



meerzeugung, als Reduktionsmittel und als Legierungspartner. So klar sich diese drei Funktionen auch theoretisch voneinander abgrenzen und in ihren Anteilen quantifizieren lassen [3], so eng sind sie doch praktisch miteinander verbunden und voneinander abhängig. Lediglich die Wärmeerzeugung läßt sich isoliert betrachten und nutzen, eröffnet allein aber auch nur einen sehr begrenzten Spielraum metallurgischer Aktivität. Die später hinzukommende Nutzung des Kohlenstoffs als Reduktionsmittel erfordert bereits zwingend seine gleichzeitige Nutzung zur Wärmeerzeugung, da andernfalls – bei zu niedriger Temperatur – die notwendige Reaktionskinetik nicht erreicht wird, d.h. die erwünschten Reaktionen nicht oder nicht schnell genug ablaufen. Für den dritten Fall schließlich, den Einsatz des Kohlenstoffs als Legierungspartner des Eisens, ist sowohl eine hinreichende Temperaturführung als auch die Einhaltung strikt reduzierender Bedingungen erforderlich, um eine unbeabsichtigte Oxidation des Kohlenstoffs zu vermeiden.

In der modernen sprachlichen Abstraktion entsprechen die genannten drei Funktionen einer rein thermischen Nutzung (Wärmeerzeugung), einer indirekten stofflichen Nutzung (Reduktionsmittel zur Abfuhr des unerwünschten Sauerstoffs aus dem Erz) und schließlich einer direkten stofflichen Nutzung (stofflicher Bestandteil der erzeugten Legierung).

**Kohlenstoff zur Wärmeerzeugung.** Die erste und grundlegende metallurgische Nutzung des Kohlenstoffs erfolgte mit der Erzeugung von Wärme in der ausgehenden Jungsteinzeit [4]. Das Aufspüren dieser Anfänge erfordert als erstes die Definition von Metallurgie im Gegensatz zu der Nutzung anderer Rohstoffe der natürlichen Umwelt des neolithischen Menschen wie Holz, Knochen, Feuerstein etc. Gediene Metalle, vor allem Gold und Kupfer, zogen wie andere ungewöhnliche Steine die Aufmerksamkeit des Menschen auf sich.

Die Besonderheit dieser 'schweren Steine' gegenüber den übrigen Werkstoffen liegt in ihrer Duktilität, die als wesentliches Merkmal eine bruchlose Verformung und damit die Herstellung bislang unbekannter Formen wie Haken oder Bleche ermöglichte. Ist diese Duktilität und Zähigkeit zu Anfang noch eine naturgegebene Eigenschaft der gediegenen Metalle, so setzt spätestens dann die Metallurgie als Form menschlichen Handelns ein, wenn das durch die Verformung hart und spröde gewordene Metall gezielt erhitzt wird, um durch eine Rekristallisation des Gefüges seine ursprüngliche Eigenschaft zurückzugewinnen: Eine Operation, die ausschließlich auf Metalle anwendbar ist und damit den Grundstein der Metallurgie als einer spezialisierten Kunst legte.

Die ältesten archäologischen Belege für dieses Weichglühen liegen aus Anatolien vor [5], wo bereits im 7. Jahrtausend vor Christus durch das Schmieden von gediegenem Kupfer Nadeln, Ahlen und Perlen hergestellt worden sind. Die hierfür notwendigen Temperaturen liegen bei wenigen hundert Grad Celsius, also völlig im Rahmen dessen, was mit einem einfachen Holzfeuer zu erreichen war: Besondere Öfen waren nicht notwendig. Somit sind die Chancen, die Beherrschung dieser Technik archäologisch nachzuweisen, sehr gering: Hinweise können nur Gefügeuntersuchungen der Objekte selbst geben. Die Erfahrung mit dieser Technik führte im Laufe der Zeit zur Entwicklung des Sinterns, mit dem am Ende des Neolithikums aus Goldstaub

größere zusammenhängende Bleche und Objekte geschaffen wurden [6, 7].

Bis zu welcher Perfektion die Sintertechnik im Extrem entwickelt wurde, zeigen Untersuchungen an präkolumbianischen Gold-Platin-Objekten aus dem heutigen Ecuador: Dort wurde das selbst mit modernen Methoden nur schwer zu bearbeitende Platin aus Flußsanden zusammen mit Gold herausgewaschen und durch wechselndes Sintern und Hämmern zu kunstfertigen Objekten verarbeitet [8], ohne daß das Metall je aufgeschmolzen wurde. Ähnlich ist auch die Verarbeitung meteorischen Eisens anzusprechen, das bereits Jahrtausende vor der Beherrschung der Eisenverhüttung als Kostbarkeit bekannt war.

In bezug auf die Rolle des Kohlenstoffs ist festzuhalten, daß außer der Verfügbarkeit gediegener Metalle und der Temperaturerzeugung keinerlei Anforderungen an diese erste Stufe der Metallurgie gestellt wurden. Die Redoxbedingungen konnten nicht kontrolliert werden, weshalb die Sintertechnik sich auch auf die Edelmetalle beschränkte. Da alle Vorgänge im festen Zustand abliefen, waren weder Tiegel noch besondere Öfen notwendig; dies ändert sich erst im Chalcolithikum, dem Übergang zur Bronzezeit, mit der Entwicklung der Gußtechnik, die zugleich den Höhepunkt der rein thermischen Nutzung des Kohlenstoffs darstellt.

**Kohlenstoff als Reduktionsmittel.** Es ist bis heute offen, was zuerst da war: die Gußtechnik oder die früheste Verhüttung von Erzen im Tiegel [9]. Nach heutigem Wissen begann die extraktive Metallurgie im Chalkolithikum mit der Reduktion reicher karbonatischer Kupfererze, wobei sich ein mehr oder weniger lockeres Aggregat von Kupfermetall, Kupferoxid und Erzresten bildete. Dieses Produkt mußte vermutlich in einer zweiten Stufe aufgeschmolzen werden, um das Metall zu sammeln und von der 'Schlacke' abzutrennen. Der Grund für dieses zweistufige Vorgehen liegt in dem Oxidationsverhalten des Kohlenstoffs. Die zur Reduktion notwendige unvollständige Verbrennung zu CO setzt wesentlich weniger Energie frei als die vollständige Verbrennung zu CO<sub>2</sub>. Solange der Prozeß dann noch in einem Tiegel erfolgt, in den mit Blasrohren feuchte, verbrauchte Atemluft geblasen wird, liefert die unvollständige Verbrennung nicht genügend Wärme, um die Reaktionsprodukte aufzuschmelzen, **Bild 2**.



**Bild 2.** Frühbronzezeitliche Reduktion von Kupfererz im offenen Tiegel im experimentellen Nachvollzug (Foto: A. Hauptmann)

Nach Rehder [10] ist der Übergang vom Blasrohr zum Ofen mit einer Steigerung der Energieausbeute auf das 10- bis 20fache verbunden. Tiegel wie Ofen haben dabei vielfältige Aufgaben: Als Reaktionsgefäß dienen sie dazu, die Charge zusammenzuhalten, zudem umschließen sie den Reaktionsraum und ermöglichen es dadurch erst, die Gasatmosphäre hinreichend kontrollieren zu können, und weiterhin verringern sie Energieverluste, die durch die Abstrahlung von Wärme entstehen. Der Gußtiegel schließlich sammelt das flüssige Metall, damit es in eine Form gegossen werden kann. Nur am Rande sei bemerkt, daß mit Tiegel und Ofen die Keramik als dritter essenzieller Partner im Bündnis von Metallen und Kohlenstoff die Bühne der Technikgeschichte betritt.

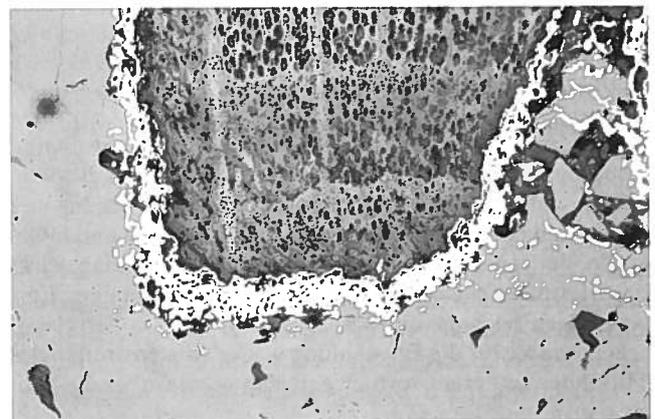
Die Entwicklung der Verhüttungsöfen, die die chemische Reduktion des Erzes und die physikalische Trennung von Metall und Schlacke in einer Hitze ermöglichten, erfolgte dann innerhalb weniger Jahrhunderte und war am Ende der Frühbronzezeit weitgehend abgeschlossen. Die Öfen besaßen gegenüber den Tiegeln eine Reihe entscheidender Vorteile: Neben den vergrößerten Volumina war dies vor allem die Überwindung der Begrenzungen, die bislang durch die Verwendung verbrauchter Atemluft gegeben waren. Jetzt waren nicht mehr nur extrem reiche Erze verwendbar, sondern es konnten zunehmend ärmere Vorkommen genutzt werden. Zugleich verbesserte sich das Ausbringen, erkennbar an dem drastischen Zurückgehen der Metallgehalte der Buntmetall-Schlacken.

Qualitativ verdoppelte die Einführung der Erzverhüttung die Anzahl der verfügbaren Metalle bzw. Legierungen: Zu Kupfer, Gold und Silber kommen nun Blei, Zinn und Bronze hinzu. Kulturell ungleich bedeutender aber war der quantitative Sprung, der die Menschheit mit der Erschließung der praktisch unerschöpflichen Erzreserven von den geographisch und mengenmäßig nur sehr begrenzt verfügbaren gediegenen Metallen unabhängig machte. Jetzt erst wandelte sich das Metall vom reinen Schmuck- und Prestigeobjekt zu einem weithin verfügbaren, praktisch nutzbaren Material mit allen seinen Folgen für die weitere technisch-kulturelle Entwicklung.

**Kohlenstoff als Legierungspartner I – Stahl.** In der gesamten bisherigen Darstellung, die von der Jungsteinzeit bis an das Ende der Spätbronzezeit immerhin etwa 7 Jahrtausende umfaßt, spielte das Eisen keine nennenswerte Rolle. Dies ändert sich erst, dann aber mit durchschlagendem Erfolg, am Übergang von der Spätbronzezeit zur Eisenzeit in der zweiten Hälfte des 2. Jahrtausends vor Christus. Warum? Eisen stellt besondere Anforderungen an die metallurgischen Kenntnisse: Seine Gewinnung erfordert besonders stark reduzierende Bedingungen, und es liegt bei den mit Holzkohle erreichbaren Temperaturen stets als Feststoff vor. Es bildet sich also im Ofen ein mechanisch eng verwachsenes Gemenge von Metall und Schlacke, die Lupe, **Bild 3.**

Die Trennung von Metall und Schlacke, die bei den Buntmetallen im flüssigen Zustand keine Schwierigkeit darstellt, gelingt beim Eisen nur unvollständig und in einem aufwendigen zweiten Schritt, dem Ausheizen oder Reduktionsschmieden. Wenn es dann schließlich gewonnen und in Form gebracht war, dann war es ein wertvolles und daher anfangs nur zu Schmuckzwecken verwendetes Metall, dessen praktische Einsetzbarkeit im Vergleich zur Bronze durch die begrenzte Verfügbarkeit, mangelnde Härte und

unbefriedigende Korrosionsbeständigkeit sehr eingeschränkt war. Erst mit dem Einbau von Kohlenstoff in das Kristallgitter des Eisens, d.h. mit dem Auftreten von Stahl ändert sich dies. Stahl ist im Gegensatz zu Schmiedeeisen gut härtbar und wird damit der Bronze als Werkzeug- und Waffenmetall ebenbürtig, ja überlegen. Mengenmäßig macht der Kohlenstoffanteil in der Legierung nicht viel aus; in aller Regel bleibt er unter einem Gewichtsprozent. Durch die gegenüber Kupfer und vor allem Zinn aber gleichsam allgegenwärtigen und damit fast überall verfügbaren Eisenerze verbreitern Eisen und Stahl auf geradezu inflationäre Weise die Bedeutung der Metallurgie. Beschläge, Werkzeuge und Waffen aus Metall werden Allgemeingut, die elitäre Rolle der gediegenen Metalle in Neolithikum und Chalkolithikum sowie die noch immer beschränkte Verfügbarkeit der Buntmetalle im Verlauf der Bronzezeit tritt mehr und mehr zurück.



**Bild 3.** Bildung von metallischem Eisen um einen Holzkohle-Einschluß bei der Verhüttung nach dem Rennfeuer-Verfahren (Foto: M. Ganzewski, Bochum.)

**Kohlenstoff als Legierungspartner II – Roheisen.** Es vergehen gut 2000 Jahre, ehe mit der vollen Ausnutzung der Möglichkeiten des Zweistoffsystems Eisen-Kohlenstoff [11] erneut ein qualitativer Sprung nach vorne getan wird. Die Entwicklung des indirekten Verfahrens der Eisengewinnung im ausgehenden Mittelalter führt endgültig zur Herausbildung einer Massenmetallurgie und legt damit eine der wesentlichen Grundlagen für die industrielle Revolution der Neuzeit. Hier kommen alle drei Aspekte des Kohlenstoffs in der Metallurgie unauflösbar verknüpft und gleichberechtigt zum Tragen. Die Anfänge der Roheisengewinnung lassen sich mittlerweile bis in das Hochmittelalter zurückverfolgen [12]; neueste Arbeiten weisen darauf hin, daß es sich dabei um eine kontinuierliche Entwicklung aus dem Rennfeuerverfahren heraus handelte [13] und eng an die Einführung der Wasserkraftnutzung in der Metallurgie gebunden war.

### Metallurgische Gesichtspunkte

Die ausschließliche Verwendung von Kohlenstoff als Reduktionsmittel begrenzte bis tief in die Neuzeit hinein ganz wesentlich die Zahl der verfügbaren Metalle. Aufgrund der Kombination von Redox-Potential und erreichbarer Temperatur waren die Leichtmetalle sowie nahezu alle Stahl-

veredler nicht metallisch darstellbar, **Bild 4**. So ist das Spektrum der seit der frühen Bronzezeit verwendeten Metalle bis in die Neuzeit unverändert geblieben: Gold, Silber, Quecksilber und Kupfer, die alle schon als gediegene Metalle in der Natur vorkommen, sowie Blei und Zinn als wichtige weitere Metalle, die nur aus ihren Erzen gewonnen werden konnten. In der Mitte des zweiten Jahrtausends vor Christus kommt Eisen als neues Element hinzu.

Die leichtflüchtigen Metalle Antimon, Arsen und Zink sind zwar theoretisch reduzierbar, spielen praktisch jedoch nur als Legierungspartner des Kupfers eine zeitlich und örtlich begrenzte Rolle. Ihre metallische Darstellung gewinnt erst im 2. Jahrtausend nach Christus, ja eigentlich erst in der Neuzeit eine größere Rolle. Als Legierungspartner des Eisens schließlich hat der Kohlenstoff gleich zweimal revolutionär Geschichte gemacht: am Anfang der Eisenzeit als Stahl und im ausgehenden Mittelalter mit der Entwicklung des indirekten Verfahrens der Eisenherstellung.

### Die wirtschaftliche Rolle des Kohlenstoffs in der Metallurgie

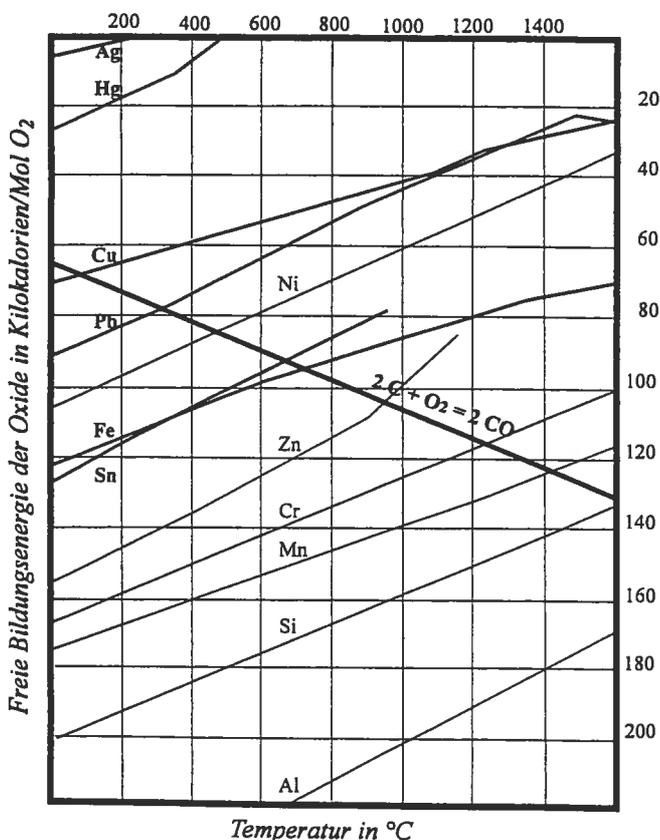
Der Einfluß menschlicher Aktivität auf die Umwelt und insbesondere die Vegetation ist durchaus nicht auf die Neuzeit beschränkt. Neben der Gewinnung von Weide- und Ackerland ist es vor allem der Verbrauch an Holz und Holzkohle, der massiv in die Landschaftsgestaltung eingewirkt hat. Beispiele gewerblich verursachter großräumiger Entwaldungen reichen vom Schiffbau, der schon in der klassischen Antike für die Entwaldung weiter Küstenstreifen des Mittelmeeres verantwortlich gemacht wurde, über die Sali-

nenbetriebe Lüneburgs, der wir das heutige Naturschutzgebiet der Lüneburger Heide verdanken, bis zum Bergbau- und Hüttenwesen in den Hochlagen etwa von Harz und Erzgebirge, die erst seit historisch kurzer Zeit wieder größere zusammenhängende Waldbestände aufweisen, **Bild 5**. Eine umfassende Darstellung dieser Entwicklung und ihre mittelbare und unmittelbare Auswirkung auf Bergbau und Hüttenwesen im Oberharz ist unlängst von Bartels vorgelegt worden [14].



Das Gebirge A, C. Der Gang B.

**Bild 5.** Typische Darstellung des „Waldes“ in der Mitte des 16. Jahrhunderts; man beachte die zahllosen Baumstümpfe. Aus [1]



**Bild 4.** Stark vereinfachte Darstellung des Ellingham-Diagramms zur Verdeutlichung der Rolle des Kohlenstoffs für die Verfügbarkeit der klassischen Metalle

Die wachsende Rolle des Kohlenstoffs in der Metallurgie bedeutete zugleich eine mehr als proportionale Zunahme des Verbrauchs an Kohlenstoff, die langfristig nicht ohne Folgen für die verfügbaren Ressourcen bleiben konnte. Jeder Schritt von der rein thermischen Nutzung über die indirekte stoffliche Nutzung bis zur direkten stofflichen Nutzung des Kohlenstoffs ging mit einer Steigerung des Kohlenstoffbedarfs pro Masseneinheit Metall einher, die durch die gleichzeitig zunehmenden Metallmengen noch potenziert wurde. Demgegenüber erfolgt zwar innerhalb der einzelnen Stufen durchaus eine Verringerung des spezifischen Kohlenstoffbedarfs durch prozeßtechnische Optimierungen der angewandten Verfahren; durch die gleichzeitig aber ständig wachsenden Produktionsmengen wird dies mehr als kompensiert.

In unmittelbarer Folge dieser Verknappung der begrenzten Ressource Wald kommt es erst zu einem Wettbewerb unter den konkurrierenden Verbrauchern (Hausbrand, Töpfereien, Glashütten, Montanwesen, Bauholz, aber auch der Adel mit seinem Interesse an ungestörten Waldbeständen für die Jagd), der sich in einem ständigen Innovationsdruck zur Reduzierung des spezifischen Holzkohlenverbrauchs äußert, aber auch zu gezielten konstruktiven Maßnahmen zur Sicherung und Steigerung der Holzproduktion. Beispiele sind die Einführung der Nadelwaldsaat im späten Mittelalter [15], aber auch die Ausprägung so spezifischer Waldbewirtschaftungsformen wie der Haubergswirtschaft im Siegerland und anderswo [16].

Die Auswirkungen dieser wirtschaftlichen Rolle des Kohlenstoffs sollen nur kurz angerissen werden. Grundsätzlich sind es zwei Aspekte, die hier zum Tragen

kommen: zum einen die Standortfrage und zum anderen die Frage nach der wirtschaftlichen und technischen Optimierung eines Verfahrens. Als steuernde Einflußgrößen sind zu nennen a) die natürliche Verfügbarkeit bzw. die im freien Verkehr ausgehandelten Kosten von Holz und Holzkohle, b) deren durch obrigkeitliche Regelungen reglementierte Verfügbarkeit im Interesse bestimmter Wirtschaftsbetriebe sowie c) die aufgrund politischer Entscheidungen mehr oder weniger willkürlich festgesetzten Steuern.

**Die natürliche Verfügbarkeit.** Zur erfolgreichen Anlage eines Hüttenbetriebes bedarf es traditionell vierer Dinge: Erze, Brennstoff, Arbeitskräfte und Abnehmer. Arbeitskräfte und Abnehmer sind mobil und im Rahmen gewisser Grenzen anzuwerben bzw. über den Handel zu erreichen. Somit bleiben als standortbestimmende Faktoren die Verfügbarkeit von Erz und Holzkohle. Zwar sind aus geologischen bzw. siedlungsgeographischen Gründen Erze oft in walddreichen Gegenden gefunden worden (in den fruchtbaren Niederungen, die als erstes gerodet und besiedelt wurden, sind mögliche Erzadern unter mächtigen Böden verborgen), so daß Erz und Holz anfangs meist nahe beieinander verfügbar waren. Nach der Erschöpfung der unmittelbar benachbarten Holzvorräte jedoch erwies es sich in der Regel als einfacher, das Erz zur Kohle zu schaffen als umgekehrt: Bei ungefähr gleichem Gewichtsbedarf ist Erz als das spezifisch dichtere Gut einfacher zu transportieren, hinzu kommen die mechanischen Verluste durch Abrieb und Zerkleinerung der instabilen Holzkohle bei oft rauhem Transport.

**Die gesetzlich reglementierte Verfügbarkeit.** Der immense Verbrauch von Holz und Holzkohle erfolgt nicht allein durch die Metallurgie. Keramiköfen, Glashütten, Hausbrand und Schiffbau waren durch die ganze Geschichte hindurch andere Großverbraucher, die es zu befriedigen galt, während der Adel teilweise riesige Waldbestände zugunsten der Jagd für jede sonstige Nutzung sperren konnte und dabei oft als privilegierter Wettbewerber um die Ressource Wald auftrat. Die hierdurch beinahe zwangsläufig auftretenden Konflikte zwischen den einzelnen Verbrauchern erforderten immer wieder gesetzliche Regelungen. So hat bereits um 1340 der Nürnberger Rat Ansiedlung und Betrieb von Kohlenmeilern, Glashütten und Eisenhämmern in seinen Wäldern verboten, um die Versorgung der Stadt mit Holz zu sichern [17].

**Politisch gesteuerte Verfügbarkeit.** Die politisch motivierte Besteuerung von Energie, sei es zur Erzielung zusätzlicher Haushaltsmittel, sei es zur Dämpfung des Energieverbrauchs aus ökologischen Gründen, fällt mit ihrer derzeitigen Blütephase eindeutig aus dem gesteckten Zeitrahmen und wird daher hier nicht weiter dargelegt; aktuelle Beispiele dürften ohnehin hinlänglich bekannt sein.

## Schlußbetrachtung

Die Erfindung der Metallurgie erfolgte im ausgehenden Neolithikum, im soziokulturellen Kontext der Selbsthaftwerdung der Menschen, dem Aufkommen von Ackerbau und Viehzucht, der Erfindung der Keramik, der Entwicklung von Arbeitsteilung und Fernhandel sowie der Herausbildung hierarchischer Strukturen. Damit sind bereits alle wesentlichen Grundelemente der heutigen Zivilisation gelegt,

alles danach Entstandene ist nur noch technisch-wissenschaftliche Fortentwicklung, an der die Nutzung des Kohlenstoffs entscheidenden Anteil hat.

Die Entwicklung der Rolle des Kohlenstoffs für die Metallurgie steht beispielhaft für den Ablauf von Entwicklung überhaupt. Zeiten einer langsamen, kontinuierlichen Evolution, die durchaus auch Rückschritt und Verlust von Know-how einschließen können, wechseln mit historisch kurzen Epochen einer beschleunigten Evolution, die aus der zeitlichen Entfernung betrachtet zu einer Revolution verschimmeln können. Eine detailliertere Betrachtung der Umstände und eine größere zeitliche Auflösung bei dieser Betrachtung zeigen jedoch in aller Regel, daß scheinbar sprunghafte Fortschritte ihre Vorläufer und eigene Entwicklung haben. Der „Erfindung“ des Tiegels ging ebenso eine akkumulierte Erfahrung mit der Wärmebehandlung gediegener Metalle voraus wie erst die Erfahrungen mit diesen Tiegeln zur Entwicklung von Öfen und der „Erfindung“ der Verhüttung führten. In vergleichbarer Weise waren es erst die permanenten Fortentwicklungen der Verhüttungsöfen, die im Mittelalter schließlich zur „Erfindung“ des indirekten Verfahrens der Eisenherstellung führten. Nur das kombinierte Wechselspiel von Erhöhung der Prozeßtemperatur, Verbesserung der Reduktionsbedingungen und Nutzbarmachung des Systems Eisen-Kohlenstoff führte dazu, daß Eisen und Stahl als Massengüter verfügbar wurden und damit die Grundlage der industriellen Revolution legten.

Es ist auffällig, daß solche Perioden von normaler und beschleunigter Evolution in extrem langweiliger Modulation auftreten. Die einzelnen Phasen, Nutzung gediegener Metalle, Verhüttung der Buntmetallerze, direkte Eisengewinnung und schließlich indirekte Eisengewinnung, erstrecken sich jeweils über zwei bis drei Jahrtausende. Innerhalb der einzelnen Phasen ist eine laufende Prozeßoptimierung erkennbar, die vor allem eine Optimierung der Brennstoffnutzung ist. Die so erzielte Senkung des spezifischen Holzkohlebedarfs wird jedoch mit gleicher Regelmäßigkeit durch kontinuierlich ansteigende Produktionsmengen überkompensiert, bis in Phasen beschleunigter Evolution und oft unter dem besonderen Druck der Brennstoffverknappung völlig neue Prozesse zum Durchbruch kommen.

Hier zeigt sich der entwicklungsstimulierende Effekt wirtschaftlich-technischer Problemsituationen, der ein wichtiger Motor der Technikgeschichte ist. Dabei bestimmt die energetische Nutzung des Kohlenstoffs noch heute das Bild der Metallurgie in der Öffentlichkeit, obwohl seine stoffliche Nutzung als Reduktionsmittel und Legierungspartner längst überwiegt: Die thermische Nutzung ist unter dem seit Jahrhunderten wirkenden politisch-wirtschaftlichen Druck auf das physikalisch notwendige Maß reduziert, das die stoffliche Nutzung überhaupt erst ermöglicht.

(S 29705)

## Schrifttum

- [1] *Agricola, G.*: Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. VDI-Verlag Düsseldorf 1978.
- [2] *Ercker, L.*: Beschreibung der allervornehmsten mineralischen Erze und Bergwerksarten vom Jahre 1580, Akademie-Verlag Berlin 1960.
- [3] *Jeschar, R.*; *Dombrowski, G.*: Stahl und Eisen 116 (1996) Nr. 8, S. 81/87.
- [4] *Pernicka, E.*: Jahrb. Röm. Germ. Nationalmuseums 37 (1990) S. 21/129.
- [5] *Muhly, J.*: Cayönü Tepesi and the Beginnings of Metallurgy in the Old World. Aus: Archäometallurgie der Alten Welt, Der Anschnitt, Beiheft 7. Deutsches Bergbau-Museum Bochum, S. 1/11.

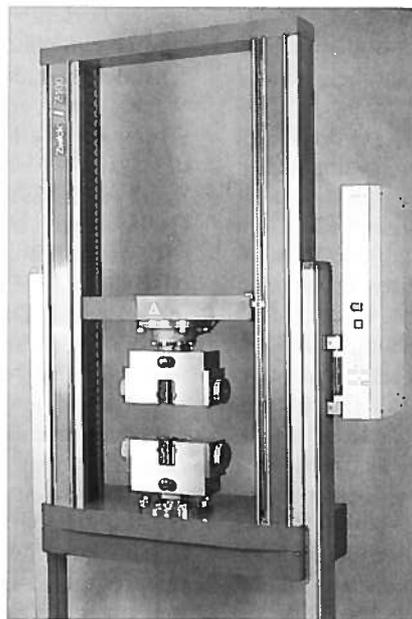
- [6] *Eluere, Chr.; Raub, Chr.*: New investigation on early gold foil manufacture. Aus: *Archaeometry* '90, Birkhäuser-Verlag Basel, S. 45/54.
- [7] *Raub, Chr.*: The metallurgy of gold and silver in prehistoric times. Aus: *Prehistoric Gold in Europe*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, S. 243/260.
- [8] *Scott, D.; Bray, W.*: Pre-Hispanic platinum alloys: Their composition and use in Ecuador and Colombia. Aus: *Archaeometry of Pre-Columbian Sites and Artifacts*, The Getty Conservation Institute, 1994, S. 285/322.
- [9] Wie [4].
- [10] *Rehder, J.*: *Journal of Field Archaeology* 21 (1994) S. 345/350.
- [11] *Horstmann, D.*: Das Zustandsschaubild Eisen-Kohlenstoff und die Grundlagen der Wärmebehandlung der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen. Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf 1985.
- [12] *Yalcin, Ü.; Lychatz, B.*: *Metalla* (Bochum), 2 (1995) Nr. 2, S. 53/61.
- [13] *Gassmann, G.; Yalcin, Ü.; Hauptmann, A.*: *Metalla* (Bochum), 2 (1995) Nr. 2, S. 43/52.
- [14] *Bartels, Chr.*: Vom frühneuzeitlichen Montangewerbe zur Bergbauintdustrie. *Erzbergbau im Oberharz 1635-1866*. Deutsches Bergbaumuseum Bochum, 1992.
- [15] *Stromer, W.v.*: Die Erfindung der Nadelwald-Saat durch Peter Stromer 1368. Mannheim 1968.
- [16] *Pott, R.; Speier, M.*: Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen zur Waldentwicklung und Landnutzung im Siegerland und Lahn-Dill-Gebiet. In: *Montanarchäologie in Europa*, H. Steuer und U. Zimmermann, Hrsg., S. 531/550.
- [17] *Stromer, W.v.*: *Technikgeschichte* 62 (1995) Nr. 3, S. 187/219.

## Prüfung von Werkstoffen aller Art

Zwick GmbH & Co., Ulm, hält ein umfassendes Programm für die Prüfung von Werkstoffen bereit. Dazu gehören Materialprüfmaschinen, Härteprüfgeräte und Pendelschlagwerke.

Zur Messung der Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchdehnung eignen sich die Materialprüfmaschinen der Standard-Serie, **Bild 1**. Sie zeichnen sich vor allem durch eine hochauflösende, genaue und kanalsynchrone MSR-Elektronik aus (Genauigkeitsklasse ab 0,5). Es werden ausschließlich robuste Industrieantriebe verwendet, die eine lange Lebensdauer garantieren. Ausbaubar ist die Maschine durch eine Vielzahl von Probenhaltern, Extensometern und Temperierkammern. Durch das modulare System von Prüfmaschinen, Zubehör und Software ergeben sich für den Anwender kostengünstige Einstiegsmöglichkeiten in die Prüftechnik und Erweiterbarkeit für wachsende Ansprüche.

Mit dem weiterentwickelten Längänderungsaufnehmer „Makro“ sind hochgenaue Messungen möglich.



**Bild 1.** Standard-Materialprüfmaschine

Er dient zur Bestimmung von E-Modul und technischer Elastizitätsgrenze sowie zur Dehnungsmessung an Proben mit mittlerem Dehnungsbereich, z. B. Metall oder harten Kunststoffen. Durch einfaches Austauschen der Meßfühler ist eine problemlose und schnelle Umstellung von Zug- auf Druckprüfungen möglich.

Durch den Einsatz der neuen Prüfsoftware „testXpert“ ist die Maschine schnell und intuitiv mit Einknopfbedienung steuerbar. Bedieneingaben werden bei dieser Software auf ein Minimum reduziert. Graphische Hilfsmittel informieren und helfen weiter. Eine vollständige ISO-9000-Dokumentation ist gewährleistet.

Die Beratung durch ein eigenes Kompetenzzentrum „Metall“ sowie ein Wartungs- und Kalibrierservice komplettieren das Angebot. (SK 0531)

Weitere Informationen:

Zwick GmbH & Co.

August-Nagel-Str. 11

D-89079 Ulm

☎ (+49-73 05) 1 00, Fax 10-2 00

## Datenverarbeitungssysteme für die Stahlproduktion

Die Krupp Hoesch Stahl AG investiert zur Stärkung ihrer Wettbewerbsfähigkeit kontinuierlich in den neuesten Stand der Instrumentierung der Fertigungsprozesse und so auch in die Steuerung der komplexen Hochofenprozesse. Zur wirtschaftlichen Lösung dieser Daueraufgabe ist fortschrittlichste Datenverarbeitungstechnologie unerlässlich.

Für die Realisierung des anstehenden Automatisierungsprojektes bekam IBM, Stuttgart, den Zuschlag als Generalunternehmer.

Mit der angebotenen offenen Struktur in der Steuerungsebene (Programmierung nach IEC 1131-3) mit Feldbus

über IPC an das Netzwerk und für das Prozeßleitsystem mit dem Produkt Cimview konnte IBM die Wunschvorstellungen des Kunden exakt abdecken.

Entscheidend für die Auftragserteilung war neben zukunftsweisender Technik die ganzheitliche Vorgehensweise der IBM mit Kosten-, Termin- und Qualitätsgarantie.

Die Akzeptanz des Gesamtkonzeptes wurde im wesentlichen bestimmt durch:

- Schnelle Kommunikation über LWL-Verkabelung.
- Kostengünstige Speicher-Verarbeitungssysteme mit IPC.

- Leistungsfähige und benutzerfreundliche Software-Programme.
- Volle Nutzung aller Möglichkeiten zur Rationalisierung.

Die neue Technik garantiert Flexibilität bei künftigen Erweiterungen und Änderungen von technischen und geschäftlichen Prozessen und sorgt darüber hinaus für eine höhere Verfügbarkeit von Aggregaten und Anlagen.

Weitere Informationen: (SK 0513)

IBM Informationssysteme GmbH

Service Zentrum Südwest

Pascalstraße 100

D-70569 Stuttgart

☎ (+49-70 31) 12-61 59

Fax (+49-70 31) 12-76 77