischen Stadt Samakow.

Die Geschichte Japans röhmt den Waffenschmied Mazamome, aus dessen Werkstatt zu alter Zeit die höchstgeschätzten Schwerter kamen. Wird in Japan der Aufwand für die Erledigung einer nebensächlichen Angelegenheit als unsinnig bewertet, so heißt es heute noch: »Mit einem Mazamome-Schwert Rettich schneiden.«

Diamanten im Eisen

Im Jahre 1846 wiesen Barsch und Heidinger in einem Eisenmeteoriten, der in Ungarn niedergegangen war, kleine Graphitkristalle nach. 40 Jahre später glaubte A. Bresina, als er den gleichen Meteoriten untersuchte, auch kleine Diamanten darin entdeckt zu haben. Die gleiche Feststellung trafen außerdem die russischen Wissenschaftler M. W. Jerofejew und P. A. Latschinnow, die den am 4. September 1886 gefallenen Meteoriten »Nowij Urej« untersucht hatten. Auch die röntgenographische Untersuchung eines 1872 zur Erde gefallenen Meteoriten schien die Existenz von Diamanten in Meteoriteisen zu bestätigen. Bei all diesen Entdeckungen wollte man die Kristalle teilweise mit bloßem Auge, bei anderen Meteoriten dagegen nur mit dem Mikroskop erkannt haben. Insgesamt war fünfmal in der Geschichte der »Fremden aus dem Kosmos« das Ergebnis zu verzeichnen, daß Diamanten im Meteoriteisen vorhanden seien. Die Gesamtmenge an Diamanten soll etwa 315 Karat betragen haben. Von den Akademie-mitgliedern A. W. Winogradow und G. P. Wdowikin wurde auch eine Hypothese mit zwei Varianten über das Vorkommen von Meteoritdiamanten entwickelt. Nach ihrer Auffassung sollten sie bei den Gesteins-meteoriten durch das Aufschlagen von Asteroiden im Kosmos und bei Eisenmeteoriten beim Auffallen auf die Erde entstehen.

Der bekannte französische Chemiker Henry Moissan erhielt aus Rußland einen Teil des Meteoriten »Nowij Urej«. Seine Analyse bestätigte die früheren Unter-suchungen. Er zog daraus den Schluß, daß eine Bildung von Diamanten aus Kohle bei sehr rascher Abkühlung und hohem Druck vor sich gehe. Im Jahre 1890 begann er mit Versuchen zur Synthese von künstlichen Diamanten. Dabei nutzte Moissan die Eigenschaft des Gußeisens aus, das sich bei der Erstarrung ausdehnt. Im Lichtbogenofen geschmolzenes Gußeisen wurde mit

Kohlenstoff gesättigt und anschließend in Wasser abgeschreckt. Die bereits erstarre Randschale verhinderte die Ausdehnung des Kerns beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand und führte damit zu hohen Druckspannungen. Nach dem Lösen des Gußeisens in Säure fand Moissan kleine harte Kristalle, die nach seiner Auffassung künstlich erzeugte Diamanten waren. Es gelang jedoch keinem Wissenschaftler, diese Versuche erfolgreich zu wiederholen.

Am 15. März 1907 berichtete der bekannte Metallurge D. K. Tschernow in der gemeinsamen Sitzung der Chemischen Gesellschaft mit der Metallographischen Kommission des Verbandes Russischer Techniker zum Thema »Über Diamantkristalle und Karbokorund im Stahl«. Bereits in den ersten Jahren seiner Tätigkeit im Hüttenwerk Obuchowsk hatte Tschernow mit Hilfe des Mikroskops die Bruchflächen von gegossenen Stahlblöcken untersucht und dabei an den Wänden der Innenlunker sehr harte nichtmetallische Einschlüsse in Form charakteristischer sechseckiger, dünner Lamellen beobachtet. Er übersandte solche Kristalle dem französischen Metallkundler Osmond mit der Bitte, eine sorgfältige chemische Analyse durchzuführen. Im Jahre 1902 übermittelte Osmond den Bescheid, daß es sich bei diesen Teilchen um Karbokorund (Eisenkarbid) handele. Es waren dies die gleichen Kristalle, die bei den früheren »Entdeckungen« als Diamanten angesehen worden waren.

Der Nachweis von Eisenkarbid in Stahlblöcken war eine wichtige Voraussetzung für die weitere Klärung der Konstitution von Stählen. Die Arbeiten Tschernows haben indirekt bewiesen, daß im Stahl keine Kohlenstoffausscheidungen in Form von Diamanten vorhanden sind. Auch L. Frank und A. Rossell berichteten 1895, daß Diamantenausscheidungen weder im Meteoriteisen noch im künstlich erzeugten Eisen und Stahl vorkommen.

Im Jahre 1939 veröffentlichte der englische Metallurge Norber eine Vorstellung über die Erstarrung der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, die das Auftreten von freiem Kohlenstoff in Diamantform im Stahl ausschließt. Er wies nach, daß sich bei dem unter bestimmten Bedingungen eintretenden Zerfall des im Stahl vorhandenen Eisenkarbids nur Graphit bildet.

Heutebettet man Diamanten künstlich in metallische Grundmasse ein. Man setzt diesen »Verbundwerkstoff« zur Herstellung von Schleifwerkzeugen ein, wodurch diesen eine lange Standzeit und Lebensdauer verliehen wird.

Gold aus dem Hochofen

Wer vermutet wohl eine Beziehung zwischen dem Hochofenprozeß und der Gewinnung von Gold? Im vorigen Jahrhundert schlug tatsächlich der russische Metallurge P. P. Anossow vor, der das Geheimnis der Herstellung des Damaszenerstahls gelüftet hatte, den Hochofen zur Gewinnung von Gold einzusetzen. Er war Direktor des Slatouster Bergbaubereichs, beschäftigte sich viel mit den Fragen der Goldgewinnung und konstruierte eine Goldwaschanlage. Bei seinen Untersuchungen zu den Grundlagen der Goldgewinnung stellte er fest, daß beim Goldwaschprozeß nur knapp ein Prozent des tatsächlich in den Sanden vorhandenen Goldes ausgebracht wurde. Anossow versuchte deshalb, ein neues Verfahren zur Trennung des Edelmetalls aus dem Sand zu finden. Dabei kam er auf die originelle Idee, den Hochofen dafür auszunutzen. Der Grundgedanke bei seiner Methode bestand darin, den goldhaltigen Sand im Hochofenprozeß mit zu schmelzen, wobei das Gold restlos in das Roheisen eingeht. Die Gewinnung von Reingold sollte durch Lösen des legierten Roheisens in Schwefelsäure und weitere Reaktionen erfolgen.

Das Verfahren wurde zunächst in kleinen Tiegeln ausprobiert. Danach begann man, den Sand in Kupferschachtofen und Hochofen zu schmelzen. Die Versuche brachten zufriedenstellende Ergebnisse. Über den Hochofen war das Goldausbringen 28mal höher als beim normalen Goldwaschen.

Anossow führte diese Versuche zu Beginn des Jahres 1837 durch. Am 20. März sandte er die erste Nachricht darüber nach Petersburg. Der sonst so träge bürokratische Beamtenapparat des Zaren Nikolaus I. begann sehr rasch zu funktionieren – es ging ja um Gold! Der wissenschaftliche Rat der Gesellschaft der Bergingenieure veranstaltete eine Sondersitzung mit dem Vortrag »Über die Ergebnisse der von Herrn Anossow durchgeführten Versuche zur Bearbeitung von goldhaltigen Sanden«. Der Vortragende würdigte das Verfahren als eine der wichtigsten Entdeckungen auf dem Gebiet des Berg- und Hüttenwesens. Das wissenschaftliche Komitee befürwortete deshalb auch am 28. April die Entscheidung über die Fortsetzung der Anossowschen Versuche. Bereits am 30. April 1837 erklärte der Zar sein Einverständnis und wünschte genauere Angaben über die Produktion. Der Finanzminister schickte Anossow einen Brief, in dem es heißt: »Ich übermittle

Ihnen meine Bitte und meinen Befehl, Ihrer Angelegenheit unermüdliche Aufmerksamkeit zu schenken und häufiger über die Erfolge der Arbeit zu berichten.«

Es gab aber unter den Bergingenieuren Neider, die Anossow seinen Ruhm nicht gönnten und seine Versuche sabotierten, bis die Erfindung den Intrigen zum Opfer fiel. Schließlich stellte der Direktor der Ural-Montanbetriebe in seinem Rapport fest: »Die Vorteile des Roheisenschmelzens konnten nicht bestätigt werden!« Anossow setzte trotz des Verbotes seine Versuche fort. Es gelang ihm erneut, im Hochofenprozeß Gold zu gewinnen, das er an die staatliche Münze sandte. Trotzdem verfügte das Bergbaudepartement die Einstellung der Versuche. Der Finanzminister war mit dem Verbot einverstanden.

Die Versuche Anossows fanden auch im Ausland große Beachtung. Französische Fachleute bekundeten ihr Interesse und ermunterten Anossow zur Fortsetzung seiner Versuche. Das Verbot der hohen zaristischen Beamten hinderte jedoch Anossow daran, seine Untersuchungen zu Ende zu führen. Das Verfahren ist auch anderswo nicht aufgegriffen worden. Es kommt eben in der Metallurgie nicht nur auf eine verfahrenstechnisch originelle, sondern auch auf eine ökonomische Lösung der Probleme an. Selbst bei einem besseren Ausbringen ist der Aufwand, auf diese Art Gold zu gewinnen, so groß, daß dieses Verfahren zu keiner Zeit Chancen auf Verwirklichung hatte.

Eine gefährliche Legierung

Im Mai des Jahres 1908 verließ der Dampfer »Uleaborg« den Stockholmer Hafen. Am Morgen nach der Ausfahrt erkrankten die Passagiere der 2. Klasse und ein Teil der Mannschaft. Es zeigte sich, daß alle Erkrankten in der Nähe des Lagerraumes untergebracht waren. Von dort her hatte man auch einen knoblauchartigen Geruch bemerkt. Aus diesem Grunde wurden die Kranken in die Kajüten der 1. Klasse umquartiert, die weitab von der Ladung des Schiffes lagen. Trotzdem starb einer der Erkrankten am Abend. In Hangö wurde die Ladung gelöscht, und der Dampfer setzte seine Fahrt fort. Es war kein weiterer Todesfall zu beklagen, und die Kranken erholten sich wieder. Ursache der Krankheit war das mitgeführte Ferrosilizium. Am Anfang dieses Jahrhunderts gab es mehrere ähnliche Fälle. Allein von

1905 bis 1908 sind bei neun Ferrosiliziumtransporten 78 Erkrankungen registriert worden, davon 28 mit tödlichem Ausgang. Dies führte dazu, daß fast alle großen Schiffahrtsgesellschaften die Beförderung dieser gefährlichen Fracht ablehnten. Genauere Untersuchungen des Sachverhaltes ergaben folgendes: Ursache für die Erkrankung war ein Gas, und zwar Azetylen mit bestimmten Verunreinigungen. Es zeigte sich auch, daß nicht alle Ferrosiliziumsorten solche gesundheitsschädigenden Gase entwickelten. Die russischen Forscher N. S. Kurnakow und G. Ju. Shukowski wiesen nach, daß sich bei bestimmter Zusammensetzung des Ferrosiliziums unter dem Einfluß der Lufffeuchtigkeit Azetylen mit Beimengungen an Arsen- und Phosphorwasserstoff entwickelt. Das Gasgemisch hat einen knoblauchartigen Geruch, ist sehr giftig und obendrein explosiv. Seine Zusammensetzung hängt vom Aluminium- und Phosphorgehalt der Ferrolegerung ab. Besonders leicht zersetzt sich Ferrosilizium mit 60 bis 65 % Silizium. Aus diesem Grunde wird heute Ferrosilizium mit Siliziumgehalten zwischen 50 und 70 % nicht mehr produziert.

Ferrosilizium wird zur Desoxydation und zum Legieren des Stahles verwendet. Man stellt es durch Reduktion von Quarz im Hochofen oder in speziellen Ferrolegerungsofen her, die mit Elektroenergie beheizt sind. Die erforderlichen Temperaturen steigen mit dem Siliziumgehalt der Ferrolegerung. Im Hochofen können deshalb nur siliziumarme Ferrosiliziumsorten (unter 14 % Si) erschmolzen werden. Die Schmelzer im Ferrolegerungswerk müssen, um den Produktionsprozeß qualitätsgerecht führen zu können, über eine hohe technische Qualifikation verfügen. Fundierte Kenntnisse der physikalischen Metallurgie sind vonnöten, um gefährliche Begleiterscheinungen auszuschließen.

Kunstguß – Gegossene Poesie

Seit Jahrhunderten verwenden Kunsthändler, Bildhauer und Architekten Gußeisen zur Realisierung ihrer gestalterischen Ideen. Von einigen berühmten Werkstätten dieser alten Kunst und ihren bemerkenswerten Erzeugnissen soll im folgenden die Rede sein. Im Jahre 1747 wurde das Kasliner Gußeisenwerk gegründet. Bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts waren

seine Kunstgußerzeugnisse weltbekannt. Gußeisen-skulpturen aus Kaslin wurden auf Ausstellungen in Petersburg, Moskau, Paris, Wien, Philadelphia, Kopenhagen und Stockholm gezeigt und errangen mehrfach hohe Auszeichnungen. Das Prunkstück dieser Kunstdießerei ist ein gußeiserner Pavillon, der für die Pariser Weltausstellung des Jahres 1900 von den Kasliner Meistern geschaffen wurde. Nach einer sorgfältigen Restauration vor 50 Jahren, wobei über 1000 Teile zu erneuern waren, wurde er in der Swerdlowsker Kunsthalle aufgestellt, wo man ihn heute in neuem Glanz bewundern kann.

Für viele Erzeugnisse dieser Kunstdießerei im Ural haben berühmte russische Bildhauer, darunter F. P. Tolstoi und P. K. Klotz, die Modelle geliefert. Selbstverständlich erfordert auch der Guß selbst großes handwerkliches Können und Verständnis für die künstlerische Arbeit. Oft schufen die Gießereimeister selbst wertvolle Modelle. Zu ihnen zählte Wassili Torokin. Er beschäftigte sich in seiner Freizeit mit dem Modellieren und war Schüler der betrieblichen Bildhauerschule. Oft arbeitete er heimlich in der Nacht. Von ihm stammt die künstlerisch wertvolle Skulptur »Die Alte mit dem Spinnrad«. Ihre Entstehungsgeschichte gab dem Schriftsteller P. P. Bashow die Anregung zu seinem Märchen »Die gußeiserne Großmutter«.

Auch heute noch widmen sich die Kasliner Meister dem Kunstguß. In vielen Städten der Sowjetunion verschönern ihre Büsten, Skulpturen und architektonischen Kompositionen Parks, Brücken, Uferpromenaden und Metrostationen. Für das siebengeschossige Gebäude des Tscheljabinsker Forschungsinstitutes für Textilindustrie haben sie eine bemerkenswerte Fassade geschaffen. Aus der gemeinsamen schöpferischen Arbeit der Tscheljabinsker Architekten und der Kasliner Kunstdießer entstand eine 25 m hohe Fassade in der Art eines leicht gewellten Vorhangs und ein Portal, verziert mit stilisierten Abbildungen von Blumen, Gewächsen, Vögeln und anderen Tieren. Für diese Arbeit mußten etwa 5000 Gußstücke angefertigt werden.

Berühmt für seine Kunstwerke aus Schmiedeeisen und Gußeisen ist Leningrad, die alte Hauptstadt Rußlands. Die russischen Dichter, allen voran Puschkin, besingen die Schönheit der kunstvollen Gitter an Brücken und Uferpromenaden. Wohl die beste dieser Einfassungen ist das an der Newaseite liegende Sommergärtengitter. 36 monolithische Säulen sind durch geschmiedete Eisengitter verbunden, die von Tulaer Schmieden gefertigt wurden. Das in der Luft zu

schweben scheinende metallische Spitzengewebe aus gestreckten Rechtecken und kunstvoll geformten Rosetten ist von erstaunlicher Harmonie. Das Tor im Zentrum der Einfassung ist mit mannigfältigen Mustern geschmückt. Als Schöpfer dieser Gitter werden die russischen Architekten J. M. Felten und P. E. Jegorow genannt. Die an der südlichen Sommergartenengrenze verlaufende gußeiserne Umzäunung mit den Eingangspforten wurde 1826 nach Projekten von L. E. Scharlemann gegossen und aufgestellt. Sie besteht aus niedrigen Pfeilern, die mit horizontalen Bändern verbunden und mit Medusenköpfen verziert sind. Es ist verbürgt, daß in den 20er Jahren dieses Jahrhunderts amerikanische Geschäftsleute die Umzäunung des Sommergarten gegen 100 Lokomotiven eintauschen wollten. Die sowjetische Regierung lehnte diesen empörenden Vorschlag selbstverständlich ab.

Die Gesamtlänge aller gußeisernen Kunstgitter Leningrads beträgt 10 830 m und die der geschmiedeten Eisengitter an den Uferpromenaden 53 570 m. Diese Zahlen sind den Aufzeichnungen des leitenden Ingenieurs aus dem Betrieb für die Instandhaltung von Brücken und Uferpromenaden der Stadt entnommen, der in seiner Kartothek die Gitter aller Brücken und Uferpromenaden Leningrads erfaßt hat.

Künstlerisch wertvolle geschmiedete oder gegossene Teile aus Eisen sind auch aus den alten Kulturen erhalten geblieben.

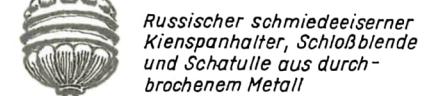
In Ägypten fand man einen eisernen Sockel für den Kopf am Grabmal des Tut-ench-amun in der Nähe von Theben aus der Mitte des 14. Jahrhunderts v. u. Z. In Mesopotamien wurden unweit von Karkemisch eiserne Dolche aus der Zeit 500 v. u. Z. aufgefunden. Die berühmte Eisensäule von Delhi wurde im Jahre 415 zu Ehren des zwei Jahre vorher verschiedenen Königs Tschandragupta II. errichtet.

Die Zahl der aus dem Mittelalter erhalten gebliebenen eisernen Kunstgegenstände ist bereits unübersehbar. In vielen Museen Europas sind wunderbare gegossene eiserne Öfen, gußeiserne Grabplatten, geschmiedete Rüstungen, Türbeschläge, Zäune, Brunnenlauben u. ä. aufbewahrt.

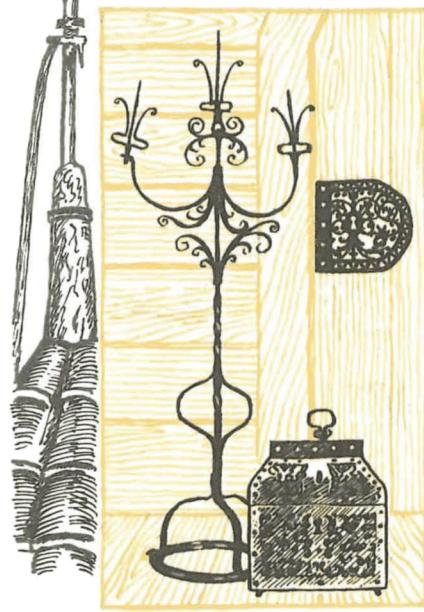
Besonders große Meisterschaft erfordern die geschmiedeten Filigranarbeiten aus dünnen Metallstäben und Eisenblech. Man kann sie auch als durchbrochenes Metall bezeichnen, da ihre Silhouetten gegen einen leuchtenden Hintergrund gut erkennbar sind. Sie waren in der altrussischen Dekorationskunst weit verbreitet. In Schnitzarbeiten eingebunden, wurden sie an Dach-



Wetterfahne und Apothekenschild im alten Tallinn



Russischer schmiedeeiserner Kienspanhalter, Schloßblende und Schatulle aus durchbrochenem Metall



und Kuppelränder verwendet, Schlösser und Schatullen damit beschlagen. Filigraneisen wurde brüniert, verzinkt und mit Gold belegt.

Von der Vielfältigkeit der Kunstschniedeerzeugnisse bekommt man einen Eindruck beim Besuch des bulgarischen Meisters Strachil Kokurow in Sofia. Viele Einrichtungen seines Hauses, wie Straßenlaterne, Treppengeländer, Wandleuchter, Schreibutensilien und anderes, sind aus Schniedeeisen gefertigt.

In Armenien setzt der junge Künstler W. Oganian die alte Schmiedetradition dieses Landes fort. Besonders seine eigenwilligen Kombinationen von Eisen und Holz sind von eindrucksvoller Schönheit. Ein großer dekorativer Leuchter aus seiner Werkstatt hängt im Panoramokino »Urartu«.

Der belgische Architekt Viktor Ortha, Begründer und Theoretiker einer modernen Stilauffassung, bevorzugt in seinen Arbeiten geschwungene Linien, die die Bezeichnung »Peitschenschlag« erhielten. Nach seiner Auffassung spiegelt dies die physikalischen Eigenschaften des Eisens wider und ist gleichzeitig ein Sinnbild für die nervliche Belastung in unserer Zeit.

Der bekannte sowjetische Bildhauer S. T. Konenkov schrieb: »Die Ausdruckskraft einer Skulptur hängt auch von der Übereinstimmung der Idee und des Materials ab. Die Griechen bevorzugten die feine Oberfläche des Marmors, wir aber wenden uns häufig dem Granit, dem Gußeisen und dem nichtrostenden Stahl zu. Diese Materialien gehören mehr als alle anderen in unsere Zeit.«

Im zeitigen Frühjahr 1937 öffnete die Pariser Weltausstellung »Kunst, Technik und das moderne Leben« ihre Pforten. Vor dem sowjetischen Pavillon erhob sich eine 33 m hohe Skulptur, »Arbeiter und Kolchosbäuerin« des Bildhauers V. I. Muchina. Ihre Masse beträgt 7,5 t. Die Figuren sind mit getriebenen Blechen aus nichtrostendem Chrom-Nickel-Stahl mit einer Wanddicke von 2 bis 3 mm überzogen. Nichtrostender Stahl ist ein neuzeitlicher Werkstoff, der durch seine erstaunliche Plastizität und die Schönheit von Farbe und Glanz beeindruckt.

Nichtrostende Stahlbleche sind ein sehr dekoratives und haltbares Baumaterial. Sie werden in der Architektur immer häufiger eingesetzt. Als Beispiel sei hier die Verkleidung der Pfeiler in der Moskauer Metrostation »Majakowskaja« mit profilierten Bändern aus nichtrostendem Stahl genannt.

1967 wurde in Dnjepropetrowsk das Monument »Rodina« (Heimat) eingeweiht. Auf seiner Spitze in

etwa 30 m Höhe befindet sich eine 9 m hohe gegossene Frauengestalt aus rostfreiem Stahl.

Vor wenigen Jahren wurde in einem Dnjepropetrowsker Werk als Denkmal für die Schlacht im Korsun-Schewtschenkower Gebiet eine fünfeckige 69 m hohe Stahlsäule hergestellt. Ihre Spitze ziert ein fünfzackiger Stern, an dem 1700 Spiegel aus poliertem nichtrostendem Stahl befestigt sind. Der Stern soll weithin sichtbar an den Sieg der sowjetischen Armee über die faschistischen Okkupanten erinnern.

Über den Ruinen der legendären Festung von Brest ragt als Denkmal zum Gedenken an die dort gefallenen Helden ein monumentales Bajonett. Es ist 100 m hoch, hat eine Masse von 600 t und besteht aus neun Einzelteilen, die in Molodetschnowsk hergestellt, am Montageplatz in Brest zusammengeschweißt und mit einem Korrosionsschutzmittel versehen wurden.

Bereits in früherer Zeit war es üblich, stählerne Kunstwerke farbig zu gestalten. Plattner und Ätzmaler des Mittelalters schufen Helme und Rüstungen, die in künstlerischer Hinsicht mit dem Besten verglichen werden können, was die damalige Goldschmiedekunst hervorbrachte. Im Hinblick auf die technische Ausführung ist die Bearbeitung von Stahl in dieser Weise noch höher zu bewerten, weil sie viel größere Fertigkeiten verlangte als das Treiben der viel geschmeidigeren Edelmetalle.

Berühmt für ihre Schmiedearbeiten sind auch die Tulaer Meister des 18. und 19. Jahrhunderts. In ihren Händen wurde der Stahl grün, violett, schwarz oder rosa, matt oder funkeln wie ein Diamant. Die dort geschaffenen Schatullen, Waffen, Leuchter, Schreibgeräte, Armbänder usw. waren der Stolz der russischen angewandten Kunst und Glanzstücke in den Kunstsäkabinett aller Länder der Welt.

Auch in der Gegenwart wird farbiger Stahl hergestellt. Das Kolorieren kann durch eine thermische Behandlung erfolgen. Die geschliffene oder polierte Stahloberfläche wird auf 200 bis 300 °C erwärmt, wodurch sich je nach Temperatur und Haltezeit unterschiedlich gefärbte, z. B. dunkelblaue Schichten bilden, die dem Metall ein dekoratives Aussehen und auch erhöhte Korrosionsbeständigkeit verleihen.

Von einer außergewöhnlichen Entwicklung des Moskauer Instituts für Stähle und Legierungen war in den Nachkriegsjahren die Rede. Unter Leitung des Akademietgliedes N. T. Gudzow erarbeiteten wissenschaftliche Mitarbeiter eine Herstellungstechnologie für farbigen Stahl, der im gesamten Volumen eine

gleichmäßige Färbung aufwies. Dabei sollen goldene und rosarote Stahlsorten erzeugt worden sein, die gut schweißbar undrostbeständig waren.

Oberflächlich gefärbte nichtrostende Stähle werden bereits im Handel angeboten. Nach einem Verfahren der »Inco« erhält man die Färbung rot, blau, grün und golden. Durch Tauchen des Stahls in konzentrierte Chrom- und Schwefelsäure überzieht sich die Oberfläche mit einer Farbschicht, die nachfolgend in schwach konzentrierten Lösungen durch elektrolytische Vorgänge verfestigt wird. Die Farbe und ihre Tönung hängen von der Konzentration und der Temperatur der Lösung sowie von der Tauchzeit ab.

Chemiker in Birmingham haben ein eigenes Verfahren zur Herstellung von farbigen nichtrostenden Stählen entwickelt. Die Teile werden in ein Elektrolysebad, bestehend aus Wasser, Schwefelsäure und Chromhydroxid, getaucht. Dicke, Festigkeit und Farbe der entstehenden Schicht hängen von der Stromstärke und der Haltezeit ab. Es können damit intensive blaue und grüne, aber auch orangefarbene Tönungen erzielt werden.

Der englische Formgestalter A. Taylor sieht in nichtrostendem Stahl ein Juweliermaterial der Zukunft. Er glaubt, daß Schmuckstücke aus nichtrostendem Stahl einmal hochmodern sein werden. Sie sind gut polierbar und erzielen dann durch Farbe und Glanz eine besondere Wirkung. Offensichtlich haben englische Juweliere dieser Prognose bereits entsprochen; sie bieten Broschen, Halsketten, Anhänger, Ringe und Manschettenknöpfe aus solchem Material an.

Reiterlegionen aus diesem Grunde kampfunfähig wurden. Die Römer führten sogenannte »Pferdesandalen« ein, das heißt Schuhe, die an den Hufen festgemacht wurden. Sie waren nicht sehr zweckmäßig und wurden deshalb selten verwendet. Beschläge aus Eisen oder Bronze sollen die Gallier als erste eingeführt haben. Im 7. Jahrhundert beschlugen Germanen, Slawen und Vandalen hin und wieder ihre Pferde. Auch die Reiterstatue Karls des Großen läßt den Schluß zu, daß die fränkischen Pferde Hufeisen trugen. Vom 12. Jahrhundert an nahm in Europa der Bedarf an Hufeisen erheblich zu. Das ermöglichte den Einsatz von Pferden auch zur Bearbeitung von steinigen Böden, wodurch die Ernteerträge stiegen.

Das Beschlagen eines Pferdes erfordert einen geschickten Schmied. Das unterstreicht folgende Überlieferung: In den Schmiedezünften der deutschen Städte des Mittelalters galt die Herstellung eines Hufeisens und das anschließende Beschlagen des Pferdes als Gesellenprüfung.

Welche Gründe hat wohl die besondere Verehrung des Hufeisens? Ist es etwa seine Form, die an den zunehmenden Mond erinnert? Bereits im alten Babylon und in Ägypten wurde dieses Gestirn als Symbol der Götter der Fruchtbarkeit, Astarte und Isida, verehrt. Das Eisen selbst wurde bei einigen alten Völkern als ein Metall mit Wunderkräften angesehen. Am meisten einleuchtend ist wohl eine ökonomische Erklärung. In einer Bauernwirtschaft war früher auch das kleinste Stück Eisen ein Wertgegenstand. Es war deshalb ein Glück, ein Hufeisen zu finden.

Das eiserne Amulett

»An den Hufen unserer Pferde befestigen wir Platten aus besonders festem Material, sogenannte Eisen, damit sie sich beim Gehen auf den Straßensteinen nicht abreiben« (J. Swift »Gullivers Reisen«).

Nach Meinung abergläubischer Menschen bringt ein Hufeisen Glück und hält die Not fern. Findet man ein Hufeisen, trägt man es nach Hause und befestigt es über der Eingangstür.

Seit wann werden Hufeisen verwendet? Das Altertum kannte sie noch nicht; deshalb waren die Hufe der Kampfpferde schnell zerschunden. Es kam öfter vor, daß ganze Abteilungen der römischen oder griechischen

Die eiserne Kammer

Die staatliche Versuchsanstalt in Aragon, ältestes Forschungszentrum für atomare Energie in den USA, verfügt über eine interessante Vorrichtung, die sogenannte »eiserne Kammer«. Mit ihrer Hilfe bestimmt man die Radioaktivität des menschlichen Körpers. Die Kammer hat die Abmessungen $2,4 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 1,93 \text{ m}$, und ihre Wände von etwa 600 mm Dicke bestehen aus vielen Lagen 6,35 mm dicken Eisenblechs. Wozu wird dieser Tresor benötigt? Wände dieser Dicke schützen den Innenraum der Kammer vor dem Eindringen kosmischer Strahlung, so daß dort nur der in einem Sessel sitzende Mensch als Strahlungsquelle wirken kann.

Bei diesen Messungen wurden interessante Ergebnisse erhalten. Besonders wertvoll waren Untersuchungen über die Veränderung des Gehaltes an radioaktiven Stoffen bei Menschen, die nicht mit radioaktiven Substanzen arbeiten. Im Verlaufe von mehreren Jahren durchgeführte Beobachtungen an ein und derselben Versuchsperson ergaben, daß der Gehalt an radioaktiver Substanz im Organismus ständig zunahm. Normalerweise enthält der menschliche Körper 0,2 Masseprozent Kalium in Form des natürlichen Isotopengemisches, in dem sich Spuren des radioaktiven Isotops Kalium-40 befinden. Als Folge der Kernwaffenversuche traten daneben in ständig zunehmendem Maße zwei künstliche radioaktive Strahler auf, und zwar Cäsium-137 und Strontium-90, deren Strahlung schließlich die des Kalium-40 überschritt und zur Gefahr für die Körperzellen zu werden drohte. Die künstlichen Strahler gelangten hauptsächlich durch die Nahrung (Fische) in den Körper.

Inzwischen ist der Gehalt an radioaktiver Substanz im Wasser des Indischen Ozeans auf die Hälfte des vor 20 Jahren registrierten Betrages gesunken, wie eine sowjetische Forschungsexpedition feststellen konnte. Diese Feststellung bezieht sich allerdings nur auf das Oberflächenwasser. In 40 m Tiefe unter der Meeresoberfläche findet man nach wie vor hohe Gehalte an Strontium-90, das durch die Kernexplosionen entstanden ist.

Das Hochofenwerk – ein Kurbadeort

In Metallurgischen Kombinaten, wo die Hochofenschlacke in Wasser granuliert wird, ist der Geruch von Schwefelwasserstoff wahrzunehmen, etwa so, wie ihn

Patienten aus solchen Kurorten wie Mazesta, Pjatigorsk u. a. kennen. Diese äußere Übereinstimmung regte im Jahre 1916 M. P. Trunow an, Schlackenwasser für bärkundliche Zwecke auszunutzen. Auf Grund der erhöhten Temperaturen und der im Wasser enthaltenen Schwefelverbindungen erwartete er Heilerfolge bei Hauterkrankungen und chronischem Rheumatismus. Nach seinem Vorschlag wurde auf dem Gießplatz des Hochofenwerkes in Lipezk ein Badehaus gebaut. Dr. Trunow erzielte ausgezeichnete Heilerfolge. Ebenso gute Ergebnisse wurden aus dem Metallurgischen Kombinat Kertsch gemeldet.

Von der gleichen Beobachtung angeregt, setzte sich 1930 der Arbeiter A. I. Medwinskij energisch für den Bau eines Heilbades im Dnjepropetrowsker Metallurgischen Kombinat ein. Bereits im Sommer 1931 nahmen hier etwa 300 Kranke 3500 Heilbäder in Anspruch.

Gegenwärtig werden in einer ganzen Reihe metallurgischer Kombinate Heilbehandlungen mit Schlackenwasser durchgeführt. Mediziner haben ihre Zweckmäßigkeit nachgewiesen und befürworten den breiten Einsatz dieser Kurmöglichkeit in metallurgischen Betrieben. Nach Untersuchungen des Sverdowsker Forschungsinstitutes für Bäderkunde und Physiotherapie ist das Granulierwasser der Hochofenwerke zu den Sulfat-Chlorid-Kalzium-Natrium-Wässern zu zählen. Sein Schwefelwasserstoffgehalt beträgt etwa 20 mg/l. Das ist zwar weniger als im Mazestiner Wasser, hinsichtlich der physiologischen Wirkung auf den menschlichen Organismus hat es aber den gleichen Einfluß wie die Heilquellen von Mazesta und Pjatigorsk. In den Schlackenwasserbädern der Hüttenkombinate in Petrowsk und in Kosogorsk werden chronische Leiden des Stütz- und Bewegungsapparates, des peripheren Nervensystems sowie chronische Hautkrankheiten geheilt. Bei Gelenkentzündungen und Schuppenflechte ist die Behandlung in 65 bis 70 % der Fälle erfolgreich.

Alte Rezepturen

Mikrometallurgie

Ungewöhnliche

Formgebungsmethoden

Stahl in der Kälte

Warmfeste Werkstoffe

Einiges zur Technik der Eisenerzeugung



Alte Rezepturen

Die Metallurgen des Altertums besaßen großes Können in der Herstellung und Verarbeitung von Metall. Werkzeuge und Waffen aus dieser Zeit zeugen von der hohen Meisterschaft, mit der sie ihr Handwerk beherrschten. Dabei bestand alles Wissen lediglich aus generationenlang gesammelten Erfahrungen, ohne deren innere Zusammenhänge zu erkennen. Die Kenntnisse wurden von Generation zu Generation weitergegeben und waren meist streng gehütetes Familiengeheimnis. Es ist deshalb nicht verwunderlich, wenn die an sich richtigen Beobachtungen bei der Verarbeitung von Metall auf Grund von Zufallserscheinungen falsch gedeutet und mit abergläubischen Vorstellungen verwebt wurden und wenn man Unwesentliches für das Wesentliche hielt. Unter den Inschriften eines alten Tempels in Kleinasien wurde beispielsweise ein Rezept zum Härteln von Dolchen gefunden: »Solange erwärmen, bis er glüht wie die aufgehende Sonne in der Wüste. Danach auf Purpurrot abkühlen und in den Körper eines muskulösen Sklaven stechen. Die Kraft des Sklaven geht in den Stahl über und verleiht ihm die notwendige Härte.«

Gerade das Härteln wurde mit den wunderlichsten Vorstellungen verknüpft. So nahm man an, daß die dabei erzielte hohe Festigkeit von der geheimnisvollen Wirkung eines bestimmten Stoffes oder auch einer bestimmten Naturerscheinung herrihre. Es wird erzählt, daß die Damaszener Waffenschmiede ihre berühmten Klingen in den Bergschluchten schmiedeten, wo meist starke Nordwinde wehten. Diese galten als wesentlicher Einflußfaktor. Die hohe Qualität der Degen aus Toledo wurde durch geheimnisvolle Eigenschaften des Wassers erklärt, in dem diese Waffen gehärtet wurden. Noch im 17. Jahrhundert transportierte man Wasser mit Schiffen aus bestimmten Quellen von England nach Amerika, um dort die gleichen Ergebnisse beim Härteln von Stahl zu erreichen. Alte englische Patente weisen darauf hin, daß Feldspat als Zusatz zur Härteflüssigkeit notwendig sei. Auch die vermeintliche Umwandlung von Kohlenstoff in Diamant wurde zur Erklärung einer hohen Stahlhärte herangezogen.

Ähnlich kuriose Rezepte aus früherer Zeit, vermischt mit durchaus brauchbaren Hinweisen, findet man für viele Zweige der Herstellungs- und Verarbeitungstechnologie des Stahls.

Mikrometallurgie

Die moderne Technik kennt zwei Extreme. Zum einen die Entwicklung immer größerer Einrichtungen und Aggregate in der Metallurgie, zum Beispiel riesige Hochöfen mit 5 000 m³ Fassungsvermögen, Konverter mit mehr als 300 t Abstichgewicht und kilometerlange Walzstraßen. Auf der anderen Seite steht die Tendenz zur Miniaturisierung, wie sie heute in der höchstentwickelten Form bei der Mikroelektronik angewandt wird. Die Hinwendung zur Miniaturisierung beobachtet man aber in allen Zweigen der Technik und auch auf anderen Gebieten. Dem russischen Leser ist beispielsweise die Romangestalt Lewscha bekannt, ein Mann, der einen Floh herstellte, den man nur unter dem Vergrößerungsglas erkennen konnte. Zwar war dieses mikroskopisch kleine Tierchen nur ein Phantasieprodukt des Schriftstellers, doch kann von ähnlichen tatsächlich durchgeführten Arbeiten berichtet werden.

1974 versammelten sich in Moskau solche für die Herstellung ungewöhnlich kleiner Dinge berühmten Meister. Sie brachten mehr als 100 Arbeiten für die Ausstellung »Welt der Wunder« in das Polytechnische Museum mit. Unter den Exponaten befanden sich ein Motor in der Größe eines Staubkorns, der allerkleinste Globus der Welt und mehrere Dutzend anderer ungewöhnlicher Dinge. N. S. Sjadristi, Landwirt aus dem Kaukasus, gelang es, einen Floh nicht nur zu beschlagen, sondern auf jedem Hufeisen noch seine Initialen anzubringen. Außerdem stellte er eine Miniaturose her, die in einem ausgebohrten Haar Platz findet. Um sie zu erkennen, benötigt man ein Mikroskop mit 900facher Vergrößerung. Den Bürgern der Sowjetunion sind auch die ungewöhnlichen Arbeiten von dem Uraler Meister A. M. Sysoljatin bekannt. Können Sie sich eine Nähnadel mit 0,8 mm Durchmesser vorstellen, in der eine zweite und in dieser wiederum eine dritte mit 0,15 mm Durchmesser steckt? Oder einen Samowar von 5 mm Höhe, der aus mehreren Einzelteilen besteht?

Zuerst riefen solche phantastischen Miniaturen und die Kunstfertigkeit ihrer Hersteller nur Bewunderung hervor. Eine praktische Bedeutung maß man diesem interessanten Hobby nicht bei. Heute ist zu erkennen, daß auch sie einen bemerkenswerten Beitrag für den technischen Fortschritt leisteten. Mikrobiologen benötigten beispielsweise Instrumente für die Chirurgie an der lebenden Zelle. Da in- und ausländische Spezialfirmen einen entsprechenden Auftrag ablehnten, wur-

den sie von Sysoljatin hergestellt. Ihm gelang es, die geforderte Kleinheit der Mikrowerkzeuge noch zu unterbieten.

Ein von N. S. Sjadristi hergestelltes Bronchioskop rettete einem Kind das Leben. Dieser Meister erhält viele Aufträge zur Herstellung von Mikroinstrumenten von Ärzten, Wissenschaftlern und Ingenieuren. Im Forschungsinstitut für hochfeste synthetische Werkstoffe in Kiew entwickelte er verschiedenartige Messer und Nadeln.

Auch in der Metallurgie ist die Hinwendung zur Miniaturisierung bereits Geschichte. Beispiele aus der Sowjetunion sollen dies verdeutlichen. Im Institut für angewandte Physik an der Staatlichen Leningrader Universität begann man in den Jahren 1934 bis 1935 mit der industriellen Nutzung hochfrequenter Ströme zum Schmelzen, Härteln und Löten von Metallen. Nach der Methode des Flüssigpressens unter Verwendung von Hochfrequenzwärmung stellte A. W. Ulitowski auf sehr effektive Weise Kleinstteile her, von denen mehrere tausend Stück etwa 100 g wiegen. 1936 wurde im gleichen Forschungsinstitut Bandmaterial aus flüssigem Gußeisen mit 2 cm Breite und einigen Zehntelmillimetern Dicke erzeugt. Der Durchmesser der Walzen betrug 20 bis 30 mm. Ein Jahr später erfolgten im Werk »MOPR« Versuche zum Gießwalzen von Stahl.

Große Bedeutung für die Technik hat die Herstellung von Feinstdrähten. Am bekanntesten ist die Produktion von Bunt- und Edelmetall-Feinstdrähten. Auch aus Eisen wurden bereits sehr dünne Drähte hergestellt. In ihrer Feinheit kann man sie mit den Fäden von Spinnengewebe vergleichen, das heißt mit einem der dünnsten Naturfäden, die es gibt. Im Labor für kalibrierte Metalldrähte eines Forschungsinstitutes in Magnitogorsk wurde die Produktion feinster Eisendrähte, die dünner als ein Menschenhaar sind, aufgenommen.

Besonders interessant ist die Herstellung von Feinstdrähten mit Überzügen. In den Jahren 1952 bis 1956 stellte A. W. Ulitowski einen Feindraht mit Glasisolation her. Für diese Arbeit erhielt er 1960 den Leninpreis.

Im Kiewer Forschungsinstitut für Elektrogerätebau wurde ein Verfahren zur Herstellung von isolierten Drähten entwickelt, von denen 12 000 km nur ein Kilogramm wiegen. Ihr Durchmesser beträgt zusammen mit der Isolation nur 4 μm , und ihr großes Biegevermögen erlaubt es, sie auf 20 bis 30 μm dicke Spulen aufzwickeln.

In der UdSSR gibt es mehrere Werke für Feindrahtherstellung. Führend auf diesem Gebiet ist ein Kiewer Betrieb, dessen Produkte durch 70 Patentanmeldungen geschützt sind und in 30 Länder exportiert werden.

Immer wichtiger für die Technik werden feine und feinste Metallbänder. Auch hier standen zunächst Bunt- und Edelmetalle im Mittelpunkt des Interesses. Heute gelingt es aber auch, hochschmelzende Metalle und Stahl auf sehr niedrige Banddicken zu walzen. Die Mitarbeiter der Forschungsinstitute für metallurgische Maschinen und für Schwarzmetallurgie entwickelten ein Walzgerüst, das in einem Koffer Platz findet. Der Durchmesser der einzelnen Walzen beträgt 1,5 mm. Auf diesem Gerüst können Bänder gewalzt werden, die um das 50fache dünner als das Menschenhaar sind.

Zum Walzen von sogenanntem Pulverband dient ein kaum mannshohes Miniaturwalzgerüst, das in Kiew geschaffen wurde und nur eine Fläche von 25 m^2 einnimmt. Es werden Eisen-, Wolfram- und rostfreie Stahlbänder erzeugt, die dünner sind als eine Rasierklinge. Ausgangsprodukt ist ein Pulver aus den entsprechenden Werkstoffen, das zu einem sogenannten Grünband gepréßt und in einem Ofen gesintert wird. Je nach der Sintertemperatur und den nachfolgenden Walzbedingungen kann man mehr oder weniger dichte Werkstoffe erzielen. Poröse Bänder dienen beispielsweise als Filtermaterial, mit dessen Hilfe verschmutztes Öl oder Flugzeugkraftstoff filtriert und dadurch vollständig gereinigt werden kann.

Die Mikrotechnik hat sich das Gebiet des Schmelzens erobert. Vor allem für wissenschaftliche Untersuchungen, aber auch für die direkte technische Verwertung wurden Schmelzeinrichtungen gebaut, die mit ganz geringen Schmelzmassen, z. B. 10 g, arbeiten. Sie sind meist induktiv beheizt. Es wird aber auch der Lichtbogen, Elektronenstrahl oder Plasmastrahl als Wärmequelle verwendet. Da es darum geht, Schmelzen mit höchster Reinheit oder mit genau definierter Zusammensetzung zu erzeugen, wird unter Vakuum oder Schutzgas gearbeitet.

Besonders wichtig ist bei diesem Verfahren das Tiegelmaterial. Infolge seiner Wechselwirkung mit dem Metall stellt es oftmals eine Quelle für Verunreinigungen dar. Beim sogenannten Schwebeschmelzen ist auch diese Gefahr völlig ausgeschaltet. Hochfrequenzinduktoren sorgen hierbei sowohl für das Schmelzen des Metalls als auch für ein elektromagnetisches Feld, in dem der Metalltropfen frei schwebt. Kleine Metall-

mengen können in einem solchen Ofen in 2 bis 3 Minuten auf 2000 bis 3000 °C erwärmt werden. Aus geprästem pulverförmigem Ausgangsmaterial können auf solche Weise homogene Schmelzen der gewünschten Zusammensetzung hergestellt werden. Als Abschluß des Prozesses kann die Schmelze im schwebenden Zustand eingefroren oder – ohne Berührung mit irgend einem Zwischengefäß – in eine Kupferkokille überführt werden. Ein solcher Schwebeschmelzofen wurde von Wissenschaftlern des Joffe-Instituts der Akademie der Wissenschaften der UdSSR unter Leitung von A. A. Vogel gebaut. Natürlich werden auch wissenschaftliche Untersuchungen an Metallschmelzen unter den genannten Bedingungen sehr erleichtert. Einerseits gelingt es, störende Reaktionen auszuschalten, andererseits wird die Wirtschaftlichkeit und Produktivität der Laborarbeiten wesentlich erhöht.

Ungewöhnliche Formgebungsmethoden

Die traditionellen Verfahren der spanlosen Formung von Metallen sind das Gießen und Schmieden, Walzen und Ziehen. Auch im Zeitalter der wissenschaftlich-technischen Revolution sind sie noch die wichtigsten Verfahren zur Herstellung von Halbzeug. Sie unterliegen aber auch heute noch ständigen Verbesserungen, wobei die Metallurgen danach streben, auf dem Wege zum Fertigprodukt immer mehr Prozeßstufen einzusparen und das Halbzeug hinsichtlich Gestalt und Abmessung dem Finalprodukt möglichst weitgehend anzunähern. Beim Walzen ist das für Schienen, Träger und Rohre bereits gewährleistet. Die größere Menge der Walzprodukte unterliegt aber im Maschinenbau einer weiteren, insbesondere spanabhebenden Bearbeitung. Die dabei auftretenden Metallverluste sind sehr hoch und betragen in der UdSSR jährlich mehr als 8 Millionen Tonnen. Überall in der Welt zielen deshalb die Anstrengungen sowohl von Stahlerzeugern als auch Stahlverarbeitern darauf ab, in dieser Hinsicht Verbesserungen zu erreichen. Eine sehr wichtige Rolle spielen dabei die in den letzten Jahrzehnten sehr stark weiterentwickelten Kaltumformverfahren, wie das Tiefziehen oder das Kaltfließpressen.

Aber auch das Walzen selbst wurde in diesem Sinne

weiterentwickelt. Von einem solchen abgewandelten Walzverfahren, dem sogenannten Querwalzen, soll im folgenden berichtet werden. Der Hauptunterschied der neuartigen Walzgerüste im Vergleich zu den üblichen besteht darin, daß die Walzen nicht mehr parallel, sondern unter einem bestimmten Winkel zueinander angeordnet sind. In Verbindung mit einer ungewöhnlichen konischen Gestaltung der Walzen liegt eine veränderte Wirkung der Kräfte bei diesem Prozeß vor. Es ist möglich, das Halbzeug nicht nur längs, sondern auch quer zu verformen. Das Walzgut nimmt an diesem Prozeß selbst aktiv teil und scheint sich zwischen die Walzen hineinzuschrauben. Das Verfahren ist für die Herstellung von Rotationskörpern mit glatter und gerippter Oberfläche sehr gut geeignet. Durch die Rotation des Walzgutes während seiner Bearbeitung wird eine hohe Maßgenauigkeit der Teile erzielt. Bei zahlreichen so herstellbaren Werkstücken ist im Vergleich zum Schmieden oder Gesenkschmieden dieses neue Verfahren drei- bis viermal produktiver und führt zu einem weit höheren Ausbringen an Stahl. Als Beispiel kann die Herstellung von Kugeln mit 25 bis 45 mm Durchmesser genannt werden. Die Maßhaltigkeit sowie die Oberflächenqualität ist besser als beim Schmieden oder Gesenkschmieden. Bei der Produktion von Ringen und profilierten Buchsen ist das Querwalzen ebenfalls schon in Anwendung. Durch die Einführung dieses Walzverfahrens für die Massenproduktion von Außen- und Innenkugellagerringen in der UdSSR war es möglich, schwere körperliche Arbeit zu ersetzen, die Selbstkosten zu verringern und das Metallausbringen zu erhöhen. Im Charkower Fahrradwerk wurde die Erzeugung von Radnaben nach diesem Verfahren eingeführt. Dadurch sank der Materialeinsatz für die Naben um 30 %, und die Produktivität stieg von 1000 auf 7 000 Stück in einer Schicht. Die Produktion konnte vollständig automatisiert werden.

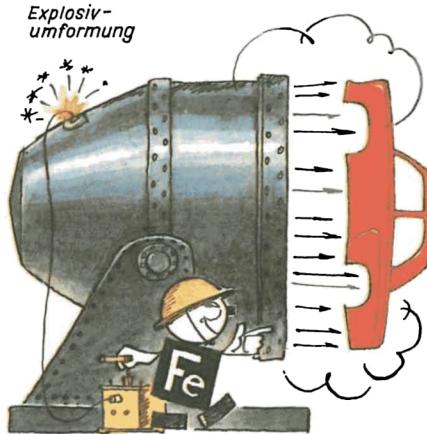
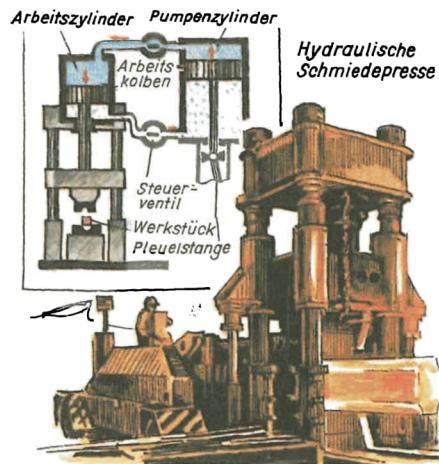
Auch für die Herstellung von Gewinden ist der Einsatz des neuen Walzverfahrens erfolgversprechend. Für kleine Schrauben mit 2 bis 5 mm Ganghöhe und weniger als 150 mm Länge wird im modernen Maschinenbau das sogenannte Gewinderollen angewendet. Schrauben mit größerem Gewinde, Ritzel und Halbzeuge für Ritzelkörper sowie andere Teile mit Schraubenoberfläche stellt man aber bislang ausschließlich durch spanende Bearbeitung her. Hierzu sind viele teure Werkzeuge und der Einsatz von Werkzeugmaschinen und Werkzeugmachern erforderlich. Hinzu kommt der Anfall einer großen Menge von

Spänen. Sowjetische Fachleute arbeiteten auch für solche Gewinde ein hochproduktives Herstellungsverfahren auf der Basis des Querwalzens aus. Das Gewinde wird nicht sofort auf der gesamten Halbzeugoberfläche aufgebracht wie beim »Rollen«, sondern durch das Walzen eines Gewindeganges nach dem anderen. Das verringert die Bearbeitungskräfte erheblich, so daß auch große Gewinde gewalzt werden können. Es ist ferner möglich, auf Schraubenbolzen Gewinde mit unbegrenzter Länge herzustellen. Die Leistung des Walzgerüstes bei der Erzeugung von Gewinden beträgt 0,3 bis 1,2 m/min, was dem Zehnfachen der Leistung von Gewindeschneid- und Gewindefräseinrichtungen entspricht.

Besonders wirksam und aussichtsreich ist die Einführung neuer Methoden für die Herstellung von Zahnrädern, Ritzeln, Keilwellen und ähnlichen Teilen. In der UdSSR werden zur Zeit jährlich 300 Millionen Zahnräder erzeugt. Um den wachsenden Bedarf mit den normalen Methoden zu befriedigen, müßte der Park an zahnradbearbeitenden Maschinen um etwa 5 000 bis 6 000 Aggregate erhöht werden. Gegenwärtig lassen sich aber etwa 40 % der Produktion durch Walzen erzeugen. Zur Verwirklichung dieser Aufgabe sind nur 300 neue Anlagen für das Walzen von Zahnrädern notwendig.

In der UdSSR wurde das Warmwalzen von Ritzeln zuerst bei dem Betrieb »Roter Metallurg« in Konecnye eingeführt. Bis zum Jahre 1971 sind so bereits mehr als 15 Millionen Ritzel hergestellt worden. Die Walzmaschinen haben eine 15- bis 20fach größere Leistung als die Zahnradschneidmaschinen. Gegenwärtig sind sie auch schon in anderen Betrieben im Einsatz. Dabei sinken Stahlverbrauch und Arbeitsaufwand; außerdem besteht die Möglichkeit zur Automatisierung der Produktion.

Neben der Verbesserung der althergebrachten Formgebungsmethoden haben sich auch völlig neue Prozesse durchgesetzt, bzw. ihr Einsatz zeichnet sich ab. Umformverfahren unter Verwendung sehr hoher Drücke, von Magnetfeldern und Explosionsenergie seien in diesem Zusammenhang genannt. Sie sind vor allem für die Herstellung komplizierter Teile und die Verarbeitung schwer umformbarer Werkstoffe von Bedeutung. Beim Einsatz solcher spezieller Verfahren ist es möglich, Eigenschaftsveränderungen des Werkstoffes herbeizuführen, die sich bei den klassischen Umformungen nicht verwirklichen lassen. Besonders offensichtlich sind diese Vorteile beim sogenannten hydrostatischen Pressen, wobei ein Werkstoff einem



allseitigen sehr hohen Druck ausgesetzt wird. Unter solchen Bedingungen ändern die Metalle ihre Eigenschaften. Bei einer schlagartigen Druckbeanspruchung von 900 000 MPa steigt die Dichte des Eisens auf das Doppelte. Die dabei im Eisen gespeicherte Energie übertrifft die Explosionsenergie von Trotyl.

Nach dem genannten Preßverfahren kann man spröde, sonst nicht knetbare Werkstoffe spanlos umformen. Diese Verformung bewirkt eine merkliche Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, wodurch zum Beispiel auf eine zusätzliche Wärmebehandlung verzichtet werden kann.

Die UdSSR ist einer der größten Hersteller von Maschinen und Ausrüstungen für die Metallbearbeitung. Das wurde auf der Ausstellung für Preß- und Schmiedeausrüstungen »Pressen '75« in Moskau demonstriert. Unter anderem entwickelten die Ingenieure von Uralmasch eine vertikale hydraulische Schmiedepresse mit 500 MN Preßkraft und horizontaler Hohldornvorrichtung mit 200 MN Preßkraft.

Das Institut für Hochdruckphysik der Akademie der Wissenschaften der UdSSR besitzt eine 500-MN-Presse, eine in der Welt einmalige Einrichtung für ein wissenschaftliches Institut.

Wenn man weiß, daß die einzelnen Baugruppen eine Masse bis 100 t haben, kann man sich eine Vorstellung von den Abmessungen dieser Maschinen machen. Sie wird für die Durchführung wissenschaftlicher Forschungsarbeiten eingesetzt.

Stahl in der Kälte

In Jakutien sind niedrige Temperaturen bis -65°C keine Seltenheit. Hier wird Stahl außerordentlichen Beanspruchungen ausgesetzt. Im Winter sind an den Wegrändern zerbrochene Kupplungen, Halbachsen und andere Fahrzeugteile zu sehen, die durch Schlagbeanspruchungen in Scherben zersprungen sind. Nicht umsonst müssen die dortigen Fahrzeugführer über fast alle Stahl- und Gummisorten Bescheid wissen, die die sowjetische Industrie erzeugt. Die Zahl ausfallender Ausrüstungen ist unter den Bedingungen des hohen Nordens im Winter um das Zweifache, bei Anhängerkupplungen sogar um das Zehnfache größer als im Sommer.

Viele Stähle versprüden bei tiefen Temperaturen. Aus aller Welt sind damit im Zusammenhang stehende

Unglücksfälle bekannt, zum Beispiel die Zerstörung von Eisenbahn- und Straßenbrücken, Lastschiffen und Erdöltankern sowie Gasleitungen. Besonders nachdem das Schweißen von Stahl sich in großem Umfang durchgesetzt hatte, häuften sich solche Vorkommnisse. Etwa nach dem zweiten Weltkrieg setzte überall in der Welt eine intensive Forschungsarbeit ein, um vor allem Baustähle für Schweißkonstruktionen sprödbruchunempfindlicher zu machen.

Heute existieren in verschiedenen Festigkeitsklassen schweißbare Baustähle, die auch im hohen Norden gefahrlos eingesetzt werden können. Sie enthalten meist geringe Zusätze an sogenannten Mikrolegerungselementen, die zur Festigkeits- und Zähigkeitssteigerung beitragen. Die bekanntesten Elemente mit einer solchen Wirkung sind Niob, Vanadin, Titan und Zirkon. Bereits mit sehr geringen Mengen, z. B. weniger als 0,05 % Niob, können bedeutende Wirkungen erzielt werden.

Aus der Sowjetunion wird von einem Stahl mit der Bezeichnung »Nordländer« berichtet, der für Erdgasleitungen in den nördlichen Teilen der UdSSR verwendet wird. Er wurde von S. M. Baranow entwickelt und wird im Metallurgischen Kombinat Tscherepowezk hergestellt. Für die Herstellung von Fahrgestellen und automatischen Güterwagenkupplungen setzt man in der UdSSR einen hochfesten und sprödbruchsicheren vanadinlegierten Stahl ein. Er entstand aus der Zusammenarbeit der Universität Donezk, des Uraler Forschungsinstitutes für Schwarzmetalle und dem Kombinat Uraler Waggonbau. Seit einiger Zeit werden Bagger, Amphibienfahrzeuge, Lastkraftwagen und Stahlbehälter mit 20 bis 50 000 m^3 Fassungsvermögen für arktische Gebiete in »Nordausführung« hergestellt. Bestimmte Prozesse in der Technik laufen bei noch sehr viel niedrigeren Temperaturen ab, als sie im Winter in der Arktis herrschen. Hierzu zählt beispielsweise die Verflüssigung von Luft, Erdgas sowie Erdölprodukten und ihre fraktionierte Destillation. Für die Herstellung der entsprechenden Apparaturen, Behälter und Rohrleitungen sind Stahlsorten erforderlich, die bei den entsprechenden Temperaturen genügend zäh sind. Das gleiche trifft auch für die Tankbehälter zur Aufbewahrung von verflüssigten Gasen, zum Beispiel Propan-Butan-Gemischen, Ammoniak usw., zu. Hierfür sind grundsätzlich die sogenannten austenitischen hochlegierten Chrom-Nickel-Stähle geeignet, die auch bis zu den tiefsten technisch ausgenutzten Temperaturen ihre guten Zähigkeitseigenschaften beibehalten. Le-

der sind sie auf Grund des hohen Nickel- und Chromgehaltes sehr kostspielig. Es gibt aber auch eine Reihe anderer, niedriger legierter Stahlsorten, die bei Tiefsttemperaturen eingesetzt werden können. Hervorzuheben sind dabei die nickelhaltigen Stähle, deren Nickelgehalte je nach der Arbeitstemperatur gestaffelt sind. Der bekannteste Stahl dieser Reihe enthält 9 % Nickel. Er hat noch bei -196°C ausreichende Zähigkeiteigenschaften, um für Tanks und Behälter eingesetzt zu werden, die zur Erzeugung und Aufbewahrung von flüssigen Gasen dienen.

Die Anwendung tiefer Temperaturen bedeutet zwar für viele Stähle die Zunahme der Neigung zum spröden Bruch, andererseits erhöhen sich dadurch aber Festigkeit, Härte und Elastizität. Bei bestimmten Stahlgruppen kann eine Tieftemperaturbehandlung zu Veränderungen im Gefüge führen, die das Werkstoffverhalten gegenüber speziellen Beanspruchungen verbessern. So kann beispielsweise eine Tieftemperaturbehandlung von Stählen für maßbeständige Teile von besonderem Vorteil sein.

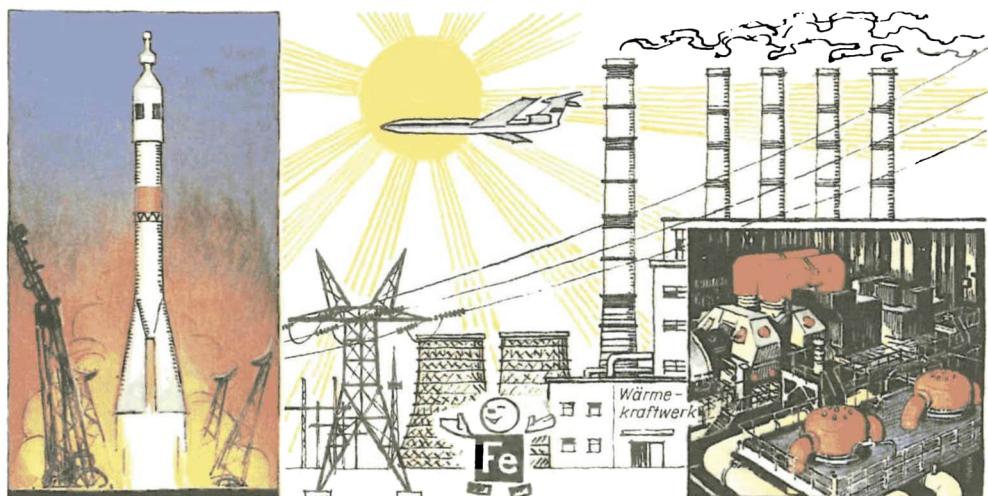
Warmfeste Werkstoffe

Von der Arbeit des Metallurgen hängt in hohem Maße der Wirkungsgrad wärmetechnischer Anlagen ab. Bekanntlich wird dieser um so besser, je höher die Arbeits-

temperatur der Wärmekraftmaschine liegt. Die Warmfestigkeit der Werkstoffe für den Bau derartiger Anlagen ist deshalb der Dreh- und Angelpunkt für die Energieausnutzung. Die zur Zeit üblichen Werkstoffe für hohe Temperaturen sind Stähle und Legierungen auf der Basis von Eisen, Nickel, Chrom, Kobalt und weiteren Legierungselementen.

Den stärksten Impuls für die Weiterentwicklung in den letzten 20 bis 40 Jahren gab der Gasturbinenbau. Die Entwicklung von Triebwerken für Flugzeuge bis zum heutigen Stand wäre undenkbar ohne die warmfesten Legierungen auf der Basis der Elemente Chrom, Nickel und Kobalt. Andere wichtige Einsatzgebiete für warmfeste Stähle und Sonderlegierungen sind Gasturbinen für Schiffe sowie zur Stromerzeugung, insbesondere im Spitzenlastbetrieb, für Aggregate des chemischen Apparatebaues und für Konstruktionselemente in metallurgischen Öfen. Die Auswahl der zum Einsatz kommenden Werkstoffe richtet sich nach der Dauer ihrer Beanspruchung. Je nachdem, ob der Einsatz in einem kurzlebigen oder langlebigen Aggregat erfolgt, sind Prüfungen über einige hundert bis zu hunderttausend Stunden erforderlich.

Je nach Legierung und Wärmebehandlung können Werkstoffe besser für die Kurzzeit- oder für die Langzeitbeanspruchung geeignet sein. Belastungen bei sehr hoher Temperatur über kurze Zeiten sind beispielsweise Teile von Raketen und kosmischen Apparaturen ausgesetzt. Für sie wurden Werkstoffe auf der Basis



schwerschmelzender Metalle, nichtmetallischer Verbindungen und Kombinationen dieser beiden Komponenten entwickelt. Im letztgenannten Fall ist Metall der Basiswerkstoff, während die Verbindung mehr oder weniger gleichmäßig in Form disperser Teilchen im Metallvolumen verteilt ist. Erstmalig wurden solche Gemische mit Zusätzen von 0,5 bis 20 % Aluminiumoxid erprobt.

Heute gibt es verschiedene solcher aus einer keramischen und einer metallischen Komponente bestehenden »Cermet«-Werkstoffe. Sie zeichnen sich durch eine hohe Warmfestigkeit aus, sind aber schwierig verarbeitbar und besitzen keine große Zähigkeit. Nach einem amerikanischen Vorschlag können diese Nachteile beseitigt werden, wenn die beiden Komponenten in umgekehrter Verteilung vorliegen, d. h. in einer warmfesten Grundmasse, in der metallische kugelförmige Teilchen mit niedrigerer Schmelztemperatur eingebettet sind.

An dem Beispiel der UdSSR lässt sich die stürmische Entwicklung beim Einsatz von Werkstoffen für hohe Temperaturen gut verfolgen. Bis 1941 wurden in der UdSSR etwa 20 warmfeste und zunderbeständige

Stähle und nur 3 hochwarmfeste Legierungen auf der Basis von Nickel und Kobalt erzeugt. In den Nachkriegsjahren setzte eine schnelle Herausbildung der hochwarmfesten Legierungen auf Nickelbasis ein, deren Herstellung heute in breitem Umfang erfolgt. Die Arbeitstemperaturen für diese Werkstoffe liegen in den Grenzen von 500 bis 700 °C. Für den Schaufelkomplex von Dampfturbinen wurde von den Wissenschaftlern des Institutes »Polsunow« für Kessel und Turbinen die Legierung EI-929 WD entwickelt, deren Einsatz die Erhöhung der Eintrittstemperaturen auf 800 bis 900 °C ermöglicht.

Nach Äußerungen des Akademiemitgliedes N. M. Shaworonkow widmet sich die Aufmerksamkeit der sowjetischen Wissenschaft heute besonders den Legierungen, die Chrom, Wolfram, Molybdän, Niob, Tantal oder Rhenium enthalten. Bei den keramischen hochwarmfesten Werkstoffen beanspruchen Metalloxide der Elemente Zirkon, Zer, Thorium und Hafnium sowie Karbide, Nitride, Boride und Silizide besonderes Interesse. Kohlenstoffhaltige anorganische Polymere mit Titan und Hafnium besitzen zum Beispiel einen noch höheren Schmelzpunkt als Wolfram.

Intensivierung der Prozesse
Automatisierung der Prozesse
Die direkte Eisengewinnung
Die kontinuierliche
Stahlherstellung
Das Elektronenstrahl-
und Plamaschmelzen

Eisen und die wissen- schaftlich- technische Revolution



Intensivierung der Prozesse

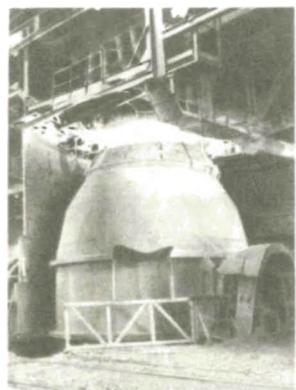
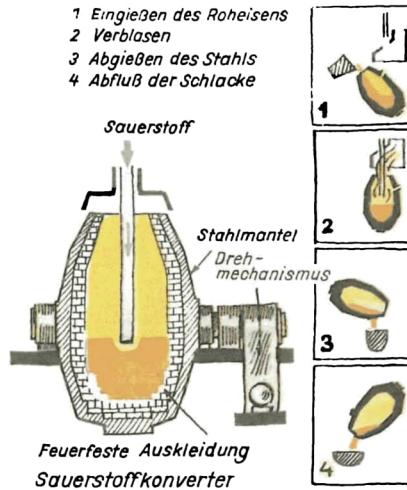
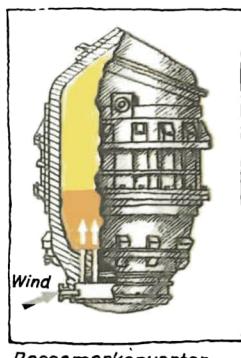
Die Entwicklung der Eisenmetallurgie kann in Etappen aufgegliedert werden, die sich jeweils durch eine qualitativ neue Stufe der metallurgischen Technik auszeichnen. Der Übergang von einer Stufe zur folgenden war immer von einer sprunghaften Steigerung der Produktion begleitet. Wie in anderen Produktionszweigen auch, werden dabei neue technische Lösungen wirksam, die zu einem Austausch der Produktionsmittel führen. Die 3 000jährige Geschichte der Schwarzmetallurgie im europäischen Raum lässt sich in 5 Hauptetappen einteilen. Die erste Etappe begann irgendwann zwischen dem 2. und 1. Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung und reichte bis zur Mitte des 14. Jahrhunderts. In dieser Entwicklungsstufe war das Renn-Verfahren die wichtigste Methode der Eisengewinnung. Im Rennfeuer konnten höchstens 0,5 bis 0,6 kg schweißbares Eisen in der Stunde erzeugt werden. In die gleiche Zeitspanne fällt auch die gesellschaftliche Arbeitsteilung in Ackerbauern und Handwerker.

In der zweiten Etappe entwickelte sich das zweistufige Verfahren zur Stahlgewinnung. Während im Rennfeuer Stahl direkt aus Erz gewonnen wurde, trat jetzt das im Hochofen erzeugte Roheisen als Zwischenprodukt auf. Dieser »Umweg« führte aber zu einer wesentlichen Produktionssteigerung. Die Stundenleistung der Flammöfen, in denen das Roheisen zu so-

genanntem »Schweißeisen« verarbeitet wurde, lag bei 40 bis 50 kg. Sowohl die das Roheisen erzeugenden Hochöfen als etwas später auch die Flammöfen waren mit Gebläsen ausgerüstet, die mit Hilfe von Wasserrädern betrieben wurden.

Die dritte Etappe begann im ausgehenden 18. Jahrhundert. Sie ist gekennzeichnet durch den immer stärkeren Einsatz mineralischer Brennstoffe anstelle von Holzkohle bei der Erzeugung und Verarbeitung des Roheisens. Die Wasserräder wurden durch Dampfmaschinen ersetzt. Der Einsatz dieser neuen Technologie war wiederum mit einem starken Anstieg der Roheisen- und Stahlproduktion verbunden. Die das Schweißeisen erzeugenden Öfen lieferten bis zu 140 kg in der Stunde.

Die vierte Etappe begann Ende des 19. Jahrhunderts. Sie war verbunden mit drei neuen Stahlerzeugungsprozessen: dem Bessemer-Verfahren, dem Thomas-Verfahren und dem Siemens-Martin-Verfahren. Mit diesen Verfahren begann das Zeitalter des sogenannten Flußeisens; während das Schweißeisen der vergangenen Perioden wegen der nicht ausreichend hohen Temperaturen im teigigen Zustand aus den Öfen ausgebracht werden mußte, gelang es nun, flüssigen Stahl herzustellen. Das Ausbringen von flüssigem Metall war wesentlich einfacher, so daß die Schmelzaggregate bedeutend vergrößert werden konnten. Schon in der Anfangsperiode betrug die Stundenleistung eines Konverters etwa 6 t. Nunmehr wurde Stahl



zum wichtigsten Konstruktionsmaterial. In diese Etappe fällt auch der breite Einsatz elektrischer Antriebe in der Technik.

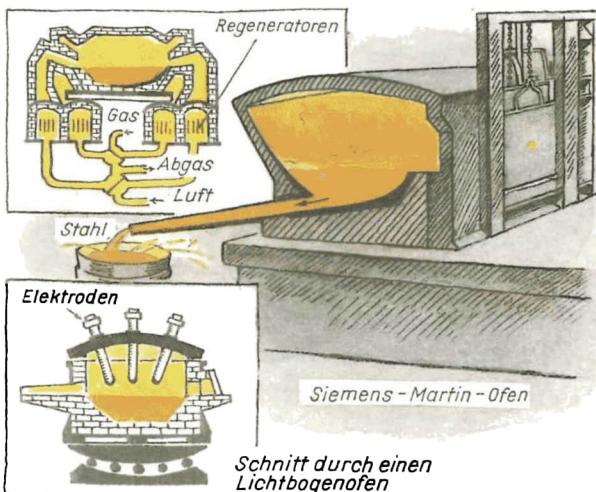
Die fünfte Entwicklungsetappe der Schwarzmetallurgie begann in den 50er Jahren unseres Jahrhunderts und ist mit der wissenschaftlich-technischen Revolution verknüpft. Die Hauptmenge des Stahles wird nach wie vor nach dem zweistufigen Verfahren erzeugt, obwohl, wie später noch zu zeigen sein wird, große Anstrengungen unternommen werden, einen direkten Weg der Eisengewinnung zu beschreiten. Die Erzeugungsaggregate haben inzwischen aber ein enormes Fassungsvermögen und eine sehr hohe Leistungsfähigkeit erreicht. So erzeugt beispielsweise ein Hochofen von 4000 m^3 Nutzvolumen täglich 10 000 t Roheisen. Bei der Verarbeitung des Roheisens und der immer größer werdenden Schrottmenge zu Stahl ist die derzeitige Entwicklungsetappe durch wesentliche Veränderungen gekennzeichnet. Bessemer-, Thomas- und Siemens-Martin-Verfahren werden immer mehr durch die Sauerstoff-Konverter-Verfahren und das Elektrolichtbogenofen-Verfahren zurückgedrängt. Das Auf- oder Durchblasen von reinem Sauerstoff im Sauerstoff-Konverter führte gegenüber der Verwendung von Luft im Thomas- und Bessemer-Konverter zu einer weiteren Verkürzung der Schmelzzeit. Einige Beispiele aus der UdSSR kennzeichnen den Entwicklungsstand. Am 29. April 1974 erfolgte im Sauerstoffaufblaswerk des Westsibirischen Metallurgischen Kombinates der erste Abstich. Die

dortigen Konverter haben ein Fassungsvermögen von 350 t und verbrauchen 1200 m^3 Sauerstoff in der Minute. Die Schmelzzeit verkürzte sich gegenüber dem 100-t-Konverter um 10 Minuten.

Am 15. Dezember 1974 erfolgte der erste Abstich des 300-t-Konverters im Sauerstoffaufblaswerk Nr. 2 des Metallurgischen Kombinates Nowolipezk. Es hat eine Kapazität von 4 Millionen Tonnen Stahl im Jahr. Jeder Konverter besitzt jeweils zwei Sauerstofflanzen (eine Arbeitslanze und eine Reservelanz) und verbraucht bis zu 1500 m^3 Sauerstoff in der Minute. Der Schmelzyklus beträgt 36 min, davon entfallen 15 min auf das Blasen.

Die in früheren Jahrzehnten vorwiegend für die Qualitäts- und Edelstahlerzeugung verwendeten Elektrolichtbogenöfen werden mit immer größerem Fassungsvermögen gebaut und heute auch zur Massenstahlproduktion eingesetzt. Bei einem Fassungsvermögen von beispielsweise 150 t sind sie in der Lage, in der Stunde 75 t zu erzeugen. Gegenüber einem Konverter haben sie den Vorteil, daß sie mit 100 % kaltem Schrott beschickt werden können.

Bei der weiteren Verarbeitung des flüssigen Stahles ist die gegenwärtige Entwicklungsetappe ebenfalls durch ein neues Verfahren gekennzeichnet. Immer mehr Stahl wird anstatt zu Blöcken jetzt kontinuierlich zu Strängen vergossen. Diese Technologie erleichtert vor allem die Arbeitsbedingungen der Stahlwerker und hat ökonomische Vorteile.



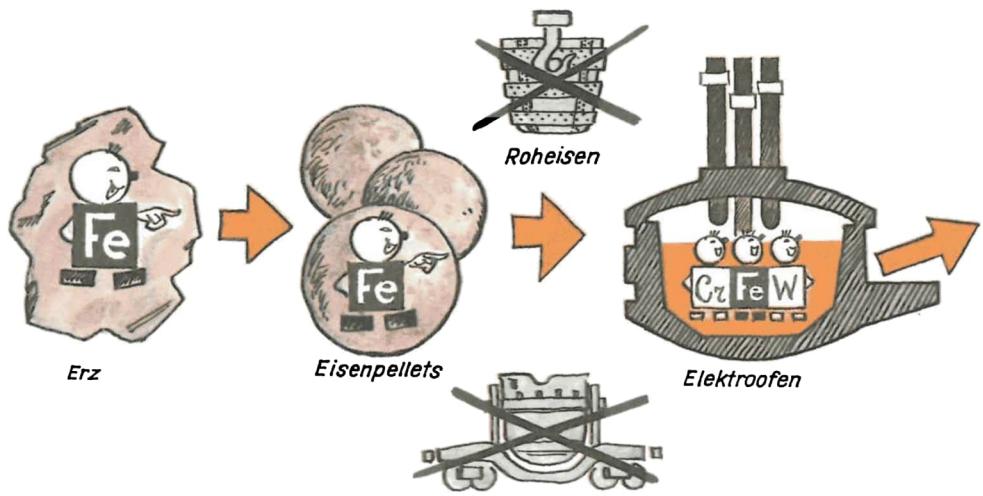
Elektroofen

Automatisierung der Prozesse

Wie in allen Industriezweigen kommt auch in der Schwarzmetallurgie der wissenschaftlich-technische Fortschritt in der Automatisierung der Produktionsprozesse und in einer verstärkten Anwendung der elektronischen Datenverarbeitung zum Ausdruck. So ist die hohe Leistung der neuen Konverterbetriebe in den westsibirischen und Nowolipezker Metallurgischen Kombinaten nicht allein durch die Sauerstoffaufblasverfahren, sondern auch durch die komplexe Mechanisierung und Automatisierung und den breiten Einsatz der Elektronik für die Steuerung der Prozesse begründet. Den Stahlwerkern steht ein automatisiertes Steuersystem für die technologischen Prozesse zur Verfügung. Im Nowolipezker Betrieb wurden sechs Rechenzentren geschaffen: Drei übernehmen die Steuerung der Schmelzprozesse, zwei bedienen die Gießmaschinen, und eins steuert die gesamte Abteilung.

Die Reaktionen im Sauerstoffkonverter laufen 10- bis 15mal schneller ab als im Siemens-Martin-Ofen, wodurch die Kontrolle des Prozesses erschwert wird. Erst am Ende des Prozesses kann die Qualität der Schmelze bewertet werden. Es ist also notwendig, veränderliche Eingangs- und Prozeßdaten schnell zu erfassen, um das richtige Blasregime zu ermitteln. Für einen 300-t-Konverter ist hierfür eine Informationsbearbeitung von

ständlich 28 000 bis 35 000 Bit notwendig. Ohne den Einsatz der modernen Rechentechnik wäre das gar nicht zu bewältigen. Die zum Teil noch unzureichende Durchdringung der Prozesse gestattet aber gegenwärtig noch nicht die effektivste Ausnutzung der EDV. Im internationalen Maßstab arbeiten von den im Einsatz befindlichen Rechnern die meisten in Walzwerken. In den sowjetischen Betrieben und Organisationen des Ministeriums für Schwarzmetallurgie wurden bis 1970 über 100 Datenverarbeitungseinrichtungen aufgestellt. In den metallurgischen Betrieben des Landes arbeiten mehr als 3 000 lokale Systeme und etwa 60 automatisierte Steuersysteme für technologische Prozesse unter Einsatz der EDV. Eine hohe Effektivität besitzen die in der Schwarzmetallurgie arbeitenden 19 automatisierten Steuersysteme zur Festlegung der Schnittlängen beim Walzen. Dadurch wird jährlich ein Verlust von 181 200 t Metall vermieden, was etwa 1 % der Produktionskapazität der betreffenden Walzwerke ausmacht. Der Jahresnutzen beträgt dabei etwa 3,2 Millionen Rubel. In den letzten beiden Jahren des neunten Fünfjahrplanes sind noch weitere zwölf derartige Systeme installiert worden. Insgesamt erbrachte die Automatisierung der Hochöfen und Sauerstoffkonverter im neunten Fünfjahrplan zusätzlich etwa 1 Million Tonnen Roheisen und 1 bis 1,2 Millionen Tonnen Stahl. Für die Volkswirtschaft ist ein solcher Zuwachs notwendig. Allerdings, wenn man sich dabei vor Augen hält, daß dies nur etwa 1 % der Gesamt-



produktion des Industriezweiges ist, dann sind die derzeitigen Resultate der Automatisierung als noch recht bescheiden zu bezeichnen.

Die Entwicklung der Automatisierung in der Metallurgie wird aber durch den gemischten Produktionscharakter erschwert; neben kontinuierlichen finden wir zahlreiche periodische Prozesse. Die Automatisierung ändert nichts am Wesen der technologischen Prozesse, sie ermöglicht nur deren optimalen Ablauf, und zwar ist ihr Nutzen am größten bei kontinuierlichen Prozessen. Für eine wesentliche Effektivitätssteigerung der metallurgischen Produktion ist es deshalb eine notwendige Voraussetzung, daß neue Lösungen gefunden werden, die von den traditionellen Prozessen abgehen und den Weg frei machen zur Verwirklichung einer komplexen Steuerung des gesamten Produktionszyklus mit Hilfe der EDV.

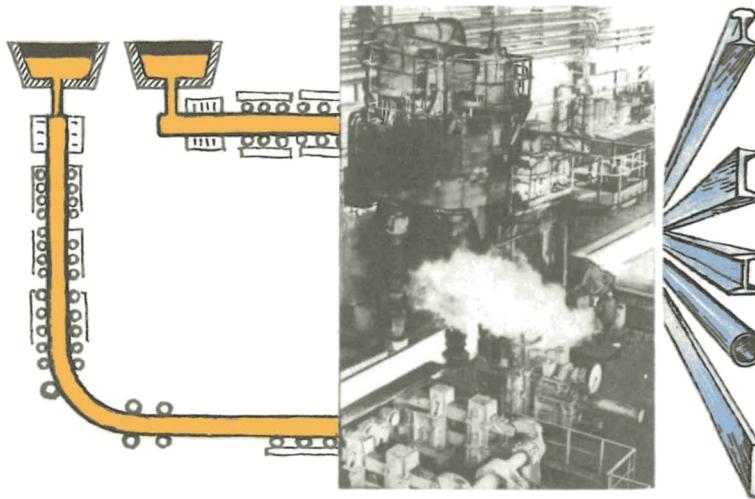
Die direkte Eisengewinnung

Als »direkte« Eisengewinnung wird die unmittelbare Umwandlung der Eisenerze in metallisches, kohlenstoffarmes Eisen bezeichnet. Sie lässt sich mit chemischen, elektrochemischen oder chemisch-thermischen Prozessen durchführen, wobei kein metallurgischer Koks verbraucht wird und das Eisen in Form

von Eisenschwamm, Luppen oder Flüssigmetall anfällt.

Das Renn-Verfahren, mit dem die Geschichte der Eisenmetallurgie begann, war ein Verfahren der direkten Eisengewinnung. Es überführte das Erz unmittelbar in ein stahlartiges Produkt. In den späteren Etappen wurde und wird aus Eisenerz zunächst durch den Hochofenprozeß Roheisen erzeugt. Das Roheisen ist eine Legierung, die vor allem an Kohlenstoff, aber auch bezüglich anderer Begleitelemente über die für Stahl erforderlichen Grenzen hinaus angereichert ist. Bei der Stahlherstellung müssen sodann durch Oxydationsprozesse, das sogenannte Frischen, die überschüssigen Beimengungen aus dem Roheisen wieder entfernt werden. Schon lange bemühen sich die Metallurgen, den Umweg über den Hochofenprozeß zu ersparen. Bis heute hat sich aber, zumindest für die Erzeugung der in großen Mengen benötigten »Massenstähle«, der indirekte Weg als der billigere erwiesen.

Unter besonderen Bedingungen ist jedoch die direkte Gewinnung stahlartiger Zwischenerzeugnisse schon wirtschaftlich und zweckmäßig. Verfahren hierfür stehen seit einiger Zeit bereit und befinden sich in großtechnischer Anwendung. Sie machen aber den Hochofen bei weitem noch nicht überflüssig. Die auf direktem Wege aus Eisenerz hergestellten metallischen Produkte dienen hauptsächlich in Elektrostahlwerken als



Walzerzeugnisse

gutes Einsatzmaterial für die Erzeugung von Qualitäts- und Edelstählen.

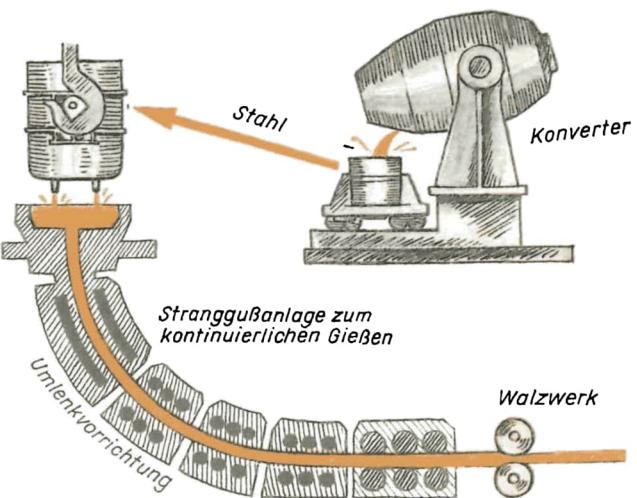
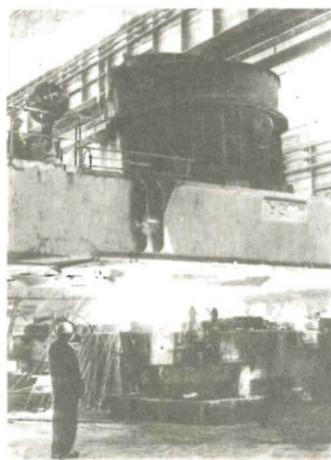
In den 70er Jahren wurden verschiedene Direktreduktionsverfahren zur Produktionsreife entwickelt. Man unterscheidet die Festbett- (Schachtofen-), Fließbett- (Wirbelschacht-) und Drehrohrofenverfahren. Ende 1972 arbeiteten in der Welt zehn bis zwölf Betriebe mit einem Produktionsumfang von 4,5 Millionen Tonnen im Jahr. 1980 wird mit einer Produktion von 30 Millionen Tonnen Eisenschwamm gerechnet. In der UdSSR wird zur Zeit das größte metallurgische Kombinat auf der Basis einer Direktreduktion von Eisenerz unter Teilnahme der BRD-Firmen Salzgitter AG und Korfstahl AG erbaut. Der Zyklus beginnt mit der Produktion von Pellets aus oxidischen Konzentraten. Mit der Hilfe von Erdgas werden die oxidischen Pellets vollständig vom Sauerstoff befreit und in metallisierte Pellets mit 90 bis 95 % Eisengehalt umgewandelt. Diese dienen als Einsatzstoff im Elerostahlwerk, wohin sie kontinuierlich transportiert werden. Bei der Verwendung von Stahlschrott wird ein so gleichmäßiger Prozeßablauf in der Regel nicht zu realisieren sein. Der Hauptvorteil der Pellets gegenüber dem Schrott besteht in einer garantierten Zusammensetzung ohne schädliche Beimengungen. Aus solchem Einsatzmaterial können Qualitäts- und Edelstähle mit gleichmäßig guten Eigenschaften hergestellt werden.

Ein weiteres Einsatzgebiet für Produkte der Direktreduktion von Eisenerz ist die Pulvermetallurgie, die

sogenannte »kleine Metallurgie«. Die pulvermetallurgische Herstellung bestimmter Teile kann qualitative und ökonomische Vorteile haben. So kann beispielsweise die Lebensdauer zahlreicher Maschinenteile erhöht werden, da Gleitlager aus Sintereisen hervorragende Laufeigenschaften besitzen. Der weitgehende Wegfall einer mechanischen Bearbeitung, die gute Automatisierbarkeit der einfachen Produktionsprozesse und die Möglichkeit, teure Werkstoffe zu ersetzen, können zu einer großen Einsparung an Kosten führen. Die Ausstellung »Pulvermetallurgie '73« in der UdSSR mit mehr als 300 ausländischen Firmen zeigte, daß die Pulvermetallurgie eine notwendige Bedingung zur Beschleunigung des technologischen Fortschritts in allen Industriezweigen ist.

Die kontinuierliche Stahlherstellung

Die Metallurgen suchen seit langem, die periodisch arbeitenden Verfahren durch kontinuierliche zu ersetzen, weil diese sich sehr viel leichter automatisieren lassen. Während die Erzeugung von Roheisen und von Walzprodukten wenigstens annähernd kontinuierlich vor sich geht, dominieren bei der Stahlherstellung die



periodischen Prozesse. Die Schmelzaggregate werden in der Regel chargeweise beschickt und liefern in entsprechenden Zeitabständen die der Ofengröße entsprechende Stahlmenge. So wird beispielsweise ein Siemens-Martin-Ofen mit 200 t Fassungsvermögen bei bestimmten Einsatzverhältnissen in Abständen von etwa sechs Stunden abgestochen. Der erzeugte Stahl wird meist in gußeiserne Standkokillen vergossen und muß dort so weit abkühlen, daß ein gefahrloser Abtransport von der Gießhalle ins Walzwerk erfolgen kann. Dort ist dann ein erneuter Erwärmungsvorgang in Tief- oder Stoßöfen erforderlich.

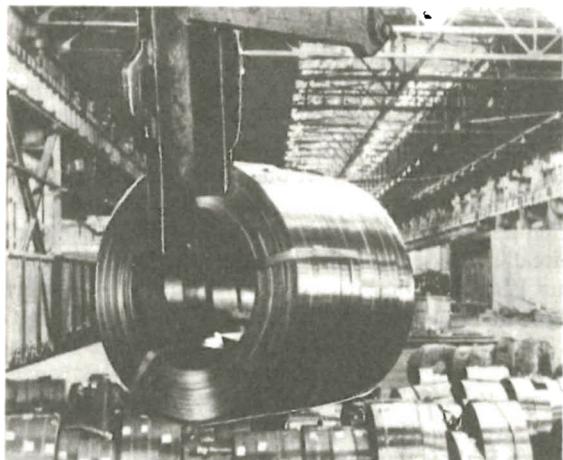
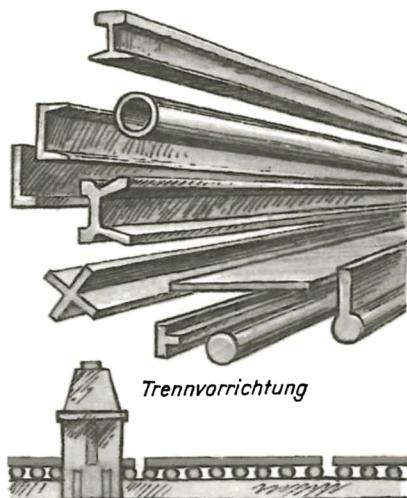
Einen Schritt zu der erwünschten Kontinuität des gesamten Verfahrensganges stellt das Stranggießverfahren dar. In modernen Stahlwerken kann der aus einem oder mehreren Öfen in die Gießpfanne abgestochene Stahl über ein Zwischengefäß ohne Unterbrechung zu Halbzeug vergossen werden.

In den Betrieben der sowjetischen Schwarzmetallurgie wurden 1972 5,9 Millionen Tonnen und 1975 bereits neun Millionen Tonnen Stahl zu Strängen vergossen. Die Produktion von mehr als 120 Stahlmarken ist auf diese Weise möglich. Hierzu gehören beispielsweise Stähle für die Herstellung von Tiefzieh-, Transformatoren- und Dynamoblechen sowie für die Weißblechproduktion, aber auch legierte und hochlegierte Stähle. Die Anlagen erzeugen entweder quadratische (z. B. 350 mm × 350 mm) oder rechteckige Stränge, sog. Brammenformate (z. B. 250 mm × 1800 mm).

Der Stolz der sowjetischen Metallurgen ist die Stranggießanlage des Metallurgischen Kombinates Nowolipezk. Dort ging erstmalig 1959 in der Sowjetunion ein Stahlwerk mit einer nachgeschalteten Stranggießanlage in Betrieb. 1966 nahm ein mit einer Stranggießmaschine gekoppeltes Konverterstahlwerk die Arbeit auf. Damit war dieser Betrieb einer der ersten in der Welt, die ohne Block- und Brammenwalzwerk und ohne Standkokillen arbeiten.

Für die Entwicklung und Einführung eines großen metallurgischen Komplexes in Lipezk wurde eine Gruppe von Wissenschaftlern und Metallurgen im Jahre 1969 mit dem Staatspreis ausgezeichnet. Die neue Konverterabteilung in Lipezk hatte fünf Stranggießanlagen als Erstausstattung erhalten. In der zweiten Etappe wurden noch drei Konverter mit drei Stranggießanlagen aufgestellt, die eine Gesamtkapazität von acht Millionen Tonnen Brammen im Jahr haben. Der gesamte Betrieb arbeitet ohne den Einsatz von Standkokillen. Das Werk besitzt Radial- bzw. Kurvenstranggießanlagen, d. h., der abgegossene Strang wird nicht senkrecht, sondern in einem Bogen aus der Anlage herausgeführt. Auf dieser Einrichtung ist es möglich, Brammen mit großen Querschnitten (250 bis 350 mm × 1150 bis 2200 mm) zu vergießen. Dabei sind Absenkgeschwindigkeiten bis 1,7 m/min möglich.

Das nächste Ziel der Metallurgen ist es, der ununterbrochen arbeitenden Stranggießanlage ein ebenfalls kontinuierliches Stahlschmelzverfahren vorzuschalten.



Fertiges Walzerzeugnis

ten. Versuche hierzu werden schon seit vielen Jahren in der UdSSR, in den USA, in England, Frankreich, Japan, Österreich und anderen Ländern unternommen. Bisher sind allerdings nur kleintechnische, so genannte Pilotanlagen erprobt worden. Aus England wurde über den BISRA-Prozeß berichtet. Ein kontinuierlicher Roheisenstrahl wird durch Sauerstoff zerstäubt, wobei eine rasche Oxydation der Begleitelemente erfolgt. Die Versuchseinrichtung ist unmittelbar an die Hochofenabstichrinne angeschlossen und tritt beim Roheisenabstich in Tätigkeit. Dabei sollen Stundenleistungen von 80 t erzielt werden.

In der Versuchsanstalt des Irsid-Institutes in Frankreich arbeitet eine kleintechnische Anlage mit einer Leistung von 10 bis 12 t je Stunde und in einem lothringschen Werk eine solche mit 30 t je Stunde. Der Irsid-Prozeß wird in einem Aggregat durchgeführt, in das der Roheisenstrahl kontinuierlich einfällt. Das Metall wird mit Sauerstoff durchblasen, danach von der Schlacke getrennt. Anschließend erfolgt das Fertigmachen des Stahls bis zu einer vorgegebenen Zusammensetzung sowie die Desoxydation. Nach den Berechnungen und Versuchen soll es möglich sein, in diesem Aggregat 80 bis 100 t Stahl in der Stunde zu erzeugen.

Große Hoffnungen setzt man auf ein Stahlschmelz aggregat mit kontinuierlicher Arbeitsweise (SAND-Prozeß), das von einer Gruppe von Wissenschaftlern der Moskauer Hochschule für Stähle und Legierungen entwickelt wurde. Um die vorhandenen Anlagen der Siemens-Martin-Stahlwerke ausnutzen zu können und auch einen Schrotteinsatz von 40 bis 45 % zu ermöglichen, tritt nach einem Vorschlag von N. A. Glinkow an die Stelle eines Siemens-Martin-Ofens nunmehr ein Ofengehäuse, das vier miteinander verbundene Einzelbäder enthält. Im ersten Bad wird Roheisen und Schrott eingesetzt, im zweiten tritt der überschüssige Kohlenstoff aus, im dritten erfolgt das Fertigmachen, und im vierten wird die Schmelze desoxydiert und legiert. Beim Eintritt in ein Bad sinken nur die frischen kälteren Metallportionen auf den Boden und drängen das wärmere fertige Metall in das jeweils nächste Bad. Die Durchsatzzeit vom Eingießen des Roheisens bis zum Abstich des fertigen Stahls beträgt 40 bis 50 min. Mit einem Aggregat soll mehr Fertigstahl erzeugt werden können als nach der Siemens-Martin-Technologie mit vier Öfen gleichen Fassungsvermögens. Eine Versuchsanlage, entworfen von »Stahlprojekt«, wird im Werk »Saporosh-Stahl« unter Produktionsbedingungen erprobt. Den Berechnungen nach könnte

eine erfolgreiche Verwirklichung dieses Projektes die Leistung der metallurgischen Aggregate um das Dreifache steigern und die Produktionselbstkosten stark senken.

Obwohl Prognosen bereits für den Zeitraum von 1970 bis 1980 den verstärkten Einsatz kontinuierlicher Stahlerzeugungsprozesse in der Produktion vorhersagten, sind die bisherigen Ergebnisse noch nicht überzeugend. Offensichtlich bereitet vor allem die Einhaltung einer gleichmäßigen Zusammensetzung des Fertigstahles besondere Schwierigkeiten. Darüber hinaus entsteht mit der Einführung einer solchen Technologie die Notwendigkeit erheblicher Veränderungen im Bereich der Hilfs- und Nebenprozesse, die eine umfangreiche zusätzliche Entwicklungsarbeit erfordern.

Das Elektronenstrahl- und Plamaschmelzen

Vor einigen Jahren wurde mit Versuchen zum Schweißen von Niob, Wolfram, Molybdän und Zirkon begonnen. Die Notwendigkeit hierfür ergab sich aus Forderungen des Flugzeug- und Raketenbaues sowie der Kernenergi 技术. Bei hoher Temperatur nehmen diese Metalle leicht Fremdelemente, z. B. Sauerstoff, auf. Die Schweißnaht wird dabei versprödet und die Schweißverbindung deshalb nicht betriebssicher. Die Schweißenergie muß deshalb unter Vakuum oder anderen schützenden Bedingungen eingebracht werden. Bei der Lösung dieses Problems halfen Beobachtungen, die an Röntgenröhren gemacht worden waren. Wenn die Anoden dieser Röhren nämlich nicht ausreichend gekühlt werden, können sie durch den auftreffenden Elektronenstrahl sehr schnell zerstört werden, obwohl sie aus einem hitzebeständigen Metall bestehen. Dies ist die Folge der beim Auftreffen der Elektronen stattfindenden Umwandlung kinetischer Energie in Wärme. Nach diesem Prinzip wurde das Elektronenstrahlschweißen entwickelt. Ein von einer Elektronenstrahlkanone erzeugter sehr dünner Strahl stark beschleunigter Elektronen bewirkt unter Vakuum das Aufschmelzen und Verschweißen der genannten Metalle. Die Schweißnähte können sehr sauber und genau ausgeführt werden, und die Schweißverbindungen haben die geforderten Eigenschaften.

Solche Elektronenstrahlkanonen wurden auch in der Metallurgie eingesetzt. In einer Vakuumkammer wird der unsichtbare Elektronenstrahl auf das Ende eines Abschmelzstabes gerichtet. Das Stabende schmilzt dabei auf, und die flüssigen Metalltropfen fallen in einen Kupferkristallisorator. Durch das sehr hohe Vakuum kommt es dabei zu einer Raffination des Metalles. Von besonderer Bedeutung ist die Qualitätserhöhung bei einem derartigen Umschmelzen von Stahl durch die dabei erfolgende Verminderung des Sauerstoff-, Wasserstoff- und Stickstoffgehaltes, die Verdampfung schädlicher Spurenelemente, wie Kupfer, Zinn, Blei usw., sowie die Verringerung des Gehaltes an nichtmetallischen Einschlüssen. Eine sehr effektive und für die Metallurgie besonders geeignete Elektronenstrahlkanone wurde von M. v. Ardenne entwickelt. Nach diesem sogenannten Elektronenstrahl-Mehrkammerofen-Verfahren werden in der DDR Blöcke bis 18 t bei Schmelzleistungen bis 0,7 t/h hergestellt. Noch größere Öfen befinden sich in der Entwicklung.

Das Elektronenstrahlschmelzen ist eines der Spezialverfahren zur Nachbehandlung normal erschmolzener Stähle. Zu diesen Sonderschmelzverfahren gehören auch das Schmelzen im Vakuuminduktionsofen, im Vakuumlichtbogenofen sowie das Elektro-Schlacke-Umschmelzen und das Plamaschmelzen. Besondere Bedeutung für die allgemeine Metallurgie hat offensichtlich der Plasmastrahl. Die hohe Temperatur des Plasmazustandes wird ja bereits in großem Umfang beim Schweißen oder im Elektrolichtbogenofen aus-

genutzt. Vom eigentlichen Plasmastrahl spricht man dann, wenn mittels eines schnellen Gasstromes das durch eine stromstarke Bogenentladung sich bildende Plasma in eine bestimmte Richtung gelenkt wird. Die sogenannten »Plasmabrenner«, mit denen man solche Strahlen erzeugt, können hinsichtlich ihrer Temperatur und ihrer Leistung stark variiert werden. So sind beispielsweise Temperaturen von 15 000 °C und Leistungen bis zu einigen Megawatt zu erreichen. Von dieser Tatsache geht die Überlegung aus, daß der Einsatz von Plasmabrennern zur besseren Energieausnutzung beim Stahlschmelzen führen kann. Als Ergebnis einer Zusammenarbeit zwischen den Metallurgien aus der DDR und der UdSSR wurde im Edelstahlwerk Freital zunächst ein 10-t-, später ein 30-t-Plasmaofen in Betrieb genommen. Diese Öfen haben schräg angeordnete Plasmabrenner und arbeiten mit Argon als Ionisationsgas. Infolge der Schutzgaswirkung erzielt man vor allem beim Umschmelzen ein höheres Legierungsausbringen als beim Elektrolichtbogenofen.

Plasmabrenner können auch für die Verfahren der Direktreduktion an Bedeutung gewinnen.

Gegenwärtig arbeiten Wissenschaftler überall in der Welt an der Erzeugung eines Plasmas, das für Kernverschmelzungsreaktionen ausreichende Temperaturen hat. Mit ihm wären kontrollierte thermonukleare Reaktionen möglich, wodurch eine neue Ära in der Energetik eröffnet würde. Der Metallurgie, als einem sehr großen Energieverbraucher, würden daraus neue Perspektiven erwachsen.

Eisen

und der technische Fortschritt

Unterirdische Metallurgie

Basaltmetallurgie

Submariner Bergbau

Biometallurgie

Die Zukunft des Eisens



Eisen und der technische Fortschritt

Etwa 3 000 Jahre gewinnt und bearbeitet der Mensch Eisen. Innerhalb dieses Zeitraumes sind in der Welt etwa 20 Milliarden Tonnen Stahl erschmolzen worden. Dabei entfällt der größte Teil auf die letzten beiden Jahrhunderte. Vor etwa 100 Jahren lag die Weltstahlproduktion unter einer halben Million Tonnen. Jetzt werden mehr als eine halbe Milliarde Tonnen Stahl jährlich erzeugt (1974: 710 Millionen Tonnen). Aufgrund von Schätzungen wird angenommen, daß zur Zeit mehr als sechs Milliarden Tonnen Eisen in Produktionsanlagen, Maschinen, Aggregaten und dergleichen gebunden sind.

In den vergangenen Jahren trat in der UdSSR, den USA und anderen industriell entwickelten Ländern ein grundlegender Wandel im Verhältnis des Zuwachses der Stahlerzeugung zu dem der übrigen Industrieproduktion ein. In der Zeitspanne zwischen den beiden Weltkriegen waren die Zuwachsraten etwa gleich. Nach dem 2. Weltkrieg begann das Wachsen der Stahlproduktion hinter dem der Industrieproduktion zurückzubleiben. Das läßt sich nicht allein durch die Substitution des Eisens durch andere Werkstoffe, Buntmetalle oder Plaste erklären. Die Weltrohreisenerzeugung betrug 1880 95,65 % der gesamten Metallproduktion, Mitte des 20. Jahrhunderts dagegen 92,9 %, das heißt, die Buntmetalle konnten dem Eisen in den letzten 75 Jahren nur etwa 2,7 % des Anteils abringen. Bei den Buntmetallen nimmt die Erzeugung von Aluminium am schnellsten zu. Bezuglich der Masse beträgt sein Anteil im Vergleich zu Stahl 1,5 % und bezüglich des Volumens 4,5 %. In der Welt werden zur Zeit über elf Millionen Tonnen Aluminium, mehr als sieben Millionen Tonnen Kupfer, fünf Millionen Tonnen Zink und vier Millionen Tonnen Blei erzeugt.

Auch die Produktion der Kunststoffe ist in den letzten Jahren stark angestiegen. Zum Teil konnten damit Stähle substituiert werden. Man erwartet aber trotz der hohen Zuwachsraten bei Plastwerkstoffen, daß diese nur 6 bis 7 % des Stahles ersetzen können.

Die Hauptursache für das Zurückbleiben der Stahlproduktion gegenüber dem Wachstumstempo der Industrieproduktion besteht in der Verringerung des spezifischen Metallverbrauches, die durch den technischen Fortschritt erzielt wurde. Der Übergang zu besser an die Beanspruchung angepaßten Stahlsorten

verlängert die Lebensdauer der daraus gefertigten Teile und führt damit zu einer Verringerung des Verbrauchs. Sehr demonstrativ sind Beispiele aus der chemischen Industrie, wo beispielsweise die Einsatzdauer bestimmter Rohre oder Behälter von Wochen auf Jahre verlängert werden konnte. Ferner ist auch durch Senkung der korrosionsbedingten Metallverluste durch Schutzüberzüge, wobei die Plaststoffe sich gut bewähren, der Stahlverbrauch geringer geworden.

Die Schwarzmetallproduktion nimmt mit jedem Jahr zu. Die Statistik zeigt, daß die Weltstahlproduktion in den 90 Jahren von 1870 bis 1960 auf das 694fache anwuchs. Eine Verdoppelung der Stahlerzeugung, bezogen auf 1876, erfolgte jeweils 1879, 1886, 1894, 1901, 1911, 1938 und 1955, d. h. nach 3, 7, 8, 7, 10, 27 und 17 Jahren. Bezogen auf 1955 wurde 1969 eine Verdoppelung der Stahlproduktion erreicht, d. h., in diesem Falle waren 14 Jahre notwendig. Es erhebt sich die Frage, wie lange der Vorrat der Eisenerze bei einer derartigen Produktionssteigerung noch anhält. Es wird vermutet, daß die Erdkugel durchschnittlich um 34,6 % aus Eisen besteht. Davon ist erst ein sehr geringer Teil angegriffen worden, da man bisher nur die oberflächennahen Erzlagerstätten ausbeuten konnte. In Übereinstimmung mit den Angaben einer UNO-Expertengruppe betragen die gegenwärtig industriell nutzbaren Eisenerzvorräte der Welt etwa 250 Milliarden Tonnen, d. h., wenn der jährliche Verbrauch in den metallurgischen Betrieben auf 1 bis 1,5 Milliarden Tonnen steigt, reichen die entdeckten Eisenerzvorräte für die kommenden zwei Jahrhunderte.

Trotz aller Erfolge der geologischen Wissenschaften bei der Erkundung neuer Lagerstätten, insbesondere in den Entwicklungsländern, läßt sich die Tatsache nicht verleugnen, daß die Eisenerzvorräte in den verschiedenen Gebieten der Erde ungleichmäßig verteilt sind. Im Hinblick darauf, daß der Abbau reicher und leicht zugänglicher Erzlagerstätten schließlich zu Ende gehen wird, erarbeiten die Wissenschaftler bereits heute Eisengewinnungsmethoden für die Zukunft.

Unterirdische Metallurgie

Je tiefer Eisenerze unter der Erdoberfläche liegen, um so höher wird der Aufwand bei ihrer Förderung. Bei den gegenwärtigen Abbaumethoden im Tage- oder Tiefbau

gehen nach Angaben des Akademiemitgliedes N. W. Melnikow etwa 25 % verloren. Auch aus diesem Grunde haben die von Chemikern vorgeschlagenen Verfahren zur direkten Gewinnung des Metalls aus dem Erz an der jeweiligen Fundstätte eine besondere praktische Bedeutung. Das zu gewinnende Erz wird unter der Erde chemisch gelöst und in den flüssigen oder auch gasförmigen Zustand überführt. Die durch Auslaugen, Lösen, Schmelzen oder Verdampfen gewonnenen, sogenannten produktiven Lösungen werden zutage transportiert und verarbeitet. Schachtlose, d. h. chemische, physikalisch-chemische, biochemische und mikrobiologische Fördermethoden von Bodenschätzten werden in einigen Ländern bereits erprobt.

In der UdSSR sind diese Verfahren ein besonderes Anliegen der Wissenschaft. A. Kalabin begründet die Notwendigkeit hierzu folgendermaßen: »In verschiedenen Zweigen des Bergbaues läßt sich auf der Grundlage der alten Technologien kein wesentlicher Fortschritt durch Mechanisierung und Automatisierung erzielen. Deshalb muß man prinzipiell neue Technologien im Bergbau einführen.« Die Zahl der vorgeschlagenen Projekte nimmt auch im internationalen Maßstab immer mehr zu. Amerikanische Spezialisten schlugen vor, tiefliegende Erzlagerstätten mit Chlorwasserstoff zu behandeln. Aus dem so erhaltenen Eisenchlorid wird durch Wasserdampf Eisenoxid ausgefällt, wobei sich gleichzeitig Chlorwasserstoff zurückbildet. Durch Reduktion mit Wasserstoff soll das Eisenoxid reduziert werden, das dann als Ausgangsmaterial für die Erzeugung entsprechender Stahlsorten dienen kann.

Entsprechend den heutigen Vorstellungen vom Aufbau der Erdkugel existiert in großer Tiefe flüssiges Magma, aus dem sich die vielfältigen Bodenschätze bilden. In Diskussionen über den Bergbau und die Metallurgie der Zukunft wies Ju. N. Wassilew darauf hin, daß es möglich sein müßte, flüssiges Magma durch supertiefe Bohrungen an die Erdoberfläche zu bringen. In diesem Material sind fast alle Elemente des periodischen Systems vorhanden. Beim Abkühlen in speziellen Becken werden zuerst die schwerschmelzenden Metalle Wolfram und Molybdän kristallisieren, danach Kobalt, Eisen, Kupfer und Zink und zuletzt die leichtschmelzenden Metalle wie Blei und Zinn. Die Geotechnologie als neuer spezieller Wissenschaftszweig befaßt sich mit diesen Problemen. Sie zieht immer mehr die Aufmerksamkeit der Fachleute auf sich.

Eine Spezialrichtung der Geotechnologie ist die hy-

drothermische Metallurgie. Fachleute dieser Richtung untersuchten 2000 m tiefe Senken im Roten Meer, in denen die Wassertemperatur 56 °C und der Salzgehalt 25,5 % erreicht. An den Hängen dieser Senken bilden sich Ablagerungen, die in der Hauptsache aus Eisenoxiden bestehen. In dem heißen Wasser sind die Elemente Eisen, Mangan, Zink, Blei, Gold und Silber 50mal stärker vertreten als im normalen Meerwasser, und der Bodenschlamm besteht zu 90 % aus Schwermetallen. Die Geologen vermuten, daß solche Senken auch im Stillen Ozean vorhanden sind. Man kann also annehmen, daß die Prozesse der hydrothermischen Erzbildung auch in der gegenwärtigen Entwicklungsepoke der Erde ablaufen. Sie sind auf die heißen wärmigen Lösungen zurückzuführen, die sich bei der Abkühlung von der Erdkruste eingedrungenem Magma bilden.

Natürliche Quellen von Thermalwässern mit den unterschiedlichsten Zusammensetzungen fördern jährlich eine große Menge zahlreicher Elemente an die Erdoberfläche. Sowjetische Fachleute schlugen vor, die seltenen Komponenten bei der Entsalzung der Thermalwässer zu konzentrieren.

»Ich bin überzeugt«, sagte der Kandidat der mineralogisch-geologischen Wissenschaften L. Lebedew, »daß in naher Zukunft die Weltmeere eine unerschöpfliche Quelle für Buntmetalle, seltene und in der Erdrinde nur verstreut auftretende Elemente sein werden. Die hydrothermische Metallurgie wird einen Ehrenplatz einnehmen.«

Basaltmetallurgie

Es ist bekannt, daß Eisenoxide in vielen Mineralen der Erdkruste eine Hauptkomponente darstellen. Eisen wird in mehr als 300 Mineralen gefunden. In der Zukunft werden deshalb auch Gesteine wie Basalt, Gneis und Diabas zu Eisenerzen werden können. Wenn es darüber hinaus gelingt, diese Gesteine einer komplexen Verarbeitung zu unterziehen und auf wirtschaftliche Weise eine Trennung aller oder der meisten Metalle durchzuführen, wird man von echten polymetallurgischen Prozessen sprechen können.

Bereits jetzt steht das Steingußverfahren unter gleichzeitiger Metallabscheidung auf der Basis von Basalt zur Diskussion. Steingußmaterialien werden in einigen Industriezweigen angewendet und können

Schwarz- und Buntmetalle ersetzen. Ihre Verschleißfestigkeit ist höher als die legierter Stähle und des Gußeisens. Die Säurebeständigkeit ist nicht schlechter als die von Porzellan und besser als die der meisten Metalle. In der chemischen Industrie kann Steinguß rostfreien Stahl bei bestimmten Apparaturen ersetzen. Sein Einsatz führt zur Erhöhung der Lebensdauer der Ausrüstungen. So sind zum Beispiel Hydrozykone aus Gußeisen nicht länger als vier Monate im Einsatz, während solche aus armiertem Steinguß etwa ein Jahr halten. Im metallurgischen Kombinat Kriwoi Rog hielt eine Schlackenabstichrinne aus Steinguß zwei Jahre. Vorher wurden die Rinnen aus Metall gefertigt und mußten jeweils nach einem halben Jahr erneuert werden. Es wird berichtet, daß mit einer Tonne Steingußzeug zwei bis zehn Tonnen Metall eingespart werden konnten, wobei sich eine Kostensenkung bis zu 750 Rubel ergab.

Der Nachteil von Steinguß ist sein ungünstiges Dehnvermögen und unzureichende Schlagzähigkeit. Eine Armierung kann diese Werte verbessern, wovon heute in vielen Steingußbetrieben Gebrauch gemacht wird. Armierter Basalt kann bezüglich vieler technologischer Kennwerte mit Eisenbeton konkurrieren. In der UdSSR wurde ein Metall-Stein-Verbundmaterial zum Patent angemeldet, das man als »umgekehrten Eisenbeton« bezeichnen kann. Während des Schmelzprozesses werden in das flüssige Metall (Stahl, Gußeisen, Aluminium oder Titan) Teilchen aus Stein eingebunden. Bei der Abkühlung entsteht in den nichtmetallischen Teilchen eine Druckspannung. Ähnlich wie bei Spannbetonstahl entsteht eine vorgespannte Konstruktion, sogenannter Metallstein, der einerseits billiger als Metall ist, andererseits bessere Eigenschaften als normaler Steinguß aufweist. Aus Stahlbasalt lassen sich beispielsweise große Maschinenteile herstellen.

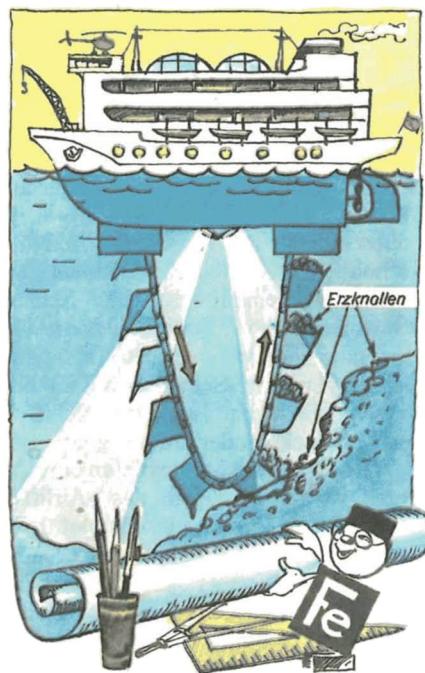
Sprachwissenschaftlich wird das Wort Basalt auf den äthiopischen Begriff »Basal« zurückgeführt, der so viel bedeutet wie »Stein, der Eisen enthält«. Basalt enthält 10 bis 15 % Eisenoxid und Eisenoxidul, 42 bis 52 % Siliziumoxid, 6 bis 20 % Manganoxid, 10 bis 12 % Aluminiumoxid und 1 bis 3 % Titanoxid. In bestimmten Basaltsorten Grönlands werden gediegene Eiseneinschlüsse gefunden. Akademiemitglied Tscherbatow ist der Meinung, daß nach dem Aufbrauchen der Eisenerzvorräte das Zeitalter der Basaltmetallurgie beginnen wird. Wie bereits erwähnt, wird es dabei nicht nur um die Gewinnung des Eisens, sondern um eine komplexe Verwertung aller Bestandteile des Minerals gehen.

Submariner Bergbau

Die Abnahme der Bodenschätze auf dem Festland führte zu den Empfehlungen der UNO, sich intensiver mit den mineralischen Ressourcen der Weltmeere zu beschäftigen. Im Jahre 1968 wurde ein internationales Komitee zur Nutzung der Bodenschätze des Meeres gebildet. 35 Staaten beteiligen sich an dessen Arbeiten.

Nach Auffassung der UNESCO wird in den kommenden 10 bis 20 Jahren ein Industriezweig mit erheblichem Produktionsumfang entstehen, der sich nur der Ausbeutung der Rohstoffe des Meeresbodens widmet. Der Bau spezieller Ausrüstungen und industrieller Technologien für die Unterwasserförderung wird im internationalen Maßstab immer stärker vorangetrieben. Firmen und Gesellschaften beschäftigen sich mit der Verarbeitung der entsprechenden Minerale.

Man erwartet, daß der Bedarf an mineralischen Rohstoffen in der Welt bis zum Jahre 2000 auf das Dreifache gegenüber dem Niveau von 1976 steigen wird. An der Deckung dieses Bedarfs wird der Meeres-



bergbau entscheidenden Anteil haben. Die untermeerischen Bodenschätze werden systematisch erforscht. Bereits jetzt sind bekannt: umfangreiche Erdöl- und Erdgaslagerstätten, Schwermetallerze im Schelf der Kontinente, Anhäufungen von Eisen-, Mangan- und Polymetallknollen auf dem Meeresboden, Chromerze in Unterwassergebirgen, seltene Elemente im Salz der Meere sowie weitere wichtige Rohstoffe. Vieles davon wird bereits im industriellen Maßstab gewonnen. Mit Hilfe riesiger Plattformen fördert man aus dem Festlandschelf Erdöl und Erdgas. Auch Kohle, Eisenerz, Schwefel und einige seltene Elemente werden bereits industriell gewonnen. In Südafrika wird diamanthaltiger Sand vom Meeresboden mit Hilfe von Pumpen abgesaugt.

Sehr aktuell ist die industrielle Gewinnung von Eisen- und Manganerzknollen. Berechnungen zeigen, daß die Förderung bereits dann rentabel ist, wenn man von jedem Quadratmeter Meeresboden nur 50g Erz gewinnt. Im Vergleich zum kontinentalen Bergbau entfallen die teureren und arbeitsaufwendigen Aufschlußarbeiten, das Niederbringen von Schächten, der Grubenausbau und die Förderung von taubem Gestein.

Die Eisen-Mangan-Knollen-Vorräte betragen etwa 3 Billionen Tonnen. Hinzu kommt eine jährliche Wachstumsrate von ungefähr 10 Millionen Tonnen. Im Gegensatz dazu gibt es auf dem Festland praktisch keine Neubildung von Bodenschätzen. Nach anderen Schätzungen betragen allein die auf dem Boden des Pazifik als Knollen lagernden Metallmengen bei Mangan das 4 000fache, bei Kobalt das 5 000fache, bei Nickel das 1 500fache und bei Kupfer das 150fache der Menge der auf dem Festland vorhandenen Vorräte.

Es wurden unterschiedliche Projekte zur Nutzung der ozeanischen Rohstoffe dargelegt. Japanische Schiffbauer konstruierten einen originellen Schaufelbagger zur Gewinnung von Bodenschätzen aus 3 000 m Tiefe. Sein Hauptaggregat ist ein 8 000 m langes endloses Propylenseil, an dem Schöpfsschaufeln befestigt sind. Das Seil wird vom Bug eines Schiffes herabgelassen und am Heck wieder aufgezogen.

Von anderen, auch für größere Meerestiefen brauchbaren Technologien wurde vor allem das »Airlift«-Verfahren als ökonomische Variante bezeichnet. Dieses Verfahren arbeitet nach dem Prinzip der Mammutfpumpe. In ein bis zum Meeresboden ragendes Rohr wird in bestimmtem Abstand unter der Meeresoberfläche Luft eingepumpt. Auf diese Weise wird vom Meeresboden ein Wasser-Knollen-Gemisch nach oben gesaugt.

Das neue japanische Förderverfahren soll noch billiger als der Airlift arbeiten. Ihm wird eine große Zukunft vorausgesagt.

An der Moskauer Hochschule für Bergbau wurde eine Versuchsabteilung »Technologie zur Gewinnung von Bodenschätzen aus Meeren und Ozeanen« gegründet. 1966 ließ das Ministerium für Buntmetallurgie der UdSSR Untersuchungen durchführen und errichtete ein Jahr später die erste Versuchsanlage zur Förderung von titanhaltigem Sand aus dem Meer. Im Jahre 1968 wurde für Forschungsarbeiten die Spezialvorrichtung »Viborski« entwickelt und das Schiff »Tura« mit 1 100 t Wasserverdrängung in Dienst gestellt.

In der Sowjetunion wurde auch die Verarbeitung von Eisenknollen erprobt. Sie entstammen dem Boden des Stillen und Indischen Ozeans und waren von dem Forschungsschiff »Vitjas« gefördert worden. Mitarbeiter des Institutes »Hydronickel« erprobten ein wirtschaftliches Verfahren zur Verarbeitung des Knollenerzes und zur vollständigen Abscheidung von Mangan, Nickel, Kobalt und Kupfer.

Von Akademiemitglied L. A. Senkjewitsch wird die Vorstellung der Schiffsbaingenieure A. N. Dimitriew und M. N. Diomidow unterstützt, die einen Vorschlag zur Durchführung chemischer Reaktionen unter Ausnutzung des Wasserdruckes am Meeresboden im industriellen Maßstab vorgelegt haben. Die Väter des Projektes halten es für möglich, daß in nicht allzu ferner Zukunft auf dem Boden des Ozeans Chemieanlagen gebaut werden können, deren Rohstoffbasis die unerschöpflichen Reichtümer des Meeres sind.

Biometallurgie

Vor kurzem ist in Japan eine ungewöhnliche Stahlschmelze hergestellt worden. Der Legierungsbestandteil Vanadium stammte nicht aus einem Erz, sondern war aus Asziden gewonnen worden. Diese am Meeresboden festsitzenden Lebewesen entziehen dem Meerwasser Vanadium. Die Asziden werden gesammelt, getrocknet und verbrannt. Aus der Asche gewinnt man das seltene Metall. Die Methode ist sehr aufwendig, aber in einem Land mit geringem Erzvorkommen kann sie auch wirtschaftlich sein.

Bestimmte Pflanzen und einfachste Lebewesen besitzen die Fähigkeit, bestimmte Elemente aus ihrer

Umgebung aufzunehmen und in erstaunlichem Maße anzureichern. Es gibt im Wasser lebende Organismen, deren Eisenkonzentration 6 000mal höher ist als die des Wassers. Im Blut von Kraken und Mollusken wurde viel Kupfer nachgewiesen. Medusen sammeln Zink, Zinn und Blei, und Strahlentierchen speichern Strontium. Auch Pflanzen reichern bestimmte Elemente an: Gummibäume und Laminaria nehmen Aluminium auf, während Moorwasserlinsen Radium sammeln. Viele Wasserpflanzen enthalten Jod, Brom und andere wertvolle Elemente.

In den Bergwerken sammeln sich immer Grubenwässer an, die laufend abgepumpt werden müssen. Unter dem Einfluß des Grubenklimas werden manche Minerale teilweise aufgelöst und das Grubenwasser mit Eisen und Schwefelsäure angereichert. In dem Kanal- und Rohrsystem zum Abfördern dieses Wassers kann man überall gelbbraune Rückstände bemerken, die von Eisenhydraten herrühren. In solchem Wasser wird Eisen im Vergleich zu Laborbedingungen wesentlich schneller oxydiert. Schuld daran sind Bakterien der Thiobazillusgruppe. Ihre Fähigkeit, Eisen in sauren Lösungen zu oxydieren, wird als Ferroxydanz bezeichnet. Zum ersten Male berichtete der russische Mikrobiologe S. N. Winogradskij im Jahre 1888 darüber. Zur Gewinnung von 1 g organischer Verbindungen dieses Protoplasmas verarbeiten die Eisenbakterien 464 g kohlensaures Eisenoxidul, das in Oxidverbindungen umgewandelt wird. Eisenbakterien spielen eine wesentliche Rolle für den Eisenkreislauf der Erde. Durch sie wird das Eisen aus dem Erdinneren an die Oberfläche gebracht und in Form von Eisenerz abgelagert. So bildeten sich die großen Lagerstätten in Kriwoirog und im Gebiet der großen Seen der USA. Leningrader Mikrobiologen nehmen an, daß auch die Erzknollen auf dem Meeresboden auf ähnliche Weise entstehen. Die dafür verantwortlichen Bakterien wurden »Unterwassermetallurgen« genannt.

In den Seen der Karelischen Landenge und des Kaukasus wurden Bakterien entdeckt, die im Wasser

gelöste Metallionen oxydieren und die Ablagerung der Oxide auf dem Boden bewirken. Den Wissenschaftlern gelang die Darstellung einer Reinkultur dieser außergewöhnlichen Mikroorganismen, die selbst unter einem starken Elektronenmikroskop nicht zu erkennen waren. Unter Laborbedingungen entwickelten die Bakterien eine ungeheure Aktivität: Eine Manganknolle von Streichholzkuppengröße erzeugten sie in 2 bis 3 Wochen. Die Wissenschaftler nehmen an, daß im Verlaufe vieler Jahre auf diese Weise mächtige Eisen- und Manganlagerstätten entstanden sind. So war es nicht nur möglich, die Herkunft von Erzlagerstätten zu erklären, sondern auch ihre Entstehung wissenschaftlich vorherzusagen. Es wurden Vorschläge zum Einsatz von Eisenbakterien als »lebendes Erz« gemacht. Englische Wissenschaftler heben hervor, daß man die Mikroorganismen vom Typ der Azo- und Ferrobakterien zur chemischen Synthese und zur Umwandlung von unlöslichen Eisenverbindungen einsetzen kann, wodurch hydro-metallurgische Prozesse möglich sind. Bei der Suche nach technologisch effektiven Verfahren zur Anreicherung von Erzen mit Hilfe von Mikroorganismen müssen noch viele Aufgaben gelöst werden. Es besteht jedoch kein Zweifel an der Zweckmäßigkeit der neuen hydrobiologischen Methoden.

Bestimmte Bakterienarten sind jeweils für eine Reaktion, d. h. für die Erzeugung einer definierten Verbindung, spezialisiert. Die Erforschung dieser Zusammenhänge ist Gegenstand einer neuen wissenschaftlichen Richtung, der Erzmikrobiologie.

Im Jahre 1964 wurde in der UdSSR die erste mikrobiologische Erzaufbereitungsanlage errichtet, die in drei Monaten mehrere Dutzend Tonnen »Bakterienkupfer« erzeugte. Nach dieser ersten industriellen Erprobung wurde eine verbesserte Technologie eingeführt.

Diese wenigen Blicke in die Zukunft zeigen, daß die Metallurgie einem ständigen Wandel unterworfen ist. Wissenschaftler und Ingenieure arbeiten schon jetzt an den Technologien für morgen. Die Metallurgen werden noch lange zum Nutzen der Menschheit tätig sein.

Die Schwarzmetallurgie

der DDR

Was und wieviel

der Metallurge wissen muß

Die Schwarzmetallurgie und die metallurgischen Berufe in der DDR



Die Schwarzmetallurgie der DDR

Die Metallurgen der DDR leisten durch die qualitäts- und sortimentsgerechte Versorgung der Volkswirtschaft mit Eisen und Stahl einen wichtigen Beitrag für den Leistungsanstieg in allen Zweigen der verarbeitenden Industrie. Die begrenzte Verfügbarkeit von Rohstoffen erfordert, daß die Stahlverbraucher in die Lage versetzt werden, mit einem sinkenden Zuwachs an Stahl mehr zu produzieren. Maßnahmen zur Rationalisierung und Intensivierung der Produktion werden deshalb gezielt zur Erhöhung der Qualität und Senkung des spezifischen Grundmaterialverbrauchs genutzt. Der Anteil veredelter metallurgischer Erzeugnisse an der Gesamtproduktion wird 1985 etwa 85 % betragen. Über 80 000 Werktätige kämpfen in vier Kombinaten der Schwarzmetallurgie um die Erfüllung dieser hohen Ziele. Der Aufbau eines Konverterstahlwerkes im EKO, die stärkere Nutzung des Stranggießens und der Pfannenmetallurgie sowie der Aufbau neuer Walzstraßen sind wichtige Schritte auf dem Weg zur Qualitäts- und Leistungssteigerung.

Moderne Anlagen und neue bzw. weiterentwickelte Technologien erleichtern den Metallurgen von heute ihre schwere körperliche Arbeit. Damit verbunden sind aber auch höhere Anforderungen an die Facharbeiter bei der Bedienung, Überwachung und Wartung der modernen Technik. Journalisten, die die Gelegenheit erhielten, unsere Stahlwerke zu besichtigen, berichten beeindruckt darüber, wie ein Mensch nur durch einen Knopfdruck einen riesigen Ofen von 80 m Höhe steuert. Beim Drücken auf einen Hebel neigt sich eine 300-t-Pfanne. Mit »stählernen Händen« werden 10 Tonnen schwere Blöcke gefaßt und den Walzen zugeführt. Man darf dabei aber nicht vergessen, daß der Metallurge mit heißem Metall umgeht, wodurch sein Beruf von körperlich schwerer Arbeit und ungewöhnlichen Situationen gekennzeichnet ist, die schnelle Reaktionen und richtige Entscheidungen erfordern. Einen ausgebildeten Metallurgen kann dies jedoch nicht schrecken. Das Gefühl der eigenen Macht bei der Beherrschung des heißen Metalls bestimmt in großem Maße die Romantik des »Feuerberufs«. Unser ganzes Land begeht alljährlich den Tag des Metallurgen. Hervorragende Werktätige werden an diesem Tag als Verdiente Metallurgen ausgezeichnet. Die schwere Arbeit der Metallurgen erfährt damit eine große Anerkennung.

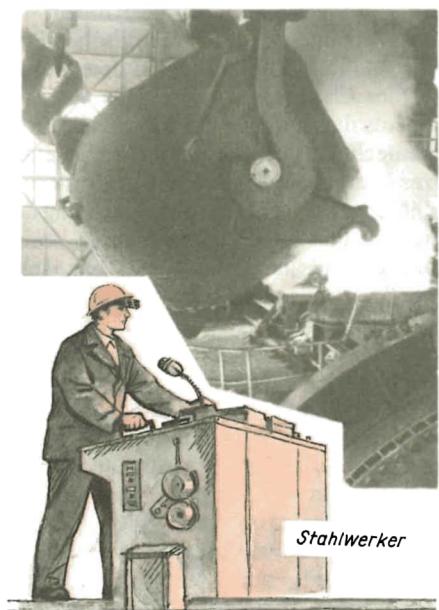
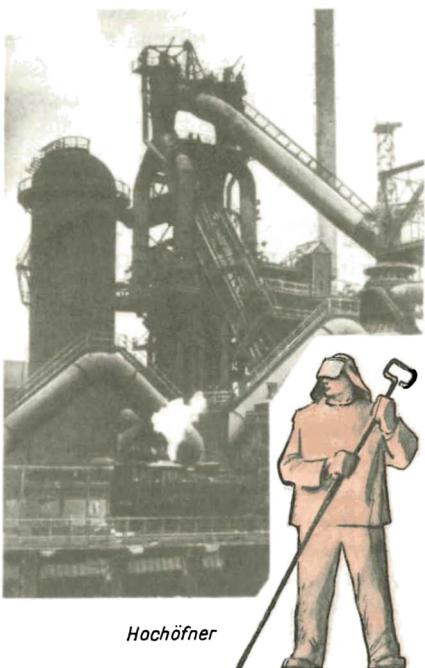
In der Vergangenheit sagte man: »Ist der Mensch nicht klug, ist das Beil stumpf. Auch damit kann man eine Tür zimmern, es macht aber mehr Mühe.«

Zur Erleichterung der Arbeit muß man seinen Beruf beherrschen. Das bedeutet, daß man eine Berufsausbildung erhalten, sich bestimmte spezielle Fähigkeiten und theoretische Grundkenntnisse aneignen muß.

Was und wieviel der Metallurge wissen muß

Der Bergmann und Metallurge des 16. Jahrhunderts Georgius Agricola zählte die Wissenschaften auf, die man beherrschen sollte, wenn man sich mit dem Bergbau und der Metallerzeugung beschäftigte. Dazu gehörten Philosophie (damit er über die Entstehung und Natur der unterirdischen Welt Bescheid weiß), Medizin, Astronomie sowie die Wissenschaft von den Zahlen und Abmessungen, aber auch Architektur, Zeichnen und Rechtsfragen. Das also waren die Wissensgebiete eines Metallurgen vor 400 Jahren. Welches Wissen wird in der Gegenwart von einem Metallurgen verlangt?

Die Bedienung und Wartung der komplizierten technischen Ausstattungen der Schwarzmetallurgie stellt hohe Anforderungen an das Wissen und Können der Metallurgen. Das Verständnis der metallurgischen Prozesse erfordert gründliche Kenntnisse auf dem Gebiet der Physik und der Chemie, besonders der physikalischen Chemie. Aus der Nutzung der Mikroelektronik und der Rechentechnik zur Steuerung der metallurgischen Prozesse ergeben sich weitere Anforderungen an die Ausbildung. Schon bei der Erschmelzung des Stahles wird die Qualität der Finalerzeugnisse beeinflußt. Die Metallurgen müssen deshalb in der Lage sein, den Gesamtprozeß vom Eisenerz bzw. Schrott bis zum Finalerzeugnis zu übersehen, um die Qualität ihrer Erzeugnisse zu sichern. Die Einheit von Technik und Ökonomie ist auch untrennbarer Bestandteil der Arbeit der Metallurgen. Deshalb gehört eine Grundausbildung auf dem Gebiet der Ökonomie und der Gesellschaftswissenschaften ebenfalls zu ihrem Ausbildungsprofil. An den metallurgischen Lehreinrichtungen werden Ingenieure und Arbeiter in unterschiedlichen Fachrichtungen ausgebildet, die sie zum Schmelzen der Metalle und Legierungen, zur Metallformung, zur Metallkunde, zur Wärmebehandlung, zur Gießereitech-



nik, zur Instandhaltung metallurgischer Aggregate sowie zur Ökonomie und Organisation der Produktionsprozesse befähigen.

In der DDR werden Ingenieure für die Metallerzeugung, Werkstoffprüfung und Automatisierungstechnik an der Ingenieurschule für Automatisierungs- und Werkstofftechnik Hennigsdorf ausgebildet. Die Ausbildung der Ingenieure für die Metallformung, die Instandhaltung sowie für die Ökonomie erfolgt an der Ingenieurschule für Walzwerks- und Hüttentechnik in Riesa.

Die Metallurgen mit Hochschulbildung, also die Diplomingenieure für Metallurgie und Werkstofftechnik sowie die Diplomingenieurökonomen für Metallurgie kommen von der Bergakademie Freiberg.

Qualifizierte Arbeiter für die metallurgische Industrie, d. h. die Hochöfner, Stahlwerker, Walzwerker, Zieher u. a. werden in einigen Facharbeiterberufen, die oft mehrere Tätigkeiten einschließen, an 15 Betriebsberufsschulen der schwarzmetallurgischen Kombinate ausgebildet. Nach der Berufsausbildung werden an den Einrichtungen der Aus- und Weiterbildung der Werk-tätigen die Facharbeiter für die Beherrschung neuer Technologien und moderner Maschinen befähigt und zu Meistern qualifiziert.

Im sozialistischen Betrieb werden die Produktionsarbeiter zu Beherrschern der Technik und Technologien. Ihre Verantwortung als sozialistische Produzenten für die von ihnen hergestellten Erzeugnisse und für die entsprechenden Arbeitsmittel nimmt zu.

In der Deutschen Demokratischen Republik wurde schon in den ersten Jahren ihres Bestehens dieser Entwicklung Rechnung getragen durch die Schaffung der Berufe Hüttenwerker, Stahlwerker, Walzwerker, Industrieschmied. Ausgehend von den verschiedenen Abschnitten der metallurgischen Produktion erfolgt die Ausbildung von Facharbeitern z. Z. in zwei Grundberufen:

Metallurge für Hütten-technik

Spezialisierungen in der Schwarzmetallurgie:
Roheisen – Ferrolegierungen – Stahl

Metallurge für Walzwerktechnik

Spezialisierungen in der Schwarzmetallurgie:
Walzen – Ziehen – Schmieden und Pressen – Profilieren – Veredeln

Aus der Benennung der Verfahren oder Einrichtungen werden die Tätigkeitsbezeichnungen der Facharbeiter abgeleitet. Beim Hochöfner beginnt der metallurgische Zyklus. Er erzeugt das Roheisen und trifft als erster die Feuerströme des geschmolzenen Roheisens und leitet sie in riesige Pfannen oder in die Masselgießmaschine. Durch ausreichenden Schutz am Körper und vor dem Gesicht beherrscht der Mensch an dieser Stelle die feurigen Elemente. Das ist schön und bewundernswert, aber auch verantwortungsvoll und erfordert starken Charakter und große Ausdauer. Die Arbeitsteilung in der Hochofenabteilung kennt verschiedene Tätigkeiten der Hochöfner. Zu den wichtigsten gehört die des Schmelzers, der an der Stelle arbeitet, wo aus dem oberen Teil des Hochofens das Metall (Roheisen) zusammenfließt. Um Schmelzer zu werden, muß man ein gutes technisches Wissen besitzen, die theoretischen Grundlagen des Hochofenprozesses beherrschen sowie die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Roheisens und der Schlacke kennen und sich auch über den Bau des Hochofens, andere Ausrüstungen und Gestellmechanismen informieren. Der Hochofen wird in jeder Schicht (er ist dauernd in Betrieb) von mehreren Arbeitern bedient. Der 1. und 2. Schmelzer durchbohren vor dem Abstich mit Hilfe einer Stichlochbohrmaschine einen Tonstopfen, der den Ofen verschließt. Die heißen Metallströme fließen mit Lärm in die Gießhalle und füllen mit Getöse die Pfannen. Augenblicklich wird es taghell, und tausend Funken sprühen ähnlich einem Feuerwerk auf. Bei ihrer Arbeit zwischen den Rinnen weisen die Schmelzer dem Roheisen den Weg. Nachdem das Roheisen ausgeflossen ist, wird die Abstichöffnung mittels einer Stichlochstopfmaschine durch einen Tonstopfen verschlossen. Zwischen den einzelnen Abstichen bereiten die Schmelzer den Platz vor dem Hochofen bzw. die Masselgießmaschine zur Aufnahme der nächsten Schmelze vor, prüfen die Arbeitsfähigkeit der Vorrichtungen und Mechanismen am Gestell sowie das Vorhandensein von Materialien und Werkzeugen und kontrollieren die Prüfgeräte.

Der Stahlwerker und seine Gehilfen sind für das Erschmelzen des Stahles verantwortlich. Von der Kunst der einzelnen Meister der Vergangenheit bis zur Wissenschaft des Stahlschmelzens in der Gegenwart reicht der Weg der Metallurgie.

Das persönliche Können des Stahlwerkens hat auch bis heute seine Bedeutung nicht verloren. Neben der chemischen Analyse beurteilt er die Qualität des Stahles noch nach dem Kochen des Bades, dem Bruchgefüge

der Probe und nach den Funken, die sich beim Gießen des flüssigen Metalls auf der Bodenplatte bilden.

Viele Meß- und Prüfeinrichtungen kontrollieren die Arbeit der Siemens-Martin- und Elektroöfen. Die Schmelzer sollten die Sprache dieser Geräte verstehen und sie für ihre Arbeit nutzen. Durch Einsatz von Prozeßrechnern werden diese Informationen in modernen Stahlwerken verdichtet. Der Schmelzer erhält vom Rechner bewertete Informationen, die ihn in die Lage versetzen, Stähle mit verbesserten Gebrauchseigenschaften mit hoher Produktivität und geringem spezifischem Material- und Energieaufwand zu erzeugen. Die Stahlwerker sind für die genaue Einhaltung der Einsatzmaterialien verantwortlich, die der Beschickungskranführer bereitstellt. Sie nehmen Proben und ziehen die Schlacke ab. Den Rohstahl vergießen sie mit Hilfe der Gießpfannen in die Kokillen zu Blockstahl oder in Stranggußanlagen zu Halbzeugsträngen.

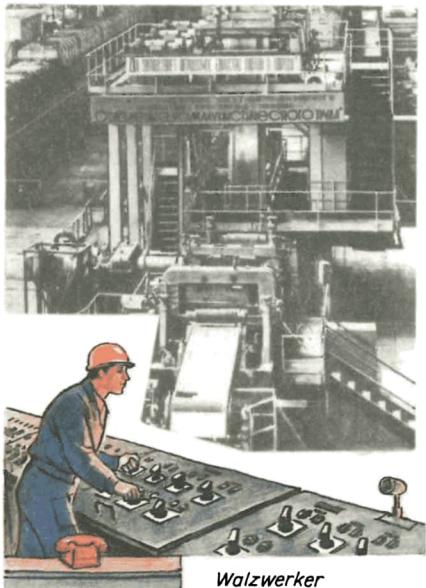
Ein besonders effektives Verfahren ist die Stahlerzeugung im Konverter. In der DDR-Metallurgie wird das QEK-Verfahren im bodenblasenden Sauerstoffkonverter angewandt. Künftig wird durch ein neues Konverterstahlwerk der Anteil von Sauerstoffblasstahl an der Stahlerzeugung in der DDR wesentlich ansteigen. Die Arbeitsverteilung ist hier ähnlich wie im SM-Stahlwerk. Die Stahlwerker steuern den Schmelzprozeß, besonders das Temperaturregime. Sie entnehmen Proben und kontrollieren den Zustand des Konverters. Auch hier werden die qualitativen Methoden zur Prozeßführung in wachsendem Maße durch moderne Meßgeräte und Prozeßrechner ersetzt. Die Bedienung dieser neuen Technik erfordert ein hohes Wissen und Erfahrungen.

Der von den Stahlwerkern erzeugte Rohstahl in Form von Blockstahl oder Stranggußknüppeln verläßt das Stahlwerk noch rotwarm, um im Walzwerk oder unter der Schmiedepresse weiter zu Blechen, Stabstahl, Profilen oder Schmiedestücken geformt zu werden. Sind diese Betriebe aber weiter vom Stahlwerk entfernt, ist eine Wiedererwärmung des Stahles erforderlich. In Tieföfen oder Blockstößen werden die Blöcke auf Temperaturen um 1250 °C gehalten bzw. erwärmt.

Am Steuerpult der Blockstraße zum Beispiel lösen sich drei Maschinisten ab, wobei zwei unmittelbar im Arbeitsprozeß stehen, der dritte erholt sich von der großen Aufmerksamkeit und Ausdauer erfordernden Arbeit. Sie sitzen in weichen Sesseln, ihre Hände liegen auf den Steuerhebeln. Die Hände sind in ständiger Bewegung. Aufeinander eingespielt, steuern die Ma-



Kranfahrer



Walzwerker

schinisten die Einstellung und Bewegung der Walzen und die Zuführung der Blöcke. Weitere Walzen bedienen Kant-, Richt- und Trennanlagen und prüfen die Qualität und die Abmessungen der Walzerzeugnisse (Profilstahl, Bleche, Bänder u. a.). Auf Rollgängen bewegt sich das Walzgut zur weiteren Bearbeitung.

Das vorgewalzte Halbzeug (Profile, Stabstahl und Draht) wird durch den Zieher auf Ziehmaschinen im kalten Zustand weiter bearbeitet. Hier erhält es eine hohe Oberflächengüte, die Endabmessungen werden mit hoher Genauigkeit eingehalten. In der Zieherei für feine Drähte sehen wir fast nur Mädchen und Frauen als Zieher. Außer den Ziehmaschinen bedienen sie Glühöfen und Spulmaschinen.

Metallurgen arbeiten an Strangpressen, Schmiedemaschinen und Schmiedepressen. In der Spezialisierungsrichtung Profilieren formen die Metallurgen aus gewalzten Bändern Profilband oder -blech (meist als Wellblech bekannt) sowie Leichtbauprofile und geschweißte Rohre. Drähte werden von ihnen zu Litzen und Seilen auf Verseilmaschinen verdrallt.

Die schon genannten zunehmenden Anforderungen an die metallurgischen Erzeugnisse machen die Einführung neuer Fertigungsverfahren zu ihrer Veredlung im metallurgischen Betrieb notwendig. So werden von den Metallurgen riesige Anlagen gesteuert, die der Beschichtung von Drähten und Bändern mit metallischen und nichtmetallischen Beschichtungstoffen dienen. Diese Erzeugnisse tragen in der Volkswirtschaft wesentlich zur Materialökonomie bei. Auch die nachträgliche Wärmebehandlung von gewalztem oder gezogenem Stahl ist ein Arbeitsgebiet des Metallurgen.

Die Herstellung von Einzelteilen aus Eisenpulver durch Pressen und Nachbehandeln ist ein Zweig der Metallurgie – die Pulvermetallurgie.

In den Metallurgiebetrieben gibt es aber noch andere Berufe, die unmittelbar für den ordnungsgemäßen Produktionsablauf sorgen. Dazu gehören Laboranten, Werkstoffprüfer und Facharbeiter für Qualitätskontrolle. Für die Erhaltung der Einsatzbereitschaft und Betriebssicherheit sowie die Beseitigung von Störungen an den Produktionsanlagen, Maschinen und Aggregaten sind die Instandhaltungsmechaniker, spezialisiert auf bestimmte Teilbereiche, tätig.

Die umfangreichen Transportaufgaben, angefangen von den Rohstoffen bis zum flüssigen Stahl bzw. Walzstahl, werden von Maschinisten für Transportmittel und Hebezeuge bewältigt.

Neben Kranen, Staplern und anderen speziellen Transportmitteln dienen rund 100 Kilometer Gleisanlagen in einem großen Stahl- und Walzwerk dem innerbetrieblichen Transport und der Zuführung der Rohstoffe sowie dem Versand der Erzeugnisse auf dem Anschluß zum Eisenbahnnetz des Landes. In diesem Bereich sind die Facharbeiter für Eisenbahn- und Transporttechnik wirksam.

Wie in keinem anderen Industriezweig ist in der Metallurgie die Verflechtung zwischen den einzelnen Produktionsstufen sehr stark. Deshalb ist die Kenntnis des metallurgischen Prozesses für jeden Metallurgen unbedingt erforderlich.

Auf dem Gebiet der Metallurgie existieren noch viele komplizierte Probleme, an deren Erforschung und Lösung viele Personen beteiligt sind: Wissenschaftler,

Ingenieure und Neuerer. Dabei ist die Zusammenarbeit über Ländergrenzen hinweg bedeutungsvoll. Durch die gemeinsamen Initiativen der Metallurgen der DDR und der Sowjetunion, z. B. bei den Schmelzen der Freundschaft und anderen Erfahrungsaustauschen, durch Spezialisierung und Kooperation bei der Produktion der Ausrüstung der Metallurgie und beim Produktions sortiment werden viele Probleme gelöst.

Man sagt, daß derjenige Beruf der beste ist, dem man alle Kraft, Energie und alles Wissen widmet. Die Freude am Beruf hängt hauptsächlich davon ab, wie man selbst zu ihm steht.

»Wenn Sie die Arbeit richtig auswählen und Ihre ganze Seele hineinlegen, dann werden Sie vom Glück aufgesucht werden«, schrieb der russische Pädagoge K. D. Uschinski.

Bilderläuterungen

Zum Abschnitt »Weißblech aus dem Erzgebirge«:

Seite 42: Erzaufbereitung – Rüttel- bzw. Stoßherd

Seite 44: Zingewinnung – Schmelzofen und Vergießen von Rohzinn

Seite 45: Zingewinnung – Saigerherd

Zum Abschnitt »Adolph Menzels Eisenwalzwerk«:

Seite 53: Ausschnitte aus dem »Eisenwalzwerk« (A. v. Menzel, Öl auf Leinwand, 1875; Genehmigt: Berlin, Staatliche Museen, Nationalgalerie)

Seite 54: Arbeiter (A. Menzel; Skizzenbuch Nr. 34, 1869/71, S. 33; Bleistift bzw. Skizzenbuch Nr. 38, 1872, S. 30; Bleistift)

Seite 55: Frühstückspause (A. v. Menzel; Skizzenbuch Nr. 34, 1869/71, S. 25; Bleistift)
(Alle Zeichnungen genehmigt von: Berlin, Staatliche Museen, Kupferstichkabinett und Sammlung der Zeichnungen)



Das populärwissenschaftliche Buch ist dem glänzenden, grau aussehenden und schmiedbaren Metall Eisen gewidmet. Dieses chemische Element der VIII. Gruppe des Periodensystems mit der Ordnungszahl 26 und der Atommasse 55,85 hatte bereits in der Vergangenheit eine große Bedeutung. Drei Jahrtausende schon nutzt der Mensch das Eisen bis hin zu den heutigen vortrefflichen Maschinen und Mechanismen.

Die Eigenschaften des Eisens sind außerordentlich vielfältig. Mit zunehmendem Reinheitsgrad ändern sie sich ganz erheblich. Schon geringste Gehalte an Verunreinigungen und chemischen Zusätzen haben einen großen Einfluß. Die Schmelztemperatur des Reinststeins beträgt 1 534 °C und seine Verdampfungstemperatur liegt bei 3 200 °C. Die Dichte beträgt 7,88 g/cm³. Mit vielen Metallen bildet Eisen Legierungen, obgleich es auch in einigen vollkommen unlöslich ist.

Die Eisenlegierungen vereinen Festigkeit und Plastizität. Außerdem besitzen sie die Fähigkeit, sich in beliebige Form umwandeln zu lassen und Schlagbeanspruchungen zu widerstehen. Sie können sowohl bei tiefen als auch bei hohen Temperaturen eingesetzt werden.

In dem Buch werden ungewöhnliche Eigenschaften des Eisens beschrieben. Der Leser erfährt aber auch viel Wissenswertes über Vorkommen, Gewinnung, Verarbeitung und Anwendungsgebiete dieses Metalles und seiner Legierungen.

Der Autor hofft, daß dieses Buch nicht nur für Jugendliche, die einen Beruf in der Schwarzmetallurgie ergreifen möchten, von Interesse ist. Auch diejenigen Leser, die nicht mehr die Schulbank drücken, werden viel Wissenswertes in dem Büchlein finden.