

Die Bergbautechnik im Verlauf der industriellen Revolution in den mitteleuropäischen Revieren (1830 - 1914)

Die Wellen der industriellen Revolution, die sich nach Beendigung der Napoleonischen Kriege von England aus auf den Kontinent ausbreiteten, trafen den europäischen Bergbau vollkommen unvorbereitet für die Sendung an, welche ihm im Industrialisierungsprozeß vorbestimmt war. Infolge einer ganzen Reihe anachronistischer politisch-ökonomischer Maßnahmen litt die wirtschaftliche Entwicklung der Länder Mitteleuropas größtenteils unter einer Depression: Das starre System der handwerklichen Erzeugung, die einseitig ausgerichteten Manufakturen und die beginnende industrielle Produktion in den Fabriken hielten die Nachfrage nach den grundlegenden Rohstoffen lange Zeit auf einem traditionellen Niveau zurück.

Während in England die industrielle Revolution in den zwanziger und dreißiger Jahren des 19. Jahrhunderts infolge des allgemeinen Einsatzes der Dampfmaschine für den Antrieb der Maschinenanlagen bereits in den meisten Produktionszweigen ihrem Höhepunkt zustrebte, befand sie sich in Europa erst in ihren zaghaften Anfängen. Und so trat der Bergbau mit der technischen Ausrüstung vergangener Jahrhunderte in die erste Phase der Industrialisierung ein. Die Veränderungen in den einzelnen Arbeitsbereichen des Bergbaus setzten sich langsam und unter ökonomischem Druck durch, denn die Entwicklung des Bergbaus war technisch besonders von der Entwicklung der Maschinenproduktion, wirtschaftlich von der Entfaltung der übrigen Industrie abhängig.

Vorbemerkungen

Der Charakter und der Umfang der bergbaulichen Produktion wurden in der Eingangsphase der industriellen Revolution von einer umfangreichen Reihe weiterer Faktoren stimuliert. Abgesehen vom Stand des Kommunikationsnetzes waren es insbesondere wichtige Faktoren auf ökonomischem Gebiet, zum Beispiel die von den Konkurrenzbeziehungen bestimmte Preispolitik, die Höhe der Transport- und Zolltarife. In dieser Hinsicht spielten — angefangen mit dem Jahr 1834 — der allmähliche Beitritt der deutschen Staaten zum Zollverein und vom Jahre 1854 die Teilnahme Österreichs eine außer-

ordentlich konsolidierende Rolle, denn diese Bestrebungen trugen zur Bildung eines gemeinsamen mitteleuropäischen Marktes wesentlich bei. Es gab hier allerdings auch gewisse Schranken, die beseitigt werden mußten, um die Bergbauproduktion seit den fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts proportional zum beschleunigten Tempo der Industrialisierung — insbesondere in Deutschland und im westlichen Teil der österreichischen Monarchie — steigern zu können. Vor allem mußte man neue bergrechtliche Richtlinien erlassen, die Struktur der staatlichen Montanverwaltung anpassen und u. a. auch die Formen der Regalinteressen abgrenzen, um im Kohlen- und Erzbergbau den Weg zur Unternehmerinitiative freizusetzen.

An dieser Stelle ist es nicht möglich, alle Faktoren zu erwähnen, die einen Bestandteil des Innovationsprozesses im europäischen Bergbau im vergangenen Jahrhundert gebildet oder ihn bedingt haben. Viele davon sind allgemeiner Natur und denen in anderen Produktionsbereichen ähnlich, andere waren dadurch bedingt, daß die bergbauliche Produktion keinen homogenen Prozeß, sondern einen Komplex aneinander anknüpfender Arbeitsbereiche spezifischer Natur darstellt.

Trotzdem lassen sich in der Entwicklung des mitteleuropäischen Bergbaus in der industriellen Revolution vom technisch-ökonomischen Gesichtspunkt her zwei Etappen unterscheiden. Die erste beginnt etwa an der Wende der zwanziger und dreißiger Jahre des 19. Jahrhunderts und wird im Grunde von der nach 1873 einsetzenden Krisenperiode abgeschlossen (I). Sie wird durch den Übergang von der Manufakturtechnik zur Einführung der Dampfmaschinen zum Antrieb der Produktionsanlagen vorläufig nur bei einigen Arbeitsoperationen stimuliert. Eine Steigerung der Produktion wurde hier noch extensiv erzielt, indem die Zahl der Grubenbetriebe erweitert und die Arbeitskräfte vermehrt wurden. Dies ist die erste Phase des Überganges von kleinen Gruben zur Großproduktion im Bergbau. Die folgende Etappe wird etwa von den achtziger Jahren des 19. Jahrhunderts und dem Ausbruch des Ersten Weltkrieges umrahmt (II). Hier kamen die Dampfmaschinen schon allgemein zur Geltung, und es wurden neue Quellen der Antriebsenergie einge-

führt, namentlich Preßluft und Elektrizität. In dieser Etappe erstarkte der Konzentrationsprozeß, und die Bergbauproduktion wurde in einem entsprechenden Verhältnis zur Verschärfung des Konkurrenzkampfes durch die Mechanisierung aller grundlegenden Arbeitsvorgänge unter wie über Tage intensiviert.

Diese Hilfgliederung gilt im Grunde für alle mitteleuropäischen Bergbauländer — selbstverständlich mit territorialen Abweichungen. So projizieren sich beispielsweise gewisse Zeitverschiebungen als Folge der ökonomischen und technischen Zurückgebliebenheit Österreichs gegenüber Deutschland, der Alpenländer gegenüber den böhmischen Ländern oder des östlichen Teils der österreichischen Monarchie gegenüber dem westlichen; in Deutschland übertrifft das Ruhrgebiet mit seiner technischen Ausrüstung Oberschlesien, die Harzer Reviere sind in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts fortschrittlicher als die des sächsischen Erzgebirges, die böhmischen als die niederungarischen. Aber wie immer auch die Entwicklung in diesem oder jenem Land verlief, die grundlegenden Charakterzüge des technischen Trends internationalisierten sich allmählich unter dem Einfluß der ökonomischen Faktoren, und die Unterschiede gleichen sich allmählich aus. Auf diesen Prozeß wirkte in nicht geringem Ausmaß auch die Entfaltung der Bergbauwissenschaften im 19. Jahrhundert, die von Anfang an von den Bergakademien in Baňská Štiavnica (Schemnitz), Freiberg, Clausthal, Berlin, Příbram und Leoben sowie von einer Reihe Polytechnischer Institute Mitteleuropas gefördert wurden. Ein bedeutender Anteil entfällt dabei auf das Konto der bergbaulichen Zeitschriften und der Fachliteratur, deren Menge und Niveau sich seit der Mitte des 19. Jahrhunderts schnell steigerten. Es gab zudem zahlreiche weitere Einflüsse, welche die allgemeine Entwicklung der Bergbautechnik prägten; ihre Aufzählung überragt jedoch den Rahmen dieser Übersicht.

I: Die Etappe 1830—1880

Erkundung und Aufschluß der Lagerstätten

Einen entscheidenden Einfluß üben im Bergbau seit jeher die Naturbedingungen aus. Zusammen mit den ökonomischen Verhältnissen auf dem europäischen Markt und mit der Stufe der technischen Entwicklung bestimmen sie, ob und in welchem Maße die Lagerstätten rentabel zu gewinnen sind. Daher wurde der Bestimmung der Lagerungsverhältnisse, dem Umfang und der Qualität der Lagerstätten, insbesondere der Kohlenlagerstätten seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts, eine außerordentliche Bedeutung beigemessen. Außer den traditionellen Methoden der Bestimmung durch einfache Schürfarbeiten, Stollen oder durch Handbohren mit Spiralbohrern begann man zwischen 1820 und 1830, nach englischem

Vorbild Stoßbohrmethoden mit einem Bohrmeißel — am Gestänge mit Handbedienung oder mit Göpelantrieb — zu verwenden. Die ersten erfolgreichen Bohrungen Friedrich Glencks beim Aufschluß einer Reihe von Salzlagerstätten in Sachsen, Thüringen und in der Schweiz in den Jahren 1818—1830, die eine Teufe von 370 m erreichten, deuteten bereits die künftigen Perspektiven an. Bald danach, im Jahre 1834, führte Karl von Oeynhausen seine Rutschschere ein, wodurch er die Störanfälligkeit der Bohranlage verringerte und die Bohrleistung erhöhte. 1845 erzielte er eine Teufe von 697 m. Im Jahre 1842 konstruierten Karl Gotthold Kind und drei Jahre später Karl Fabian die Freifallvorrichtung, die 1849 von dem Bergpraktikanten Klečka verbessert wurde. Diese Vorrichtung verkürzte die Bohrzeit beinahe um 60 Prozent und setzte die Betriebskosten um mehr als 25 Prozent herab.

Diese Methoden wurden schnell, namentlich in den böhmischen Ländern, appliziert, wo bereits zwischen 1830 und 1850 — gleichlaufend in Preußen und Oberschlesien — eine systematische staatliche Erkundung der Kohlenlagerstätten erfolgte. Im Jahre 1858 gibt der Professor der Bergakademie Příbram, Augustin Beer, das erste Lehrbuch über Tiefbohrkunde heraus. Von der Mitte des 19. Jahrhunderts an haben sich die Leistungen der Bohrtechnik ständig erhöht. Nach dem Einsatz der Dampfmaschine zur Schachtförderung und bei der Wasserhaltung hörte die Teufe auf, ein entscheidender Faktor zu sein, und man konnte mit der Ausbeutung auch tiefer Lagerstätten beginnen.

Die gleiche Entwicklung spiegelte sich bei den Tiefbohrungen wider. Im Laufe der fünfziger Jahre wurden in der Schweiz und kurz danach in Deutschland und Österreich beim Bohren sämtliche traditionellen Göpel durch Dampfmaschinen ersetzt. 1856 wurde in Deutschland bereits das Spülbohrverfahren eingeführt, das zuvor in den vierziger Jahren von Beart und Köbrich erprobt worden war und 1870 schließlich so vervollkommen wurde, daß die Bohrarbeiten kontinuierlich verlaufen konnten. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts trugen Emanuel Przibilla, Albert Fauck und Karl Köbrich zur weiteren Entwicklung des Bohrwesens bei.

Von 1850 bis 1880 arbeiteten bereits einige Bohranlagentypen, u. a. die sog. Pennsylvanische Seilbohrung. In den sechziger Jahren wurde mit diesem System namentlich in Oberschlesien, Galizien und in Böhmen gebohrt. Eine grundsätzliche Erhöhung der Bohrleistung bedeutete das drehende Bohren mit Hilfe von Diamantkronen in den sechziger Jahren. Dieses Bohrverfahren mit Spülung ermöglichte es, in Teufen bis 2000 m vorzudringen, was zu Beginn der neunziger Jahre bereits in einer Reihe von Revieren Mitteleuropas geläufig war.

Die Lagerstätten wurden mit Stollen und größtenteils seigeren Schächten erschlossen, Kohlenflöze auch mit tonnlägigen Schächten. Während die Erzgruben bereits

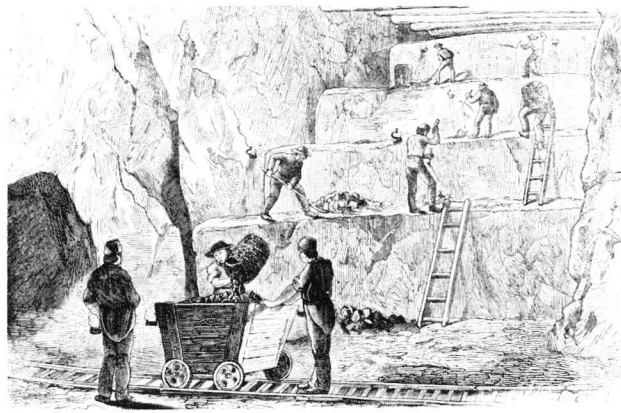


Abb. 1: Strossenbau in einer Erzgrube um 1850

vor der industriellen Revolution stellenweise Großbetriebe darstellten, waren die Kohlengruben zu Beginn des 19. Jahrhunderts in der Regel Kleinbetriebe mit einer geringen Arbeiterzahl. Ihre Kapazität erhöhte sich erst seit den zwanziger und insbesondere dreißiger Jahren, als tiefere, überwiegend seigere Schächte angelegt wurden. Ab etwa 1840 wurden bereits Doppelschächte gebaut, wobei der eine Schacht als Förderschacht und der andere als Wetter- und Hilsschacht diente.

Die ursprünglich kleinen Querschnitte der Förderschächte paßten sich seit der Jahrhundertmitte den Erzgruben an und erweiterten sich auf eine Fläche von ungefähr 20 qm. Bereits vor 1850 näherten sich die Kohlenschächte mit Teufen von rund 400 m den Erzgruben, und in den folgenden Jahrzehnten wurden sie — namentlich im Ruhrgebiet und in Böhmen — weiterhin vertieft.

Gewinnung

Im proportionalen Verhältnis zum steigenden Bedarf an Mineralrohstoffen wurden Wege gesucht, um die Ausbeutung der Lagerstätten, vor allem durch die Wahl geeigneter Abbauverfahren, zu steigern. Im Erzbergbau überzog bis in die siebziger Jahre der Firstenbau mit Versatz bei Verwendung von Sturzrollen für das leichtere Beladen der Förderwagen. Von den älteren Abbauverfahren erhielt sich stellenweise der Strossenbau, modifiziert durch die Einführung einer unteren Sohle mit Sturzrollen; in der Mitte des 19. Jahrhunderts überlebte zudem der Weitungs-Stockwerksbau, zum Beispiel im Harz, im Erzgebirge und im böhmischen Kaiserwald. Von den übrigen Methoden wurden in einigen Eisenerzlagerstätten lokale Abwandlungen des Örter- oder Pfeilerbaus (beispielsweise in den Lagerstätten des böhmischen Barrandiens) angewandt, zeitweise erhielt sich auch der Querbau, der in den niederungarischen Revieren bereits im 18. Jahrhundert eingeführt und im 19. Jahrhundert nur ausnahmsweise — etwa in Krain und in Idria — Verwendung fand.

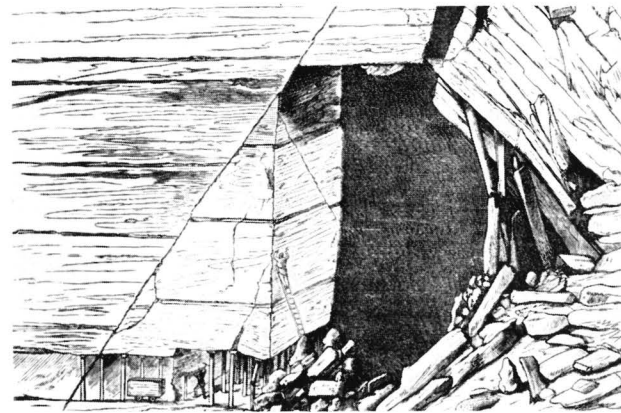


Abb. 2: Kammerbau in einer Braunkohlengrube um 1860

In den europäischen Kohlengebieten war bis etwa 1850 der Örterbau, namentlich im Ruhrgebiet und in Oberschlesien, die verbreitetste Methode. Seit der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert begann sich jedoch der aus dem Örterbau entwickelte Pfeilerbau mit Versatz durchzusetzen. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts erschien dabei eine Reihe von Varianten, insbesondere in belgischen Gruben und an der Ruhr. Der vom Erzbergbau übernommene Querbau fand sich um die Mitte des 19. Jahrhunderts nur beim Abbau mächtiger Flöze im Ruhrgebiet.

In den böhmischen Braunkohlengruben, in 5,5 — 10,5 m mächtigen Flözen, wurde ab etwa 1870 der Stockwerksbau eingeführt, ein mit Pfeilerbau und später auch Kammerbau kombinierter Abbau in zwei Horizonten.

Die Gewinnung der Erz- und Kohlenlagerstätten wurde bis in die siebziger Jahre hinein ausschließlich von Hand mit dem traditionellen Gezähe durchgeführt. Je nach der Art des benutzten Gezähes unterscheiden sich folgende grundlegende Arbeitsweisen der Hereingewinnung: Keilhauenarbeit in weichem Gebirge, die alte Schlägel- und Eisenarbeit (Hereintreibarbeit) und schließlich die Wegfüllarbeit.

Neben der Gewinnung von Hand bediente man sich der Schießarbeit. Das Bohren der Sprenglöcher erfolgt von Hand durch Hammerschläge auf den Bohrer. Es wurden etwa 20—90 cm tiefe Öffnungen für das Einlegen des Sprengstoffes ausgehauen. Die Bohrer wurden zwecks Erhöhung ihrer Beständigkeit gehärtet, aber selbst dadurch war ihr Verbrauch bedeutend: 1873 wurden allein im böhmischen Revier Příbram 1 687 477 gebrauchte Bohrer geschärft und überdies 30 518 neue Bohrer an Bergleute ausgegeben.

Während in England bereits in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts ernsthafte Versuche unternommen wurden, die Dampfenergie zum maschinellen Bohren auszunutzen, begann man im mitteleuropäischen Bergbau erst nach 1850, die ersten Bohrmaschinen einzuführen, mit Spiralbohrern und einer Bohrtiefe von rd. 2 m.

Sie wurden zunächst von Hand mit Hilfe einer Kurbel, bald darauf pneumatisch angetrieben. Ihre Leistung war gegenüber der manuellen Herstellung von Sprenglöchern drei- bis fünfmal höher. Trotzdem wurden sie nur bei Aufschlußarbeiten, vor allem in den Hauptförderstrecken und Querschlägen, eingeführt. Im eigentlichen Abbau wurde das Bohren weiterhin von Hand durchgeführt, denn die Handarbeit war noch um 1850 im Hinblick auf die niedrigen Löhne billiger. So waren beispielsweise im Ostrava-Karvinaer Revier noch in den achtziger Jahren die Kosten für den Vortrieb von 1 m Strecke bei Anwendung einer einfachen Bohrmaschine mehr als 20 Prozent höher als bei einer rein manuellen Arbeitsweise. Verstärkt ging man zum maschinellen Bohren erst seit etwa 1880 über, zuerst im Ruhrgebiet.

Spreng- und Schießarbeit

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts begannen sich die Leistungsziffern bei der Spreng- und Schießarbeit dank wirksamerer Sprengstoffe und geeigneterer Zündmittel zu erhöhen. Zur Lockerung des Gebirges wurde bis in die sechziger Jahre hinein ausschließlich Schwarzpulver benutzt, nur gelegentlich Nitroglyzerin, das in den vierziger Jahren entwickelt worden war. Zum Abschluß wurden im Jahre 1831 erfolgreich die Bickfordsche Sicherheitszündschnur erprobt, 1846 die Schießbaumwolle und 1855 die Blitzzündschnur, wodurch sich die Gefahren beim Hantieren mit Sprengstoffen herabsetzten. Einen grundsätzlichen Wendepunkt bedeutete die Erfin-

dung des Dynamits durch Alfred Nobel im Jahre 1867, das bis zum Ende des 19. Jahrhunderts in den meisten europäischen Gruben eingeführt wurde.

Grubenausbau

Entsprechend dem sich vergrößernden Umfang der Grubenarbeiten erhöhten sich die Anforderungen an die Absicherung der geschaffenen Hohlräume, an den Grubenausbau. In der ersten, hier geschilderten Entwicklungsphase änderte sich der Ausbau nur wenig. Er bestand größtenteils aus Holz, an Stellen außergewöhnlicher Feuchtigkeit aus Trockenmauerung mit verschiedenen Wölbungsarten. Im Steinkohlenbergbau war eine verstärkte Sicherung gegen den Druck notwendig. In den Schächten bestand die Zimmerung aus Rahmen, den Gevierten und Brettern als Verzug; im wasserführenden Gebirge wurde seit etwa 1840 ein wasserdichter Ausbau eingeführt. Seit der Mitte des 19. Jahrhunderts setzte in den wichtigsten Kohlenrevieren eine Ausmauerung mit Backsteinen, Hochofenschlacken oder Bruchsteinen ein. Die Schächte wurden kreisförmig, ellipsenförmig oder quadratisch ausgemauert, die Strecken in einigen Wölbungstypen gemauert. Seit dem Beginn der sechziger Jahre ersetzte im Ruhrgebiet und in den böhmischen Kohlenrevieren der Metallausbau den Holzausbau, bald wurde in Gruben mit voraussichtlich längerer Lebensdauer ein guß- oder schmiedeeiserner Ausbau eingeführt. In den Streben wurden bereits in den siebziger Jahren Schraubenstempel aus Metall verwendet.

Abb. 3: Abfeuern einer Sprengpatrone zu Beginn des 19. Jh.





Abb. 4: Königswarter Teich, vom 16.—19. Jh. für die Zinngruben von Schlaggenwald (Böhmen) genutzt

Energie

In die grundlegenden Arbeitsvorgänge griffen neue technische Mittel in der ersten Phase der industriellen Revolution nur am Rande ein. Sobald sich jedoch die Anforderungen an die bergbauliche Produktion — vor allem der Bedarf an Steinkohle — zu steigern begannen, genügten die Leistungen der überlieferten Antriebsvorrichtungen mit tierischer oder Wasserkraft zur Bedienung der Pump- und Förderanlagen nicht mehr. Sie hielten sich noch eine Zeitlang in den traditionellen Zentren der Erzgewinnung wie etwa im Oberharz mit seinen überwältigenden Bauten zur künstlichen Nutzung der Wasserkraft für den Maschinenantrieb; in den Kohlenrevieren trat dagegen die Dampfmaschine ihren siegreichen Weg an. Die ersten leistungsfähigen Dampfmaschinen gelangten in den Gruben Mitteleuropas, namentlich in Deutschland, am Beginn des 19. Jahrhunderts zum Einsatz, in den Kohlenrevieren Österreichs bis 1830 nur versuchsweise, in den schlesischen Revieren erst am Ende der dreißiger Jahre.

In den Erzrevieren überwog lange die Wasserkraft beim Antrieb der Förder-, Pump- und Aufbereitungsanlagen, und so verschob sich hier der erste Einsatz der Dampfmaschinen bis etwa um 1845. In den Harzer Gruben wurden sie bis 1850 nur ausnahmsweise eingesetzt, analog im Erzgebirge sowie in den böhmischen und österreichischen Revieren. Die letzte der in dieser Zeit installierten Dampfmaschinen, die der Freiburger Grube Alte Elisabeth, wird heute als Technisches Denkmal erhalten.

Der Übergang von der Ausnutzung natürlicher Energie zur Maschinenenergie verlief demnach in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts langsam, im Jahre 1852 betrug beispielsweise in den staatlichen Gruben und Hütten der österreichischen Monarchie der Wasserantrieb noch

88,8 Prozent der Gesamtkapazität, 6,8 Prozent entfielen auf die Dampfkraft und 4,4 Prozent auf Tiere, wobei die meiste Dampfenergie auf die Eisenhüttenwerke konzentriert war. Zu diesem Zeitpunkt waren in den Gruben der österreichischen Monarchie 119 Dampfmaschinen in Betrieb, die zu 90 Prozent in Kohlenrevieren verwendet wurden. Eine günstigere Lage bestand im Ruhrgebiet, wo bereits im Jahre 1825 rund 70 Dampfmaschinen arbeiteten; Oberschlesien folgte erst nach den böhmischen Ländern. Erst seit den sechziger Jahren stiegen Anzahl und Leistung der Dampfmaschinen schnell an, und in den siebziger Jahren hatte sich die Dampfmaschine im ganzen Bergbau als wichtigste Antriebsvorrichtung durchgesetzt.

Die ersten im Bergbau benutzten Dampfmaschinen waren stehend oder liegend, einzylindrig, am Anfang mit Balanciers versehen. Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts waren ihre Leistungen gering, zuerst nur einige Dutzend PS stark; Dampfmaschinen mit einer Leistung von 100 PS waren eher eine Ausnahme. Aber bereits seit der Jahrhundertmitte erhöhte sich ihre Leistung entsprechend den Tiefbaugruben bis auf 300—500 PS, zuerst im Steinkohlenbergbau, in den siebziger Jahren in den Braunkohlen- und schließlich in den Erzgruben. Seit den sechziger Jahren kamen insbesondere die leistungsfähigen doppelwirkenden Woolfschen Dampfmaschinen mit Kataraktsteuerung zur Geltung, die in den folgenden Jahrzehnten konstruktionsmäßig neugestaltet wurden, um eine maximale Expansion des Dampfes zu erreichen. Ein nur flüchtiger Blick in die wichtigsten europäischen Bergbauzeitschriften von 1860—1880 zeugt davon, wieviel theoretische und konstruktionsmäßige Anstrengungen unternommen wurden, um eine genügende Leistung dieser ersten Universalmaschine im Zeitalter der Technik zu erzielen.

Schachtförderung

Neben den Handhaspeln diente noch in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts als wichtigste Fördermaschine der traditionelle Pferdegöpel, der im 18. und 19. Jahrhundert konstruktionsmäßig verbessert worden war und die Förderung mit Kübeln an Hanfseilen oder Ketten aus Teufen von ungefähr 300 m bewerkstelligte. In den böhmischen Revieren betrug seine Förderleistung aus einer Teufe von rd. 250 m etwa 50 t Erz in einer 8-Stunden-Schicht bei einer Geschwindigkeit von etwa 0,3 m/sek, in den übrigen europäischen Bergbaugebieten war die Menge des geförderten Gutes annähernd die gleiche. Die Göpel haben sich stellenweise bis zum Ende des 19. Jahrhunderts erhalten, vor allem in den Erzrevieren Ungarns. Die letzten werden in Deutschland und in der Tschechoslowakei als Technische Denkmäler geschützt.

Wo ein genügender Wasserzufluß bestand, haben sich sog. Bremsmaschinen mit Wasserradantrieb (Rad-durchmesser 11,5 — 14,5 m) erhalten, die konstruktionsmäßig bereits seit der Mitte des 16. Jahrhunderts bekannt waren. Sie wurden insbesondere in den Harzer Gruben, in den Gruben des sächsischen und böhmischen Erzgebirges verwendet; die letzte wurde in Příbram noch im Jahre 1861 aufgestellt. Ihre Leistung war mehr als 50 Prozent höher als die der Pferdegöpel. Stellenweise wurden zu ihrem Antrieb auch Wassersäulenmaschinen verwendet.

Solche Förderanlagen wichen seit etwa 1820 den Dampfmaschinen. Die zunehmende Teufe der Gruben erzwang nicht nur eine Leistungserhöhung durch neue Konstruktionen, sondern auch weitere Maßnahmen, vor allem eine Qualitätsverbesserung der Grubenseile. Die Tragfä-

higkeitsgrenzen der Ketten und Hanfseile waren an ihrem Ende angelangt, und so fanden die Drahtseile nach der Erfindung durch Julius Albert im Jahre 1834 in Clausthal eine schnelle Verwendung: Sie waren unvergleichlich dauerhafter als Hanfseile und ersparten ein Drittel des Gewichts, sie erlaubten einen kostengünstigeren Betrieb und erhöhten die Sicherheit. In den vierziger Jahren benutzte man Rundseile und Fördertrommeln als Seilträger. In den sechziger und siebziger Jahren wurden vorübergehend auch Flachseile für die sog. Bobinen verwendet. Das Problem des Ausgleichs des Seilgewichtes bei der Trommelförderung aus größeren Teufen konnte durch Kegeltrummeln gelöst werden. In geringeren Teufen genügten anfangs konische Trommeln, für große Teufen begannen sich jedoch Spiraltrommeln zu bewähren, deren Durchmesser gegen Ende des 19. Jahrhunderts bis zu 13,5 m erreichte.

Am Anfang wurde die Förderung größtenteils mit Kübeln durchgeführt, bereits seit 1850 wurde in den meisten Gruben mit Einetagen-, bald jedoch mit Zweietagen-Fördergestellen für 2—4 Wagen mit rd. 0,60 cbm Inhalt gearbeitet. Die Geschwindigkeit der seigeren Förderung stieg von etwa 1830 bis 1870 von 0,5 m/sek bis auf 2—3 m/sek und erhöhte sich in den folgenden Jahren noch weiter.

Das Arbeiten in der Teufe erforderte auch die Lösung des Belegschaftstransports. 1833 installierte Dorell in Clausthal zum ersten Mal eine Fahrkunst, die den körperlich anstrengenden und zeitlich anspruchsvollen Ab- und Aufstieg auf Leitern erübrigte: In Příbram betrug noch um 1865 die Fahrt in 1000 m Tiefe 54,2 Minuten. Die Fahrkunst verbreitete sich daher schnell.

Abb. 5: Pferdegöpel der Saline bei Prešov (Slowakei) vom Ende des 18. Jh.



Söhlige Förderung

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde der Transport zum Förderschacht noch von Hand mit Holztrögen, Schubkarren oder durch Holzschlitten und Schleppkisten durchgeführt; nur ausnahmsweise fanden sich in größeren Gruben — insbesondere im Ruhrgebiet — bereits gegen Ende des 18. Jahrhunderts in den Hauptförderstrecken Eisenschienen, auf denen hölzerne Förderwagen deutschen oder ungarischen Typs, eventuell englische Rollwagen, fuhren. Die ursprünglich hölzernen Schienen wurden seit den vierziger Jahren allgemein durch Eisengußgleise ersetzt. Schon um die Mitte des 19. Jahrhunderts überwog die Streckenförderung auf Schienen in allen wichtigsten mitteleuropäischen Revieren. Der Umfang des zu transportierenden Fördergutes stieg an und wurde seit den sechziger Jahren mit der Verwendung von Pferden beschleunigt.

Die ersten Anzeichen einer wirklichen Mechanisierung im Transportwesen zeigten sich in den siebziger Jahren, als Kettenbahnen eingeführt wurden, Förderwagen, die an einer endlosen Kette gezogen wurden. Dennoch überwog bis etwa 1880 die Handförderung aus den Streben, Pferde wurden lediglich in den Strecken und Kettenbahnen in ansteigenden Strecken verwendet.

Beim Transport über Tage setzten sich schon seit den sechziger Jahren Dampflokomotiven durch. Bis 1880 wurden im Grunde schon die wichtigsten Eisenbahnverbindungen geschaffen, in Deutschland auch die wichtigsten Kanäle, so daß damit das grundlegende Distributionsnetz für Rohstoffe und industrielle Erzeugnisse bereitgestellt war.

Bewetterung

Die Teufen der Kohlengruben erreichten in Deutschland und in Österreich bereits in den sechziger Jahren häufig die Grenze von 300 m, in den böhmischen Revieren wurde sie sogar überschritten; in den Erzrevieren wie zum Beispiel im Oberharz wurden Teufen bis etwa 600 m, im Erzgebirge über 400 m erzielt. Sie erzwangen eine Beschleunigung des Luftaustausches. In den traditionellen Erzrevieren wurden während der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zur Verstärkung der natürlichen Bewetterung die überlieferten kasten- oder zylinderartigen Kolbenmaschinen benutzt, am häufigsten mit Wasserantrieb, gelegentlich waren auch Balg- und Schneckengebläse im Einsatz, an anderen Stellen arbeiteten Wettertrommeln mit einem Durchmesser von rd. 2 m. In den staatlichen Gruben Österreichs wurde im Jahre 1854 dieser herkömmliche Antrieb sogar bei mehr als 75 Prozent aller Bewetterungsanlagen angewendet.

In den Kohlengruben begann man seit den dreißiger und vierziger Jahren, Wetteröfen mit offenem Feuer einzuführen, die durch Erwärmung des ausziehenden Wetterstromes eine verstärkte Zirkulation der Luft erzwangen. Man erzielte ungefähr 800 cbm/min. Am Anfang der dreißiger Jahre erscheinen bereits in den Steinkohlenzechen — zuerst im Ruhrgebiet, ein Jahrzehnt später in den böhmischen Revieren — die ersten Ventilatoren mit Dampftrieb, die den Ausgangspunkt für weitere Konstruktionen bildeten. Seit 1850 war eine Reihe von Ventilatoren mit großen Durchmessern von 9–12 m mit gekrümmten Schaufeln in Betrieb. Seit etwa 1870 wurden zur Bewetterung auch Kompressoren verwendet.

Wasserhaltung

Die Intensivierung der Tiefbauarbeiten setzte vor allem voraus, daß wirksame Pumpenanlagen zum Einsatz gelangten. Auch hier läßt sich beobachten, daß technische Innovationen gezielt und folgerichtig dann eingeführt wurden, wenn es aus ökonomischen Überlegungen heraus sinnvoll erschien und daß wiederum der Steinkohlenbergbau dem Erzbergbau gegenüber vorauseilte. In den Erzrevieren dienten bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts hinein die Erbstollen, die größtenteils aus vergangenen Betriebsperioden stammten, als wichtigste Anlage zur Entwässerung der Gruben. Es erscheint daher als einigermaßen erstaunlich, wenn nicht gar paradox, daß während des oft beschworenen „Siegeszuges der Dampfmaschine“ im Příbramer Revier 1859 noch der beinahe 22 km lange Josef-Erbstollen beendet wurde, in Clausthal 1851–1864 der 26 km lange Ernst-August-Stollen vorgetrieben und 1877 im Freiburger Revier nach 33 Jahren die Arbeiten am fast 51 km langen Rothschröner Stollen abgeschlossen wurden. Da in den traditionellen Erzrevieren weitgehend die überlieferten Wasserhaltungsvorkehrungen beibehalten, allenfalls verstärkt wurden, weil sie einen kostengünstigen Betrieb erlaubten, behaupteten sich bis weit in das 19. Jahrhundert hinein die Pumpenkünste mit Wasserantrieb. Das ist der Grund dafür, weshalb am Anfang der industriellen Revolution in einer Reihe der europäischen Erzreviere Wasserbauten angelegt wurden, namentlich auf der böhmischen und sächsischen Seite des Erzgebirges, im Harz, im Kaiserwald, in den Alpen und in den oberungarischen Revieren sowie in der Slowakei. Für das böhmische Revier wurde beispielsweise in Příbram mit dem Pilser

Teich, der eine Kapazität von mehr als 2 Millionen cbm aufwies, eigens ein neues Wasserreservoir angelegt (Abb. 4).

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts — an manchen Orten noch länger — wurden daher im Erzbergbau die traditionellen Kolbenpumpen verschiedener Bauart mit Wasserradantrieb (mit einem Durchmesser bis ungefähr 12,5 m) und bei einer Leistung bis etwa 300 cbm/Tag aus einer Tiefe von rd. 150 m verwendet. Daneben gelangten Wassersäulenmaschinen zum Einsatz, die seit ihrer ersten Anwendung im Jahre 1749 im Revier von Baňská Štiavnica (Schemnitz) vor allem seit 1800 eine Reihe von Konstruktionsänderungen erfuhren, namentlich durch Brendel, von Reichenbach, Schitko und Rittinger. Sie wurden für den Antrieb der Wasserhaltungseinrichtungen in verschiedenen deutschen Salzgruben und mitteleuropäischen Erzbergbaurevieren verwendet. Aufgrund ihres wirtschaftlichen Betriebes und ihrer Leistungskraft von 40–50 PS wurden sie verschiedentlich noch in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gebaut und auch für den Antrieb von Schachtförderungsanlagen eingesetzt wie beispielsweise in Příbram sogar noch zwischen 1861 und 1914.

In den jüngeren Steinkohlenzechen wurde das Problem der Wasserhaltung meist von Anfang an durch Dampfmaschinen gelöst, massenhaft seit etwa 1830. In den sechziger Jahren wurden besonders im Ruhrgebiet sowie in den böhmischen und ober-schlesischen Revieren Verbund-Dampfmaschinen mit mehr als 300 PS bei einer Pumpenleistung von ungefähr 4000–5000 cbm Wasser/Tag eingesetzt.

Abb. 6: Kettenbahn in einer Kohlengrube um 1885

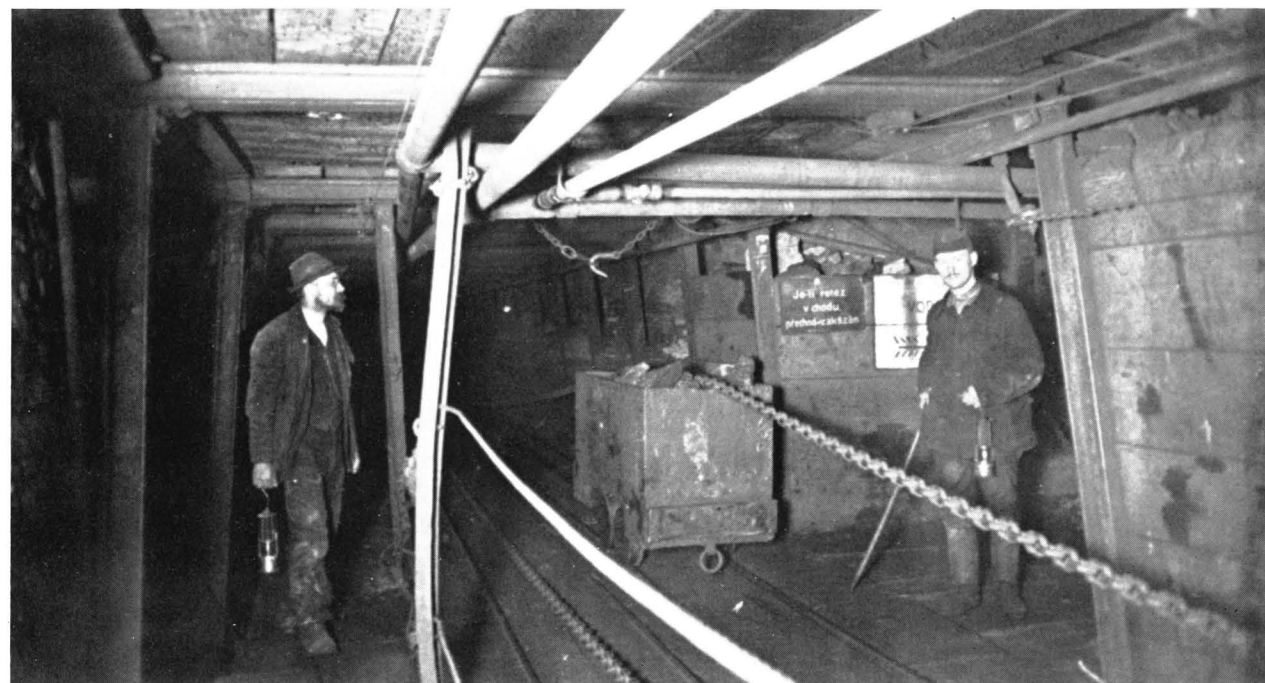
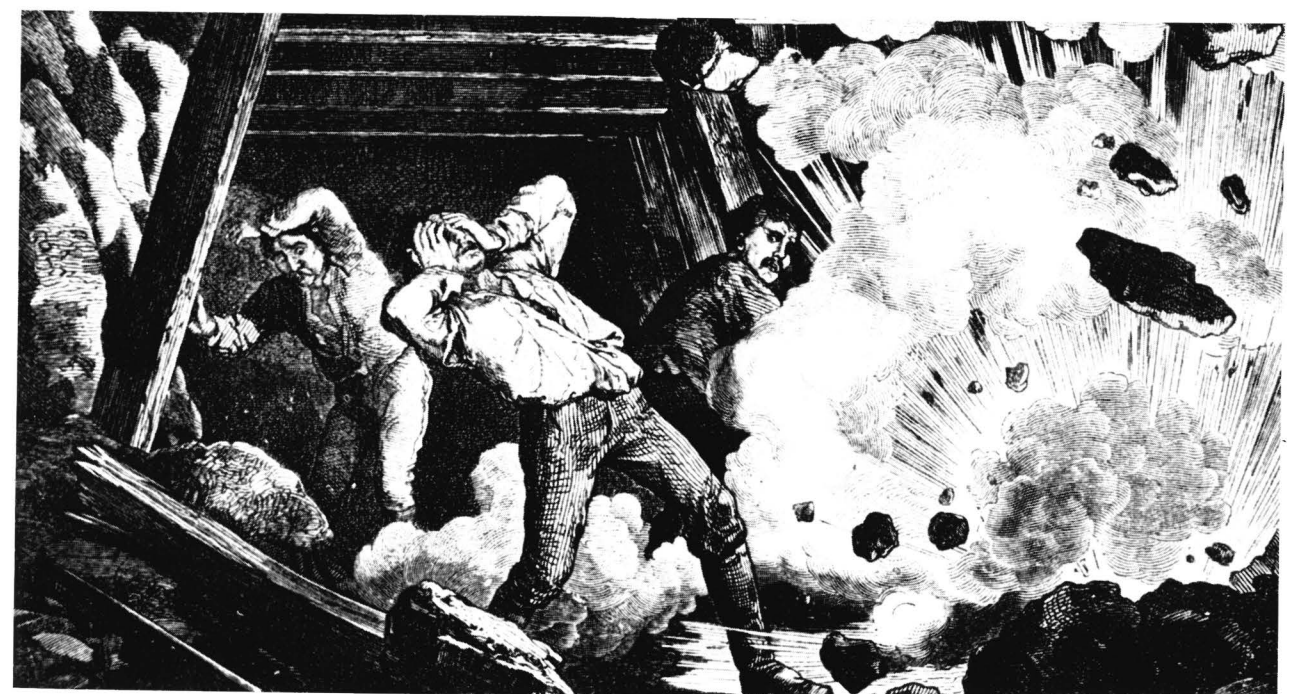


Abb. 7: Explosion in einer Grube um 1850



Markscheidewesen

Im Laufe des 19. Jahrhunderts machte auch das Markscheidewesen eine schnelle Entwicklung durch. Am Anfang der industriellen Revolution kamen bei der markscheiderischen Arbeit noch traditionelle Geräte, namentlich Grubenkompass, Neigungsmesser und Astrolabien oder die von Breithaupt verbesserten Bussolen, zur Anwendung. Als Winkelmeßgerät begann sich bald der Theodolit durchzusetzen, und zwar zuerst in der Konstruktion von Giuliani. Seit 1850 wurden weitere Meßgeräte eingeführt, vor allem das Deklinometer für das magnetische Aufschlußmessen und die Nivellierlatten. Hinzu kamen Meßgeräte mit Fernrohren und Beleuchtungsvorrichtungen, Theodolite mit einem exzentrischen Fernrohr, Fernrohre mit gebrochenem Okular und weitere Geräte, die genauere Messungen ermöglichten.

Geleucht

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden zur Beleuchtung der Erz- und Kohlengruben größtenteils traditionsmäßig Öllampen verschiedenen Typs mit offenem Licht — mit Rapsöl, gegebenenfalls mit Petroleum — benutzt. Mit der Intensität der Grubenarbeiten, insbesondere in den Kohlenbergwerken, steigerte sich jedoch die Gefahr von Schlagwetterexplosionen, die oft vom offenen Geleucht ausgelöst wurden. Die ständig ansteigende Serie derartiger Katastrophen führte zu zahlreichen Versuchen, schlagwettersichere Leuchten zu erfinden.

Mit der ersten Sicherheitslampe von H. Davy vom Jahre 1816 war der Anlaß zu einer steten Verbesserung der geschlossenen Grubenlampen gegeben. Definitiv begannen sie sich jedoch erst in den vierziger Jahren durchzusetzen. Seit den sechziger Jahren wurden bereits Akkumulatorenlampen erprobt. In den Erzgruben, in denen keine Gasgefahr bestand, wurden weiterhin Lampen mit offener Flamme, gelegentlich sogar Stearinkerzen benutzt.

Kommunikationsmittel

Die Vergrößerung der Grubenbetriebe, insbesondere der Schachteufen, ließ das Bedürfnis entstehen, ein Kommunikationssystem auszuarbeiten, das die Sicherheit und Koordination der Schachtförderung sicherstellte. Ursprünglich verständigte sich das Füllort mit der Tagesoberfläche durch Rufen oder Pfeifen, gegebenenfalls durch Klopfen auf die im Schacht eingebauten Rohrleitungen, die als Klangleiter dienten. Seit der Mitte des 19. Jahrhunderts jedoch wurden entsprechend der Signalgebung bei der Eisenbahn kleine Glocken mit mechanischer Steuerung als Schachtsignalanlagen eingeführt, mit denen man Signale von jeder Stelle in der Grube zur Fördermaschine geben konnte. Seit den siebziger Jahren wurden nicht sehr erfolgreiche Versuche unternommen, für das Signalisieren auch den Telegrafen einzusetzen, der sich freilich stärker als Kommunikationsmittel im Tagesbetrieb bewährte.

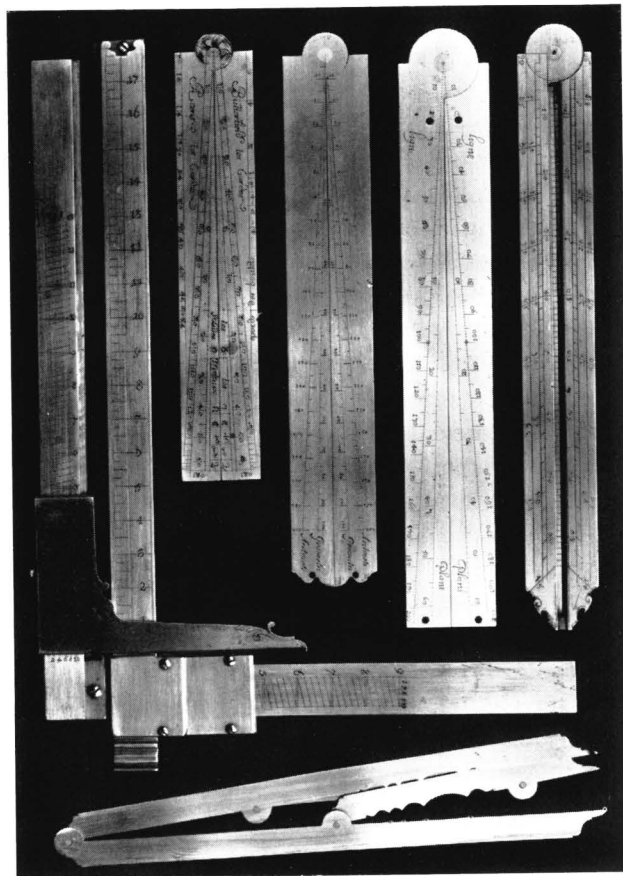


Abb. 8: Markscheiderinstrumente, 18.—19. Jh.

Aufbereitung

Während der industriellen Revolution traten auch grundsätzliche Veränderungen bei der Aufbereitung der geförderten Minerale ein. Noch in den ersten Jahrzehnten hatte sich eine Reihe technischer Anlagen aus den vergangenen Jahrhunderten erhalten: Das Roherz wurde nach einer Handscheidung (Klaubearbeit) erneut in Trocken- oder Naß-Pochwerken zerkleinert. Zur Klassierung des Erzes dienten aufgehängte Siebe und Waschtrommeln mit Wasserradantrieb. Das Erzkonzentrat gewann man in Setzmaschinen und in kontinuierlichen Stoßherden. In dieser einfachen Technologie, bei der die Metallverluste bis zu 30 Prozent betrugen, trat eine qualitative Änderung erst zwischen 1850 und 1870 ein; es war das Verdienst Peter Rittingers, vor allem durch die Einführung seiner Waschtrommeln und einiger neuer Herdkonstruktionen. Die traditionellen Pochwerke blieben bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts erhalten, aber stellenweise wurden sie schon seit den dreißiger Jahren von Walzenmühlen (zuerst in Bleiberg) und von Zerkleinerungsmaschinen weiterer Bauweisen (so im Harz) ersetzt.

Die Kohlenaufbereitung gestaltete sich anfangs recht einfach. Die Kohle wurde lediglich von Hand von Verunreinigungen befreit und je nach der Größe der Stücke

klassiert. Die erhöhte Nachfrage führte seit der Mitte des 19. Jahrhunderts zu einer qualitativen Verbesserung des primitiven Verfahrens, dessen grundlegende Arbeitsvorgänge aus dem Erzbergbau übernommen wurden. Erst später entwickelte sich die Kohlenaufbereitung zu einem Prozeß mit einer speziellen Technologie, wobei den wesentlichen Teil der Arbeit Maschinen, größtenteils bereits mit Dampftrieb versehen, übernahmen. Die Rohkohle wurde ähnlich wie Erze durch Klauben von größeren Bergestücken getrennt, je nach Bedarf zerkleinert (Koks), in Siebtrommeln klassiert und in Setzmaschinen von restlichen Bergeteilchen befreit.

Seit den sechziger Jahren besorgten den Kohlentransport zwischen den einzelnen Maschinen häufig Wasserschrauben oder Becherwerke. Das Wasser wurde nach dem Gebrauch zum Teil neu aufbereitet und die angefallenen Schlämme für die Brikettierung genutzt. Im Laufe der Zeit führten die ansteigenden Anforderungen an die Qualität der Kohle zur Einführung komplizierter Aufbereitungsanlagen, die allesamt von Dampfmaschinen angetrieben wurden.

Aus diesen knapp geschilderten Hauptzügen der Entwicklung der Bergbautechnik in der Praxis ist zu ersehen, daß der technische Prozeß im europäischen Bergbau beachtliche Veränderungen aufzuweisen begann. In dieser Zeit wurden die vorhergehende Periode der Manufakturtechnik definitiv abgeschlossen und in einigen Arbeitsbereichen der Einsatz qualitativ neuer Maschinentypen bereits eingeleitet. Im Grunde verlief dieser Prozeß im Einklang mit den allgemeinen Gesetzen der Ökonomie im Zeitalter der Industrialisierung, daher standen die höheren Anforderungen an die Bergbauproduktion und die Entfaltung der technischen Mittel in proportionaler, obwohl nicht ganz gleichgewichtiger Abhängigkeit, da diese Gesetzmäßigkeit u. a. auch von den Naturbedingungen beeinflußt wurde. So war es beispielsweise in einer Reihe von Kohlenrevieren mit flach gelagerten Flözen möglich, eine gewisse Zeitlang hohe Produktionsziffern bei Anwendung einfacher technischer Anlagen zu erzielen, in Revieren mit steilen Flözen in großen Teufen mußte man dagegen tiefe Schächte anlegen und bald Dampfmaschinen für die Förderung, Wasserhaltung und Bewetterung einsetzen. Trotzdem blieb in diesem Zeitraum immer noch ausschließlich die menschliche Kraft der entscheidende Faktor, denn der Anstieg der Produktion wurde vor allem durch das Wachstum der Belegschaften erzielt.

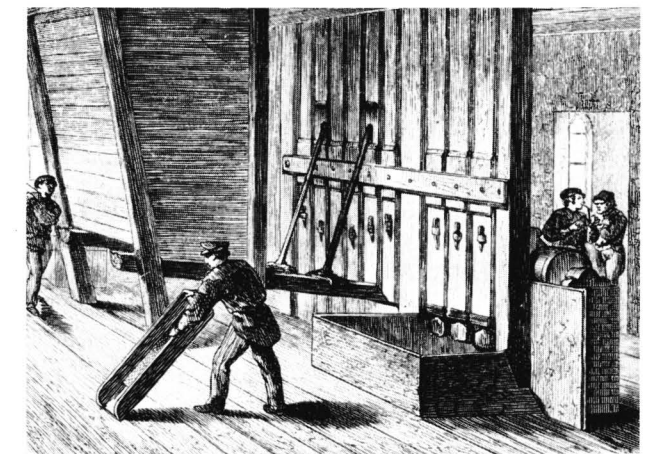
In der weiteren Entwicklungsetappe treten in der montantechnischen Entwicklung bereits weit ausdrucksvollere Charakterzüge hervor. Zuerst wurde zwar die Weltwirtschaft von der Krise des Jahres 1873 und ihren Folgen erschüttert, aber von den achtziger Jahren an datiert auch im Bergbau die Epoche einer andauernden Konjunktur. Dazu hat eine Reihe von Umständen beigetragen: neben einer neuen Entfaltung der Industrialisierung

vor allem die Fertigstellung der Land- und Wasserwege, wobei die Verstaatlichung der Eisenbahnen eine nicht unwesentliche Rolle spielte. Dies ermöglichte, die Transporttarife einheitlich zu bestimmen, vor allem in Deutschland, wo noch im Jahre 1875 mehr als 1500 Tarife in Geltung standen. Gleichzeitig wurde in den „Gründerjahren“ die Konzentration insbesondere des deutschen und österreichischen Montankapitals beschleunigt. Dazu trugen des weiteren gesetzliche Maßnahmen wie der Erlaß des Allgemeinen Gesamtösterreichischen Berggesetzes vom Jahre 1854, des Allgemeinen Preussischen Berggesetzes vom Jahre 1865 und des deutschen Aktiengesetzes von 1870 bei.

In den entstehenden Großbetrieben war die Amortisierungszeit der Maschinenanlagen wesentlich kürzer. Der Mechanisierungsprozeß im Bergbau wurde zudem entscheidend von der schnellen Entfaltung der Maschinenbauindustrie beeinflußt, in der sich bereits seit den achtziger Jahren Bestrebungen äußerten, sich auf die Erzeugung von Bergbaumaschinen, namentlich Dampffördermaschinen, Pumpen und Ventilatoren, zu spezialisieren. Wichtig war ferner die Einführung neuer Verhüttungsverfahren (Thomas-, Siemens-Martin- und Bessemerv Verfahren), wodurch die Interdependenzen zwischen dem Bergbau und der Stahlindustrie grundlegend gefestigt wurden.

Es gab noch eine Reihe weiterer Ursachen, die auf die technische Ausrüstung der Gruben einwirkten, u. a. wirkten am Anfang des 20. Jahrhunderts als mächtiger Impuls die Verkürzung der Arbeitszeit auf 9 Stunden und die Erhöhung der Löhne, die in einer Reihe von Revieren einen beschleunigten Übergang zur Mechanisierung erzwangen. Ohne hier auf weitere wirtschaftliche und die sozialen Bedingungen und Entwicklungen eingehen zu können, sollen im folgenden erneut die wichtigsten technischen Veränderungen im Mittelpunkt stehen, die sich in den mitteleuropäischen Grubenrevieren zwischen 1880 und 1914 ergeben haben.

Abb. 9: Pochwerk um 1850



II: Die Etappe 1880—1914

Erkundung und Aufschluß der Lagerstätten

Der Bedarf an mineralischen Rohstoffen — besonders auch an Buntmetallen — führte zwangsläufig zu einer Intensivierung der Aufschlußarbeiten. Seit 1880 gelangten ganz allgemein alle bisher bekannten Tiefbohrsysteme mit einer Reihe von Konstruktionsverbesserungen zum Einsatz. Als Antriebsmittel dienten Lokomobile mit einer für Bohrzwecke angepaßten Transmission, um einen schnellen Rücklauf und die Verkürzung der Bohrzeit zu erzielen. Bei den Schnellschlagbohr-Systemen setzte sich ab etwa 1875 Faucks Bohrkran durch, insbesondere aber die Schnellschlagbohranlage mit Schwinghebel, die 1895/96 von Raky eingeführt wurde. Sie bedeutete eine Steigerung der Bohrleistung um beinahe 100 Prozent. Das System Rakys war bis in die zwanziger Jahre des 20. Jahrhunderts die wichtigste Vorrichtung beim Aufschluß der Erdölfelder. Von den übrigen Systemen bewährte sich um 1900 zum Beispiel das hydraulische Meißelbohren von Wolski. Bei der Erkundung von Lagerstätten in geringen Teufen und für den Aufschluß im allgemeinen hat sich die leichte Anlage für Bohrungen mit Bohrkronen verschiedener Art mit pneumatischem oder elektrischem Antrieb bewährt.

Am Beginn des Ersten Weltkrieges tauchte eine neue Konzeption zur Bestimmung der Mineralrohstoffe auf. In den Jahren 1914/15 wurde die sog. Schmidtsche Waage erprobt, die auf dem Prinzip der magnetischen Eigenschaften bestimmter Erze basierte. Sie bildete eine Ausgangsposition der modernen geophysikalischen Methoden.

Immer häufiger ging man zu einem indirekten Aufschluß über, d. h. die Schächte, Hauptförderstrecken und Stollen wurden außerhalb der Lagerstätte angelegt. Der wachsende Absatz der Kohle erforderte einen Aufschluß von Flözen auch unter ungünstigen geologischen Bedingungen, also auch unter fließsand- oder in stark wasserführendem Gebirge, besonders im nordböhmisches Becken. Dabei wurden seit den achtziger Jahren zum Abteufen von Schächten verschiedene Varianten des Gefrierverfahrens angewandt, bald auch das Zementierverfahren; seit etwa 1890 bewährte sich verschiedentlich das Bohrverfahren nach Honigmann unter Anwendung von Flüssigkeiten, die schwerer sind als der hydrostatische Druck des Wassers und auf die Bohrlochwand wirken.

Im Braunkohlentagebau wurde der Aufschluß überwiegend noch mit manuellen Abraumarbeiten durchgeführt, seit etwa 1890 gelangten verschiedene Bauarten von Dampfbaggern zuerst englischer, später deutscher Herkunft mit einer Tagesleistung von rund 5000 cbm zum Einsatz.

In den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts war der Bau von Doppelschächten für die Bewetterung und Förderung geläufig. In den Kohlenrevieren verbreitete sich das Abteufen von Rundschächten mit einem Durchmesser von 4—5 m, in den Erzgruben blieb man größtenteils bei Rechteckprofilen, die ungefähr 2 × 5 m maßen. Bis zum Ersten Weltkrieg wurden bereits bedeutende Teufen erzielt, in den Steinkohlenzechen im Ruhrgebiet teilweise mehr als 700 m. Im Erzbergbau befanden sich die tiefsten Gruben im Příbramer Revier, wo sich die Teufe beinahe 1300 m näherte.

Gewinnung

Die Gewinnungsverfahren wurden in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts und am Anfang des 20. Jahrhunderts zum maximalen Abbau der Lagerstätten modifiziert. Im Erzbergbau blieb bis zum Ersten Weltkrieg als hauptsächliches Verfahren der abgewandelte Firstenbau im Zusammenhang mit dem maschinellen Bohren. Nur vereinzelt erhielten sich andere Methoden, wie zum Beispiel der Örtterbau (in Lothringen), der Pfeilerbau (in einigen deutschen Revieren) oder der Querbau (in Böhmen nur in zwei Fällen).

Eine weniger konservative Entwicklung der Abbaufverfahren fand im Kohlenbergbau statt. Am Anfang wurde noch der Pfeilerbau mit einigen Varianten je nach den örtlichen Bedingungen verwendet. Für mächtige Flöze galt der Kammerbau, der in den mitteleuropäischen Kohlenbecken zum ersten Mal bereits in den siebziger Jahren eingeführt wurde, wiederum mit einer Reihe von Modifikationen. Die Verluste an Kohle betrugen auch bei diesem Verfahren 30—40 Prozent, und daher wurde es bereits am Ende des 19. Jahrhunderts in einer Reihe der böhmischen und deutschen Reviere durch den ökonomischen Strebbau ersetzt, der bereits in den sechziger Jahren bekannt war. Dieses Verfahren wurde bei weniger mächtigen Flözen angewandt und bewährte sich insbesondere im Ostrava-Karvináer Revier, wo der kombinierte Pfeiler-/Kammerbau in Anwendung stand.

Der Braunkohlentagebau war bis zum Ersten Weltkrieg von geringer Bedeutung, in den böhmischen Ländern beispielsweise erbrachte er nur 18 Prozent der gesamten Kohlenförderung. Der Abbau erfolgte nach dem Abräumen der Überdeckung.

Die größte Umwälzung in der Gewinnung fand zwischen 1884 und 1914 statt. Seit dem Ende der siebziger Jahre wurden immer mehr Bohrmaschinen eingesetzt, zuerst noch mit Handantrieb, bald erschienen jedoch Bohrmaschinen mit Wasserantrieb mit einem Druck von 60—80 atü. Etwa 1880 begann man, leistungsfähigere Preßluft-Schlagbohrmaschinen verschiedener Art zu benutzen, zunächst belgische, französische und englische, später deutsche. In den neunziger Jahren wurde das Handbohren durch Schlagbohrmaschinen, deren Entwicklung sich an Bohrmaschinen mit stoßender Bohrweise an-



Abb. 10: Dampfbagger im Tagebau zu Beginn des 20. Jh.

lehnte, wegen der großen Leistungsüberlegenheit gänzlich verdrängt. Seit etwa 1880 erschienen die ersten elektrischen Drehbohrmaschinen, anfangs mit Gleichstromantrieb (das erste Patent wurde Siemens im Jahre 1879 erteilt), kurz darauf mit Wechselstromantrieb (Siemens & Halske und Siemens & Schuckert).

Das Problem einer leichten Schlagbohranlage konnte durch die Konstruktion des sog. Flottmann-Bohrhammers aus dem Jahre 1905 gelöst werden. Als Vorbild diente hier der 1880 von Franke zur Schrämarbeit eingeführte Bohrhämmer. Mit dieser pneumatisch angetriebenen Schlagbohrmaschine wurde gegenüber dem Handbohren eine dreifache Leistung erzielt. Bald kam es zur Entwicklung weiterer Typen, die späteren arbeiteten mit Spülung. 5—10 kg schwere Schrämhammer mit pneumatischem Antrieb wurden von den ersten Jahren unseres Jahrhunderts an zum Schrämen und auch Nachreißen der Kohle benutzt. Ihre ersten Typen waren deutschen Ursprungs, etwa Erzeugnisse der Firmen Flottmann, Korfmann und Westfalia. Mit der Einführung dieser Abbauhämmer stieg die Produktivität schnell an.

Eine wirkliche Revolution in der Kohlegewinnung bedeutete jedoch erst die Einführung der schweren pneumatischen Schrämmaschinen, die am Anfang des 20. Jahrhunderts bereits mit elektrischem Antrieb versehen waren. Während die ersten dieser Maschinen in England schon in der Mitte des 19. Jahrhunderts eingesetzt wurden, erschienen sie in den Revieren auf dem Kontinent zwischen 1860 und 1885 eher versuchsweise, massenweiser Einsatz erfolgte erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts.

Anfangs gelangten die sog. Stangenschrämmaschinen zum Einsatz, die mit einer rotierenden Stange den Einschnitt in das Flöz vornahmen, oder Radschrämmaschi-

nen, bei denen diese Arbeit von einer Stahlscheibe geleistet wurde. Am besten bewährten sich Kettenschrämmaschinen mit einem um 180° drehbaren Arm (namentlich vom amerikanischen Typ Jeffrey, Sullivan und Goodman) mit pneumatischem oder elektrischem Antrieb. In den deutschen Revieren bewährten sich im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts Erzeugnisse von Eickhoff und Demag, die sich im Laufe des Ersten Weltkrieges auch in Österreich und Böhmen durchsetzten.

Spreng- und Schießarbeit

In den ausgehenden sechziger Jahren des 19. Jahrhunderts — und damit am Ende der zuerst dargestellten Periode — erschien das Dynamit als sehr wirkungsvoller Sprengstoff. Sein hoher Preis stand eine gewisse Zeitlang der allgemeinen Einführung in den Gruben im Wege, und erst in den achtziger Jahren gewann es ein Übergewicht gegenüber dem Schwarzpulver. Die Wirksamkeit und Sicherheit erhöhte sich durch die Einführung von Sicherheitssprengstoffen, die insbesondere für Gruben mit schlagenden Wetter bestimmt waren, namentlich Dynamon, Janit, Flexit, um die Jahrhundertwende traten beispielsweise Progressit und Panonit hinzu. Beim Abschluß waren bis zum Ende des 19. Jahrhunderts verschiedene Arten von Zündschnüren und Kapseln geläufig, aber seit etwa 1900 setzten sich bereits reibungselektrische, bald dynamoelektrische Zündvorrichtungen durch.

Grubenausbau

Im Zusammenhang mit den neuen Gewinnungsverfahren im Tiefbau änderten sich die Methoden der Sicherung der Grubenbaue. In den Erzgruben blieb bis zum Ersten Weltkrieg Holz als hauptsächliches Material bestehen. In den Kohlengruben wurden jedoch in der Regel die Schächte, Füllörter, Hauptquerschläge und wichtigsten Strecken mit festerem Material ausgebaut, seit den siebziger Jahren in einer Reihe von Revieren mit Ziegelmauerwerk, später auch mit Beton. Von den achtziger Jahren an wurde insbesondere im Ruhrgebiet und in einigen böhmischen Revieren der Metallausbau eingeführt; in verschiedenen Bauarten, die ursprünglich aus Schmiedeeisen oder Gußeisen bestanden, gegen Ende des 19. Jahrhunderts bereits aus Stahl.

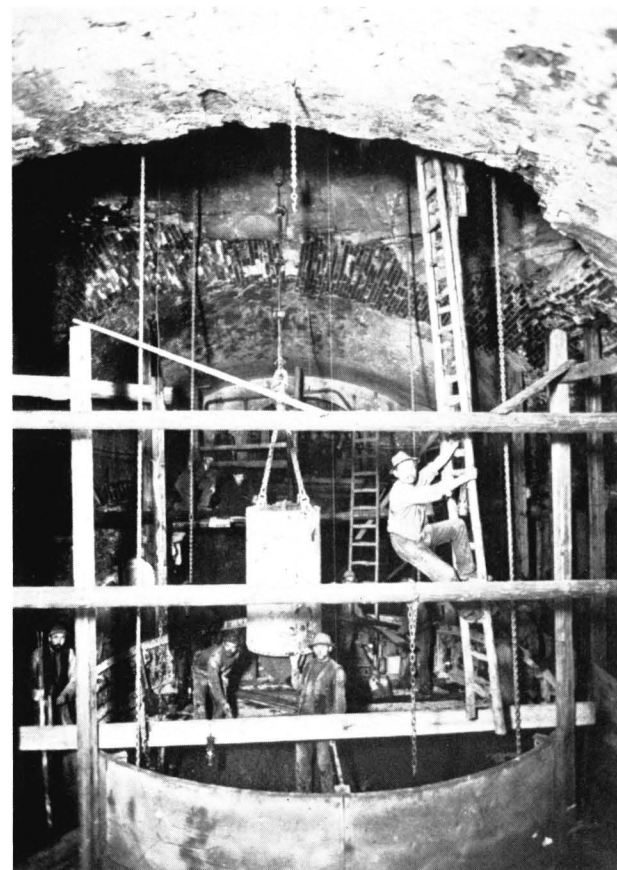
Energie

Der Übergang zur Großproduktion durch fortlaufende Mechanisierung der grundlegenden Arbeitsvorgänge erhöhte die Anforderungen an die Antriebsenergie. Für die Fördermaschinen und Pumpen wurden bereits am Ende des 19. Jahrhunderts starke Verbund-Dampfmaschinen mit Leistungen von 1000—1500 PS gebaut. Um

die Jahrhundertwende gelangten stellenweise Hochdruck-Dampfturbinen zur Einführung. Im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts wurde die Preßluftenergie im großen Stil angewandt, alle Arbeitsmaschinen und Hilfsanlagen unter Tage wie etwa Förderhaspel, Bohrmaschinen, Pumpen, Ventilatoren und Förderbänder wurden auf pneumatischen Antrieb umgestellt. Zu diesem Zweck waren schon um 1870 Kompressoren verschiedener Dimensionen gebaut worden, die anfangs nur Leistungen von etwa 500 cbm/h bei einem Druck von 5 atü erzielten; aber bereits in den neunziger Jahren gab es Kompressoren für 1500 und mehr cbm/h. Ein wesentlicher Fortschritt ließ sich durch die Einführung von Riedlers Ventilen in sog. vereinten Kompressoren erzielen, die durch stufenweise Verdichtung einen Luftdruck bis 25 atü erzeugten.

Die Kompressoren wurden von Dampfmaschinen angetrieben, seit 1900 begann man, von Dampfturbinen oder Elektromotoren angetriebene Turbokompressoren zu verwenden; die Leistungen lagen bei ca. 8000 cbm/h. Elektromotoren tauchten bei Förder- und Wasserhaltungsmaschinen bereits seit den neunziger Jahren auf, anfangs mit Gleichstrom, danach mit Wechselstrom. Massenweise gelangten sie jedoch erst im 20. Jahrhundert zur Einführung.

Abb. 11: Abteufen eines Schachtes zu Beginn des 20. Jh.



Schachtförderung

In den Jahren 1870—1914 erhöhte sich die Zugkraft der Dampffördermaschinen von 4 auf 6 t, und die Geschwindigkeit des Transports stieg von 5,25 m/sek bis auf 14,6 m/sek. Seit den neunziger Jahren wurden für den Antrieb der Förderanlagen Elektromotoren verwendet (die ersten in Deutschland 1894); allgemein kamen sie erst von 1900 an zum Einsatz. Am besten bewährten sich Fördermaschinen mit dem Ilgner-Umformer, mit pneumatischen Bremsen auf Fördertrommeln und Elektromotoren deutscher oder böhmischer Produktion (Siemens & Halske, Škoda). In der nordböhmischen Braunkohlengrube Tegetthoff beispielsweise wies die elektrische Fördermaschine im Jahre 1900 schon eine Leistung von 1200 PS auf, 1914 waren bereits Fördermaschinen mit einer Leistung von 2000 PS gebräuchlich. Die elektrischen Motoren verbreiteten sich schnell in allen wichtigen Kohlenrevieren, das Ostrava-Karvinäer Revier wies 1918 schon 15 elektrische und 41 Dampfmaschinen auf, im Ruhrgebiet war das Verhältnis noch günstiger.

Die erhöhten Leistungen der Fördermaschinen erforderten eine weitere qualifizierte Verbesserung der Förderseile. Seit den achtziger Jahren setzte man in einigen mitteleuropäischen Revieren verjüngte Seile aus Stahlguß ein; im Příbramer staatlichen Drahtwerk erreichten am

Abb. 12: Bobine vom Ende des 19. Jh.

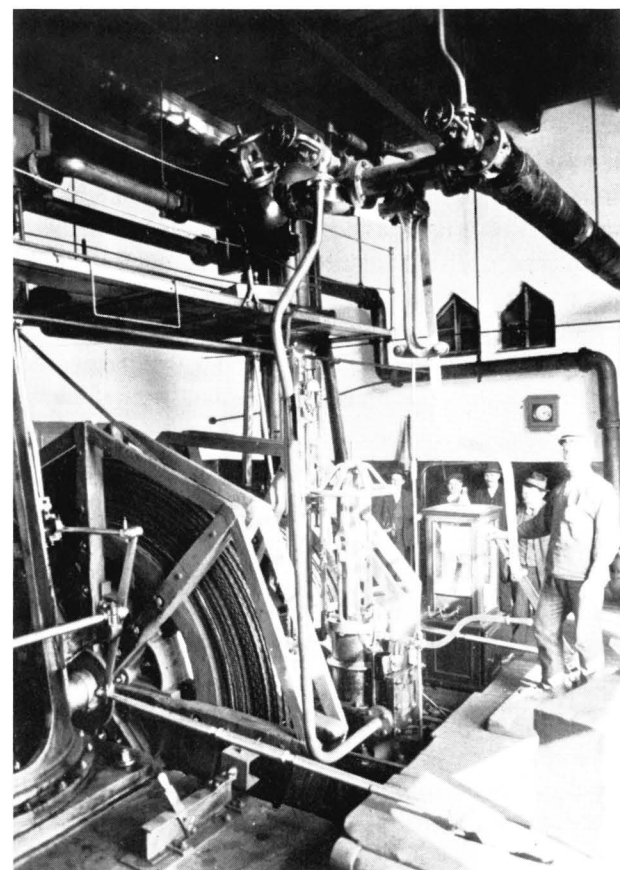


Abb. 13: Füllort zu Beginn des 20. Jh.

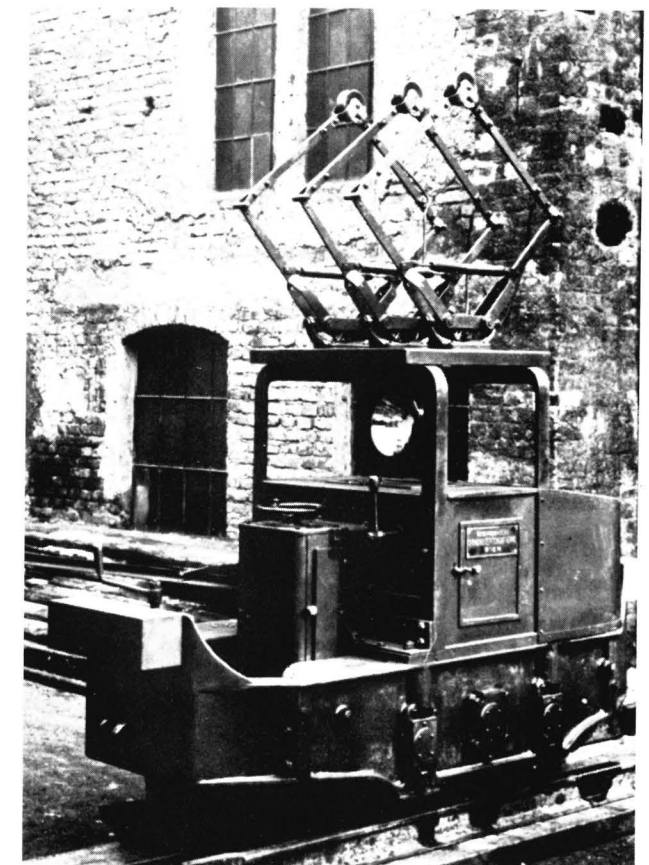
Anfang des 20. Jahrhunderts die aus 84 Drähten hergestellten Kreuzschlagseile eine Tragfähigkeit von 200 kg/qcm.

Die allgemeine Verwendung von drei Fördergestellen mit mehr als einem Tragboden erhöhte die Förderkapazitäten. Die Fahrkünste kamen in den neunziger Jahren außer Betrieb, nachdem der Belegschaft erlaubt worden war, die Förderkörbe — freilich mit herabgesetzter Geschwindigkeit — zur Seilfahrt zu benutzen. Auch das Aussehen der Schachtgerüste änderte sich: Die ursprünglich hölzernen, später gemauerten Fördertürme wurden von Stahlgerüsten abgelöst.

Söhlige Förderung

Die Kapazitätssteigerung bei der Schachtförderung war eine Folge der kontinuierlichen Mechanisierung der Streckenförderung. Neben dem Einsatz von Menschen und Pferden, der sich stellenweise bis ins 20. Jahrhundert hinein erhalten hatte, bewährten sich vorübergehend zum Transport von Förderwagen die bereits in der ersten Periode erwähnten Kettenbahnen, die allerdings in den achtziger Jahren aus ökonomischen Gründen durch pneumatisch und später elektrisch angetriebene Seile abgelöst wurden.

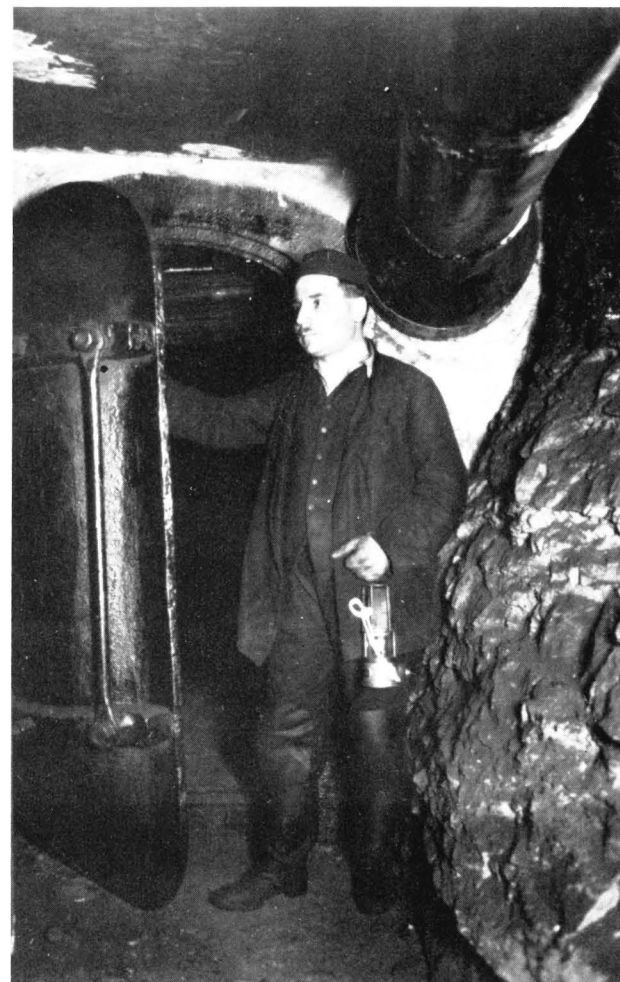
Abb. 14: Elektrische Grubenlokomotive um 1900



Eine wesentliche Steigerung der Förderleistung bedeuteten seit dem Anfang der achtziger Jahre die Grubenlokomotiven, zuerst mit Preßluft angetrieben, kurz danach mit überhitztem Wasser, Natron, Alkohol und vor allem Benzin. Allgemein verbreiteten sich seit etwa 1880 Akkumulatorenlokomotiven und Fahrdrat-Lokomotiven, zuerst in Deutschland (1882). In der Zwischensohlenförderung wurden seit den sechziger und insbesondere siebziger Jahren Dampfhaspel mit einer Leistung von rd. 5 PS verwendet, die später auf pneumatischen und seit 1890 auf elektrischen Antrieb umgebaut wurden.

Verhältnismäßig spät wurde die Förderung im Abbau mechanisiert. Die ersten Fördermittel, wie Schüttelrutschen und Mitnehmerrutschen, kamen seit der Jahrhundertwende auf. Bald danach erschienen Stahl- und Gummibänder mit pneumatischem oder elektrischem Antrieb. Erst kurz vor dem Ersten Weltkrieg wurden die wichtigsten Typen dieser Transportmittel entwickelt, die es ermöglichten, auch niedrigere Flöze abzubauen und den Transport aus dem Abbau zu beschleunigen. Ihre allgemeine Verbreitung erfolgte nach 1918.

Abb. 15: Eiserne Wettertür um 1910



Bewetterung

Die bedrohlichen Zahlen der Grubenkatastrophen, die größtenteils durch Schlagwetter verursacht worden waren, erforderten eine ganze Reihe von Maßnahmen zur Verbesserung der Bewetterung. Die vor allem seit den achtziger Jahren verstärkten Forschungsarbeiten klärten die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten der Luftströmung in den Gruben. Sie äußerten sich in der Einführung neuer Bewetterungssysteme, vor allem etwa durch den Bau von Wetterdämmen und Wettertüren. Dadurch wurde die Gefahr der Selbstentzündung der Kohle oder einer übermäßigen Anhäufung des Methans herabgesetzt. Nach den von den achtziger Jahren an strenger gehandhabten Sicherheitsvorkehrungen mußte die Menge frischer Luft für einen Hauer in Deutschland und in Österreich-Ungarn mindestens 3 cbm/min betragen bei einer Wettergeschwindigkeit von maximal 6 m/sek. Es wurden bereits zu dieser Zeit neben Hauptschächten 2 bis 3 Wetterschächte abgeteuft, die mit leistungsfähigen Ventilatoren verschiedener Bauart versehen waren, zuerst mit Dampfantrieb, seit 1880 überwiegend mit elektrischem Antrieb. Anlagen mit Leistungen von ungefähr 4000 cbm/min befanden sich vor dem Ersten Weltkrieg in den meisten europäischen Gruben. Je nach Bedarf wurde der Luftaustausch gelegentlich durch Kompressoren verstärkt. Für die einzelnen Grubenbetriebe wurden schon seit den achtziger Jahren sog. Wetterrisse ausgearbeitet.

Wasserhaltung

Neue Lösungen erforderte auch die Pumpentechnik. In den siebziger Jahren trieb eine noch an der Oberfläche angebrachte Dampfmaschine mittels eines Gestänges die in bestimmten Abständen im Schacht übereinander angebrachten Pumpen an. Dadurch ließ sich das Wasser stufenweise zur Erdoberfläche bzw. zum Entwässerungstollen fördern.

Um 1880 setzten sich bereits kleinere, in den Gruben untergebrachte und mit Dampf von der Oberfläche oder mit Preßluft angetriebene Pumpen durch. Die zu diesem Zweck verwendeten Dampfmaschinen erreichten in den neunziger Jahren eine Leistung von 2000 PS. In dieser Zeit begann man, in den Kohlengruben elektrische Kolbenpumpen einzuführen.

Eine grundsätzliche Umwälzung brachte erst seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts die Anwendung von Kreiselpumpen mit Dampfturbinen- oder Elektromotorenantrieb, die mit rd. 100 PS aus einer Teufe von 500 m eine Pumpleistung von 5 cbm/min erbrachten. Pumpen dieses Typs setzten sich daher schon vor dem Ersten Weltkrieg in allen europäischen Kohlen- und Erzrevieren durch.

Markscheidewesen

Auch die markscheiderischen Methoden änderten sich im Laufe der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wesentlich, ihre Ergebnisse wurden dank neuer Geräte genauer. Neben den Hängekompassen und Bussolentheodoliten entstand eine Reihe weiterer Hilfsmittel, insbesondere für genaue Nivellierungs-, Anschluß- und Polygonmessungen. Die Längenmessungen wurden seit den achtziger Jahren mit Stahlmeßbändern und Latten mit Invarband durchgeführt. Am Anfang des 20. Jahrhunderts standen bereits Geräte für sehr genaue Grubenmessungen zur Verfügung. An der Spitze der Entwicklung im weltweiten Maßstab standen Apparate deutscher und böhmischer Produktion.

Geleucht

Grubenkatastrophen führten zur Erprobung immer neuer Typen von Sicherheitslampen. Seit den achtziger Jahren wurden Wolfsche Benzinsicherheitslampen eingeführt, in schlagwetterfreien Erzgruben verwendete man seit etwa 1895 Azetylenlampen mit offener Flamme. Elektrisches Geleucht gelangte erstmals in Frankreich im Jahre 1881 zum Einsatz. Akkumulatorenlampen waren deutschen (Friemann & Wolf) oder englischen (Bristol) Ursprungs. In den achtziger Jahren erfolgte die Ausstattung der wichtigsten Gruben mit elektrischen Leuchten.

Kommunikationsmittel

Auch die Kommunikationsmittel verbesserten sich seit etwa 1895, indem man Schwachstromanlagen benutzte. Besonders wichtig war die Einführung von Fernsprechanlagen (vor allem vom Typ Siemens & Halske) um das Jahr 1900. Seit 1890 waren bereits akustische Signalanlagen zwischen dem Füllort und dem Fördermaschinisten eingeführt worden.

Aufbereitung

Der hohe Verbrauch an Buntmetallen und der Mangel an Edelmetallen in Mitteleuropa in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts führten dazu, daß auch Lagerstätten von geringerer Qualität abgebaut wurden. Die Entwicklung der Erzaufbereitung stellte sich daher darauf ein, die Metallverluste herabzusetzen und eine höhere Ausbeute aus den Erzen zu erzielen. Von 1880 bis 1900 liefen im Erzbergbau die traditionellen Pochwerke mit Wasser- oder Dampfantrieb aus, seit dem Beginn der achtziger Jahre kamen Backenbrecher zur Anwendung, die zwei Jahrzehnte zuvor versuchsweise eingeführt worden waren.

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts überwogen dennoch traditionelle Verfahren der mechanischen Aufbereitung

mit der Anwendung von Kugelmøhlen, Siebtrommeln oder Vibrationssieben. Im letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts kamen neben den Setzmaschinen die ersten Magnetscheider mit festen oder beweglichen Magneten zum Einsatz, und zwar sowohl für die Trocken- als auch die Naßaufbereitung. Sie ermöglichten es, größere Mengen namentlich der Eisenerze aufzubereiten. Theoretisch war bereits am Ende des 19. Jahrhunderts der Flotationsprozeß zur Aufbereitung von Buntmetallen, also die Schwerflüssigkeitsaufbereitung, vorbereitet. Seine praktische Anwendung fällt jedoch erst in die Zeit nach dem Ersten Weltkrieg.

Produktiver ließ sich in der gleichen Zeit die Aufbereitung der Steinkohlen gestalten, da die Klassierungs- und Sortierungsprozesse analog der Aufbereitung der Erze verliefen. Als Grundverfahren blieben die Zerkleinerung und Klassierung der Kohle auf Sieben oder in Siebtrommeln und die Beseitigung der Verunreinigung mittels Waschen bestehen. Seit den achtziger Jahren gelangten auch hier verschiedene Aufbereitungssysteme mit unterschiedlicher Leistung zur Erprobung. Der Antrieb der Aufbereitungsanlagen erfolgte auf dem gleichen Weg wie bei den anderen Arbeitsbereichen: Seit etwa 1870 bewährten sich im allgemeinen Dampfmaschinen, seit den achtziger Jahren wurde stellenweise Druckluft- und seit den neunziger Jahren wurden Elektromotoren eingeführt.

Zusammenfassung

Die quantitative Umwälzung der Bergbautechnik in den mitteleuropäischen Revieren und ihre Dynamik können vielleicht am besten durch eine einfache Gegenüberstellung zumindest einiger ausgewählter Daten verdeutlicht werden. Die Leistung der Wasserräder betrug ungefähr 10 PS, die der Wassersäulenmaschinen rd. 50 PS, die Kraft der Dampfmaschinen hingegen 1500—1800 PS und die der Elektromotoren bis zu 2000 PS. Während die Fördergeschwindigkeit eines Göpels lediglich 0,3 m/sek betrug, erzielten die mit Dampf betriebenen oder die elektrischen Fördermaschinen bis zu 16 m/sek. Bei der Streckenförderung war die Leistungssteigerung nicht minder beachtlich: Ein Schlepper erreichte rd. 0,6 m/sek, ein Pferd 0,8 m/sek; diese Leistungen wurden zuerst von den Ketten- und Seilbahnen mit rd. 1,5 m/sek verdoppelt, die Grubenlokomotiven wiesen bereits 3,5—4 m/sek auf.

Stürmisch steigerte sich auch die Leistung der Pumpen bei der Wasserhaltung. Die traditionellen Kolbenpumpen mit Wasserradantrieb hoben nur etwa 15, die Wassersäulenmaschinen 40—60, die Dampfmaschinen um 1850 ungefähr 100 und die elektrischen Pumpenanlagen in den ersten Jahren unseres Jahrhunderts schon 300 cbm/h. Wesentlich stieg auch die Leistung bei der Bewetterung. Am Anfang des 19. Jahrhunderts betrug

sie bei den Wettermaschinen mit Wasserantrieb etwa 500, in den sechziger Jahren stieg sie bei der Verwendung von Dampfventilatoren auf 3000, und die elektrischen Ventilatoren erreichten vor dem Ersten Weltkrieg etwa 5000 cbm/min.

Die Entwicklung des Bergbaus ist unteilbarer Bestandteil der umfangreichen technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Umwälzung im 19. Jahrhundert, die zusammenfassend als industrielle Revolution bezeichnet werden kann. Der Bergbau nahm in diesem Prozeß eine Schlüsselposition ein. Gerade deshalb ist es notwendig, die Beziehungen zwischen dem Bergbau und den anderen Produktionszweigen zu untersuchen, um die allgemeinen und spezifischen Charakterzüge seiner technologischen Entwicklung definieren zu können. So erfordern zweifellos auch die ökonomischen Beziehungen innerhalb der Bergbauproduktion und die Bindungen dieses Wirtschaftszweiges an die Weltökonomie bzw. deren Rückwirkung auf die technische Ausstattung der Grubenbetriebe ein detaillierteres Studium. Erst dann wird es möglich sein, für diese Thematik eine abschließende Synthese auszuarbeiten.

BENUTZTE LITERATUR

Abel, Wilhelm: Der Pauperismus in Deutschland am Vorabend der industriellen Revolution, Dortmund 1966.

Adelmann, Gerhard: Die soziale Betriebsverfassung des Ruhrbergbaues vom Anfang des 19. Jahrhunderts bis zum 1. Weltkrieg, Bonn 1962.

Althans, Ernst: Über die Anwendung der Wassersäulenmaschinen auf den Bergbau, in: ZBHSW, 9, 1861, S. 1—59.

Ders.: Die Entwicklung der mechanischen Aufbereitung in den letzten 100 Jahren, in: ZBHSW, 26, 1878, S. 105—199.

André, Mathias: Die Geschichte des Steinkohlenbergbaues im Kreise Saarlouis, in: Heimatkundl. Jb. d. Kreises Saarlouis 1960.

Arnold, Werner: Eroberung der Tiefe, Leipzig 1974.

Baumgärtel, Hans/Wächtler, Eberhard: Probleme der Periodisierung der Geschichte der Montanwissenschaften, in: Beiträge z. Geschichte des Bergbaus, Hüttenwesens u. d. Montanwissenschaften (= Freiburger Forschungshefte. D 48), Leipzig 1965, S. 37—52.

Beer, Augustin: Erdbohrkunde, Prag 1858.

Beiträge zur Geschichte der Gewerbe und Erfindungen Oesterreichs von der Mitte des 18. Jahrhunderts bis zur Gegenwart, in: Weltausstellung Wien 1873, Abt. Bergbau und Hüttenwesen, Wien 1873, S. 3 ff.

Benedikt, Heinrich: Die wirtschaftliche Entwicklung Österreichs von der industriellen Revolution bis zum Ende der Monarchie, Bd. 1, Wien 1961.

Birnie, Arthur: An Economic History of Europe 1760—1930, 2. Aufl., London 1931.

Blažek, Josef: Fortschritte im Bau elektrischer Fördermaschinen bis 1910, in: ÖZBHW, 58, 1910, S. 345 ff.

Brandt, Leo: Die zweite Industrielle Revolution, Bonn 1956.

Conrad, Hans Günther: Entwicklung der deutschen Bohrtechnik und ihre Bedeutung im 19. Jahrhundert, in: Technikgeschichte, 38, 1971, S. 298—316.

Coudenhove-Kalergi, R. N.: Revolution durch Technik, Leipzig 1932.

Dějiny techniky v Československu do konce 18. století (Technikgeschichte in der Tschechoslowakei bis Ende des 18. Jahrhunderts), Praha 1974.

Denkbuch des österreichischen Berg- und Hüttenwesens, Wien 1873.

Fischer, Wolfran: Die Bedeutung der preußischen Bergrechtsreformen (1851—1865) für den industriellen Ausbau des Ruhrgebiets, Dortmund 1961 (= Vortragsreihe der Ges. f. Westf. Wirtschaftsgeschichte. 9).

Förster, Frank: Zu den Anfängen des Braunkohlenbergbaus in der östlichen Mittellauß 1850—1871, in: Lëtopis, 8, 1961, S. 73 ff.

Die Fortschritte der berg- und hüttenmännischen Wissenschaften (Festschrift zum hundertjährigen Jubiläum der Königl. Sächs. Bergakademie zu Freiberg), Bd. 2, Freiberg 1867.

Fortschritte und Verbesserungen beim Bergbaubetrieb in Oesterreich, in: ÖZBHW, 57, 1909, S. 73 ff.

Freyberg, Max: Geschichte des Bergbaues mit besonderer Berücksichtigung der Entwicklung der Bergmaschinen, in: Z. d. Verbandes d. Bergbau-Betriebsleiter, Teplitz 1907.

Gebhardt, Gerhard: Ruhrbergbau. Geschichte, Aufbau und Verflechtung seiner Gesellschaften und Organisationen, Essen 1957.

Gerstner, Franz Josef: Handbuch der Mechanik, Bd. 3, Wien 1834.

Goldbeck, Gustav: Technik als geistige Bewegung in den Anfängen des deutschen Industrie-Staates, Düsseldorf 1968 (= Technikgeschichte in Einzeldarstellungen. 8).

Grossindustrie Oesterreichs, Bde. 2, 3, Wien 1898.

Haase, Hugo: Kunstbauten alter Wasserwirtschaft im Oberharz, Clausthal-Zellerfeld 1961.

Hauer, Julius: Notizen über die Berg- und Hüttenwesenmaschinen der Wiener Ausstellung, in: Berg- und hüttenmännisches Jb. 21, 1873, S. 377 ff.

Ders.: Die Fördermaschinen der Bergwerke, 2 Bde., Leipzig 1874.

Haupt, Theodor: Bausteine zur Philosophie der Geschichte des Bergbaues, Leipzig 1866.

Haussherr, Hans: Zollverein und die Industrialisierung, in: Moderne deutsche Wirtschaftsgeschichte, Köln/Berlin 1966, S. 55—66.

Hauschild, A.: Die Entwicklung der Tiefbohrtechnik, in: Urania, 19, 1956, S. 470 ff.

Henderson, W. O.: Der englische Bergbau während der industriellen Revolution, in: Freiburger Forschungshefte, Reihe D, 52, Leipzig 1966, S. 25 ff.

Heynovský, Emil: Rückblick auf die Entwicklung des Berg- und Hüttenwesens in Österreich 1848—97, in: Z. d. österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines, Nr. 15, Wien 1899, S. 229 ff.

Höfer, Hans: Oesterreichs bergmännische Erfindungen im XIX. Jahrhundert, in: Katalog der Pariser Weltausstellung 1900, H. 7, S. 1 ff.

Hoffmann, Dietrich: 150 Jahre Tiefbohrungen in Deutschland, in: Erdöl-Zeitschrift, 75, 1959, S. 361—412.

Ders.: Acht Jahrzehnte Gefrierverfahren nach Poetsch, Essen 1962.

Hrabák, Josef: Hornictví a hutnictví v království Českém (Berg- und Hüttenwesen im Königreich Böhmen), Praha 1902.

Jičínský, Vilém: Katechismus důlního větrování pro důlní a dozorce (Katechismus der Wetterführung im Bergbau für die Oberhauer und Steiger), Mährisch-Ostrau 1875.

Kadaňka, Viktor: Z dějin důlního měřictví ve střední Evropě (Zur Geschichte des Markscheidewesens in Mittel-Europa), in: Technický obzor, 43, 1935, S. 262 ff., 274 ff., 292 ff.

Kárníková, Ludmila: Přeměny v technice kamenouhelné těžby kolem poloviny 19. století (Umwandlungen in der Technik der Steinkohlenförderung um die Mitte des 19. Jahrhunderts), in: Sborník pro dějiny přírodních věd a techniky, Bd. 6, Praha 1961, S. 161 ff.

Kirnbauer, Franz: Die Geschichte des Bergbaus und Metallhüttenwesens, in: Technik der Neuzeit, Potsdam 1941.

Ders.: Die Geschichte der Sprengarbeit im Bergbau, in: FS der Aktiengesellschaft Dynamit Nobel, Wien 1965, S. 115—129.

Koch, Manfred: Geschichte und Entwicklung des bergmännischen Schrifttums, Goslar 1963.

Kořan, Jan: Počátky hlubinného vrtání v Evropě (Anfänge des Tiefbohrens in Europa), in: Geologický průzkum, Praha 1968, S. 8 ff.

Kulischer, Josef: Die Ursachen des Übergangs von der Handarbeit zur maschinellen Betriebsweise um die Wende des 18. und der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, in: Jb. GVVDR, 30, 1906, S. 31 ff.

Mämpel, Arthur: Bergbau in Dortmund, 3 Bde., Dortmund 1963/69.

Mauersberg, Hans: Deutsche Industrie im Zeitgeschehen eines Jahrhunderts, Stuttgart 1966.

Matschoß, Conrad: Die Maschinen des deutschen Berg- und Hüttenwesens vor 100 Jahren, in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie, 1, 1909, S. 1—35.

Majer, Jiří: Technika českých a slovenských dolů v průběhu dějin (Technik in den böhmischen und slowakischen Gruben im Lauf der Geschichte), Příbram 1971.

Ders.: Die Aufgabe des Bergbaus in den Anfängen der industriellen Revolution in der österreichischen Monarchie, in: Österr. Berg- und Hüttenkalender, Wien 1973, S. 83 ff.

Ders.: K některým problémům hornictví českých zemí v období průmyslové revoluce (Zu einigen Problemen im böhmischen Bergbau im Zeitraum der industriellen Revolution), in: Studie z dějin hornictví, 3, Praha 1973, S. 274 ff.

Ders.: Fire and Watercolumn engines in European Mining, in: Acta historiae rerum naturalium necnon technicarum, Special Issue, 7, Prague 1974, S. 64—80.

Matějček, Jiří: K problémům průmyslové revoluce v uhelném hornictví českých zemí (Zu den Problemen der industriellen Revolution im böhmischen Kohlenbergbau), in: Dějiny věd a techniky, 6, Praha 1973, S. 63 ff.

Ders.: K vývoji techniky v uhelném hornictví v českých zemích v období 1880—1914 (Zur Entwicklung der Technik im böhmischen Kohlenbergbau im Zeitraum 1880—1914), in: Studie z dějin hornictví, 6, Praha 1975, S. 17—44.

Mottek, Hans: Zum Verlauf und einigen Hauptproblemen der industriellen Revolution in Deutschland, in: Studien zur Geschichte der industriellen Revolution, Berlin 1960, S. 11—63.

Plasche, Fritz: Die Entwicklung der Abbaumethoden im nordwestlichen Braunkohlenrevier, in: ZBHSW, 86, 1938, S. 487—507.

Parma, Jan Boris: Vznik dobývacích metod v rudném hornictví a jejich vývoj do konce 19. století (Die Entstehung der Gewinnungsmethoden im Erzbergbau und ihre Entwicklung bis Ende des 19. Jahrhunderts), in: Dějiny přírodních věd a techniky, 7, 1962, S. 137 ff.

Ders.: Úprava rud v průmyslové recoluci (Erzaufbereitung in der industriellen Revolution), in: Rozpravy NTM, 10, Praha 1964, S. 11 ff.

Ders.: K historickému vývoji otvřky a přípravných prací v rudném hornictví (Zur historischen Entwicklung des Erschließens und der Vorbereitungsarbeit im Erzbergbau), in: Rozpravy NTM, 39, Praha 1970, S. 59—66 (69).

Pazdur, Jan: Über die Unterlagen der industriellen Umgestaltung in Polen, in: Kwartalnik historii kultury materialnej, 6, 1/2, Fasc. suppl. Ergon I, Warszawa 1958, S. 203 ff.

Poesch, Franz: Die Elektrizität im Dienste des Bergbaus, in: Berg- und hüttenmännisches Jb., 32, 1884, S. 94 ff.

Purš, Jaroslav: Průmyslová revoluce v českých zemích (Die industrielle Revolution in den böhmischen Ländern), Praha 1960.

Ders.: Průmyslová revoluce (Industrielle Revolution), Praha 1973.

Rappard, E. E.: La révolution industrielle en Suisse, Berne 1914.

Repetzki, Kurt: 3000 Jahre Grubengeleuchte, Wien 1973.

Schenk, Jiří: Stoupací stroje v příbramských rudných dolech (Die Fahrkünste in den Příbramer Erzgruben), in: Vlastivědný sborník Podbrdská, 5, Příbram 1971, S. 174 ff.

Schitko, Josef: Beiträge zur Bergbaukunde, insbesondere zur Bergmaschinenlehre, 2 Bde., Wien 1833/34.

Schrötter, Alfred/Becker, Walter: Die deutsche Maschinenbauindustrie in der industriellen Revolution, Berlin 1962.

Schunder, Friedrich: Lehre und Forschung im Dienste des Ruhrbergbaus, Herne 1964.

Serlo, Albert: Beiträge zur Geschichte des schlesischen Bergbaues in den letzten hundert Jahren, Breslau/Berlin 1869.

Strippelmann, Leo: Die Tiefbohrtechnik im Dienste des Bergbaues und der Eisenbahntechnik, Halle 1881.

Technický vývoj v českých zemích v 19. a. na počátku 20. století (Die Entwicklung der Technik in den böhmischen Ländern im 19. und am Anfang des 20. Jahrhunderts), Kapitel: Bergbautechnik 1800—1914 von Jiří Majer, im Druck.

Tunner, Peter: Bericht über die auf der Pariser Welt-Industrie-Ausstellung von 1855 vorhandenen Producte des Bergbaues und Hüttenwesens, Wien 1855.

Vomáčkova, Věra: Österreich und der deutsche Zollverein, in: Historica, 6, Praha 1963, S. 109 ff.

Wagenbreth, Otfried: Das Wasser und der Bergbau, in: Heimatkundliche Blätter, 3, Dresden 1957, S. 289 ff.

Walach, G.: Zur Geschichte der Einführung der Bohr- und Schießtechnik bei dem Grubenbetriebe, in: ÖZBHW, 9, 1861, S. 207.

Weber, Wolfhard: Innovationen im frühindustriellen deutschen Bergbau- und Hüttenwesen, in: Innovationsforschung als multidisziplinäre Aufgabe, Göttingen 1975, S. 169 ff.

Ders.: Das Berg- und Hüttenwesen des 18. und 19. Jahrhunderts in den historischen Innovationsforschungen, in: Technikgeschichte, 43, 1976, S. 47—59.

Weiller, Max E.: La révolution industrielle en Belgique, Liège 1906.

Wiedenfeldt, Kurt: Ein Jahrhundert rheinische Montan-Industrie 1815—1915, Bonn 1916.

Wilsdorf, Helmut: Die Einführung eiserner Schienenwege im Ruhrbergbau, in: Der Anschnitt, 9, 1957, H. 5, S. 29 f.

Ders.: Umriss der alten Wasserwirtschaft auf dem Freiburger Bergrevier, in: FS 100 Jahre Naturkundemuseum Freiberg, Freiberg 1964, S. 107 ff.

Zinke, Gustav: Der Braunkohlenbergbau in Böhmen, geschichtlich und statistisch dargestellt, Dux 1926.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Jiří Majer

Narodni Technické Muzeum

Kostelní 42

CS-17078 Praha 7