

Entwicklung der Montanindustrie

1. *Technologische Entwicklung der Eisenverarbeitung* (PAULINI/TROITZSCH 1997; KÖNIG/WEBER 1997; HYDE 1977) [Fe=Eisen; C=Kohle]

a. *Traditionelle Verarbeitungsstadien von Eisen.* (1) *Schmelzen:* FeErz wird im Hochofen (seit 16. Jh. üblich) mit Holzkohle unter Zufuhr von Luft (schon früh mittels wassergetriebenen Gebläsen) geschmolzen, wobei Fe-Sauerstoff-Verbindungen gelöst u. Gehalt anderer Stoffe reduziert wird. Ergebnis ist *Roheisen*, das noch einen hohen C-Gehalt (3–5%) hat, spröde ist u. nur als Gusseisen verwendet werden kann. — (2) *Frischen:* Hierbei wird Roheisen wieder stark erhitzt, traditionell auf einem Frischherd (besitzt jeder Schmied). Ergebnis ist *Schmiedeeisen* (C-Gehalt 0,5%) oder Stahl (C-Gehalt 0,6–1,5%), der noch weiter verarbeitet werden muss (ab 18. Jh. Gussstahl aus Tiegeln). — (3) *Formen:* SchmiedeFe kann kalt (Hämmer) oder warm geformt werden. Zentrale Halbfabrikate sind Stäbe (westfäl. Mark: »Osemund«) u. Bleche.

b. *Einsatz von Koks in der Roheisenherstellung.* Abraham Darby, ein Quäker, betrieb ab 1708 ein Eisenhüttenwerk in Coalbrookdale (Shropshire). Seit 1709/18 verwendete er Koks (Ergebnis einer den Schwefelgehalt reduzierenden kontrollierten Teilverbrennung von C). Allerdings verbreitete sich der Einsatz von Koks in GB erst im 3. V. 18. Jh. Erklärung: Koks-RohFe war zunächst wegen des höheren Siliziumgehalts qualitativ schlechter (d.h. im Schmieden teurer) als Holzkohle-RohFe u. konnte mit letzterem preislich nicht konkurrieren. Darby verwendete sein Roheisen v. a. für den Guss von Gefäßen u. Röhren, für den der hohe Siliziumgehalt seines Fe von Vorteil war. Erst steigende Nachfrage nach SchmiedeFe u. Verbesserungen im Betrieb von Kokshochöfen (Vergrößerung der Hochöfen mit Verdoppelung der Tagesleistung zwischen ca. 1740 u. 1800, stärkere Gebläse, bis 1790 bereits zu ca. 85% mit Dampf betrieben → geringere Abhängigkeit von der Wasserführung, kontinuierlicherer Betrieb) beschleunigten den Übergang zu Koks. Ab 1830er J. Übergang zum Einblasen von Heißluft. Mitte 18.–Mitte 19. Jh. reduziert sich der C-Verbrauch pro t RohFe von ca. 15t auf ca. 2,5t. Die Produktion von RohFe betrug in GB 1780 0,1, 1840 1,3, 1870 5,8 Mio. t; 1780–1831 betrug die Wachstumsrate jährl. im Durchschnitt 4–6% (→wie Baumwollverarbeitung Leitsektor).

c. *Das Puddelverfahren.* 1760er–1780er J. zahlreiche Bestrebungen zur Verbesserung der Produktion von SchmiedeFe aus Koks-RohFe. Durchbruch mit Puddelofen von Henry Cort (Patente 1783/4), der sich ab ca. 1800 allgemein durchsetzte: Geschlossener Ofen; durch Flammofen erhitzte FeMasse wurde durch Arbeiter durch eine Luke gerührt. Um 1850 verarbeitete ein Puddelofen ca. 1/10 des Ausstosses eines Hochofens, jener war an die Leistungskraft u. Arbeitsbereitschaft eines qualifizierten Arbeiters gebunden, u. Lupen waren bzgl. ihrer Größe auf die Hebekraft des Puddlers beschränkt, ihre Beschaffenheit war variabel. 1788–1815 verfünffachte sich in GB die Produktion von SchmiedeFe; gleichzeitig sanken die Preise von verarbeitetem Fe 1770–1831 um 70%. 1700er–1770er J. wuchsen Importe von SchmiedeFe von ca. 16000t auf ca. 45000t, ab E. 18. Jh. nahmen sie allmählich wieder ab, u. 1800 wurde ca. 24% der Pro-

duktion exportiert (Anteil am Wert der Exporte insgesamt 9,3%), 1850 39% (Exportanteil 12,3%).

d. *Formen: Aufkommen des Walzens seit Ende 18. Jh.* Halbfabrikate (zunächst Stäbe u. Bleche) wurden nicht mehr unter einem wassergetriebenen Hammer geschmiedet, wobei der Arbeiter das Werkstück steuerte, sondern durch eine Walze geformt. Das Verfahren produzierte gleichmäßigere Werkstücke, auch wurden neue Profile möglich (z. B. ab ca. 1820 Eisenbahnschienen). Walzen mussten zunächst von Schmiedeeisenfabrikanten selbst hergestellt werden, weshalb sich das Walzen parallel zum Puddeln ab ca. 1800 verbreitete. Antrieb von Beginn weg meist durch Dampfkraft.

e. *Flussstahlverfahren ab 3. V. 19. Jh.* Innovationen, welche die Stahlherstellung in einem Arbeitsgang aus Roh-Fe ermöglichten. Die jährl. Weltproduktion von Stahl stieg von weniger als 1 Mio. t 1865 auf über 50 Mio. t 1913. (1) *Bessemerstahl* (engl. Berufserfinder, Patent 1856; Anwendungsreife ab frühen 1860er J., Investitionsboom in D späte 1860er/frühe 1870er J.). In ein oben offenes Gefäß wird flüssigem RohFe durch Ventile im Boden Luft zugeführt, was bereits nach ca. 20 Min. zur Produktion von ca. 5t Stahl führt. Das Verfahren bewirkte gegenüber dem Schmelzen in Tiegeln u. dem Puddelverfahren zu einer hohen Produktivitätssteigerung, so dass es sich rasch durchsetzte. Allerdings funktioniert es nicht bei phosphorhaltigen FeErzen. — (2) *Thomas-Gilchrist-Verfahren* (Patent 1878) für phosphorhaltiges Fe: Die Bessemerbirne wird mit Kalk oder anderen basischen Stoffen ausgekleidet, die Phosphorsäure neutralisieren. — (3) *Siemens-Martin-Verfahren* (1860er–1880er J.). Frischen erfolgt wie beim Puddelverfahren auf Herd, aber bei wesentlich höheren Temperaturen (sog. Regenerativ-Feuerung), so daß kein Zutun von außen erforderlich ist u. Stahl vergossen werden kann. Langsamer als Bessemer-/Thomas-Verfahren, erlaubt aber genaue Steuerung des Frischprozesses → Herstellung qualitativ hochwertiger Stähle in hohen Volumina.

2. Energiekrise und Steinkohlebergbau (SIEFERLE 1982)

a. *Wachstum des Kohlenbergbaus.* (1) *Großbritannien.* Schon 1551/60–1681/90 wuchs die jährl. Förderung von SteinC in GB um 2,1% p. a. Nach einer relativen Stagnation beschleunigte sich die jährl. Wachstumsrate: 1750/60–1781/90 2,1%, 1781/90–1801/10 2,8%, 1801/10–1841/50 4,0%. Bereits Ende 17. Jh. war der Einsatz von SteinC im Bereich von Heizenergie u. Gewerbe (Ziegelbrennerei, Brauerei, Salzgewinnung, etc.) verbreitet. Die FeVerarbeitung war der letzte größere Gewerbebereich, der auf SteinC umstellte (Grund: aus Verunreinigung des Roheisens resultierende techn. Herausforderungen). — (2) *Preußen.* 1820–1849 wuchs die SteinCFörderung jährl. um 4,3%, 1850–1879 um 7,3%, 1880–1913 um 4,4%.

b. *Gründe für das Wachstum des Kohlebergbaus.* (1) *Energieknappheit.* In England stieg der reale Preis von HolzC vom 16. zum 17. Jh. deutlich an (mind. 1/3). Das Ansteigen des realen Preises von SteinC an denjenigen von HolzC gegen Ende des 17. Jh. zeigt die zunehmende Austauschbarkeit der beiden Energiequellen an. Die Substitution des SteinC-Verbrauchs von England in den 1860er J. durch HolzC hätte Wald im Umfang der gesamten landwirtschaftl. Nutzfläche Englands erfordert. Allerdings hätte seit

Ende 18. Jh. zu vertretbaren Transportkosten Holz aus dem Ostseeraum (Finnland, Russland) importiert werden können; der engl. C-Konsum der 1860er J. entsprach (nur) 1/3 der heutigen Holzproduktion dieser Region.

(2) (*Geringer Technischer Fortschritt*). Im englischen CBergbau stieg die Produktivität 1700–1870 bestenfalls marginal (CLARK / JACKS 2007). Auch im dt. CBergbau entwickelte sich die Produktivität langsam. Innovationen kompensierten hauptsächlich den Rückgang leicht abbaubarer Vorkommen: (i) *Einsatz von Dampfmaschinen* in der Entwässerung; in GB ab den 1710er J. Ab 1860er J. dampfgetriebene Ventilatoren zur Bewetterung. — (iii) Übergang vom Hangbergbau zu *Tiefbauzechen*, in Ruhr ab 2. H. 1830er J.: Lotrechter Schacht u. rechtwinklige Stollen. Einsatz von Zuanlagen mit Drahtseilen u. von Schienenwegen in den Stollen.

(3) *Sinkende Transportkosten* (auf dem europ. Kontinent v. a. im Zug des Eisenbahnbaus 3. V. 19. Jh.) machten Kohle leichter verfügbar. Rückgang der Transportkosten (und Besteuerung) war der Hauptgrund für leicht fallende Kohlenpreise in London nach ca. 1750 trotz steigenden Konsums.

(4) *Rückwärtskoppelungseffekte*. Die Umstellung der Eisenverarbeitung auf SteinC u. ihr Wachstum, ebenso die Verbreitung von Dampfmaschinen in der Industrie u. im Verkehr im bewirkten eine Zunahme der Nachfrage nach SteinC.

4. Die Entwicklung der Montanindustrie auf dem Kontinent

a. *Länder und Regionen*. 1850/54 produzierte GB 2,7 Mio. t Roheisen u. damit ca. 4,5mal soviel wie Frankreich u. 9mal soviel wie D. 1910/13 war D wichtigster Roheisenproduzent (14,8 Mio. t), gefolgt von GB (9,8 Mio. t), Frankreich (4,7 Mio. t) u. Russland (3,9 Mio. t). Belgien verfügte über eine kleinere, aber früh entstandene u. auf Exportmärkten wichtige Montanindustrie (1910/13 2,2 Mio. t). Ähnliche Entwicklung in der Stahlproduktion; ab 2. H. 1880er J. übertrafen die USA, ab ca. 1895 D die Stahlproduktion von GB (KRENGEL 1983). In D sind Oberschlesien, Sachsen (Erzgebirge), Harz, Siegerland (Lahn-Dill-Gebiet) traditionelle Schwerpunkte. 1850 betrug der Anteil des Ruhrgebiets an der dt. RohFeProduktion 8,7%, 1870 29,9%, 1913 42,5%. Nach 1870 wurde auch der saarländisch(C)-lothringische (Fe; »Minette«) Komplex bedeutsam (1880 20,3%, 1914 29,4% der deutschen RohFeProduktion).

b. *Standortverlagerungen*. Da Energieträger bis 3. V. 19. Jh. teurer waren als Fe wurde der Standort der FeVerarbeitung durch den Standort der Energieträger bestimmt. Mit dem Einsatz von SteinC kam es zur Verlagerung der Industrie aus walddreichen Zonen in die Nähe der CZechen. Z.B. Verlagerung von Siegerland (RohFeHerstellung m. Holzkohle) u. märkischem Sauerland (Halbfabrikate) zuerst (ab 1840er J.) ins östl. Ruhrgebiet mit C-Fe-Vorkommen an der Oberfläche, später (v.a. ab 1890er J.) Verlagerung ins westl. Ruhrgebiet mit zwar tieferen, aber ergiebigeren CFlözen sowie besserer Verkehrsanbindung (Rhein; FELDENKIRCHEN 1982; Fremdling in TEUTEBERG 1988).

c. *Gründe für den späteren Übergang zum steinkohlebasierten Paradigma auf dem Kontinent*. D wies schon in der Frühen Neuzeit einen wichtigen, exportorientierten Montansektor auf. Auch erfolgte die Adaptation von Massenstahlverfahren ab den

1860er J. sehr schnell. Was erklärt die späte Übernahme der Herstellung von Koksroh-Fe, Puddeln u. Walzen? — (1) *Geringere Holzknappheit, geringere Marktentwicklung*. In Mittelgebirge Waldreserven u. Wasserläufe mit Gefälle (Eignung für Hammerwerke). Dennoch wurde auch in D im 18. Jh. eine Brennholzknappheit spürbar. Die Substitution durch SteinC wurde verzögert durch (i) *hohe Transportkosten* (natürliche Verkehrshindernisse, schwächer entwickeltes Transportsystem) u. (ii) den *institutionellen Rahmen*: Wälder waren praktisch durchwegs im Besitz von Fürsten, Grundherren u. Gemeinden. Holzgewinnung war eine Nebennutzung unter anderen (Jagd, Weide, etc.); Brennholz wurde oft als freies Gut ohne Marktwert angesehen → keine Knappheitssignale. Soweit wahrgenommen wurde Knappheit ausgehend von Moralvorstellungen ständischer Lebensführung mit Sparmaßnahmen u. Nutzungsbeschränkungen begegnet.

(2) *Die Bedeutung der Zollpolitik* (FREMDLING 1986). Bis 3. V. 19. Jh. verfügte GB u.a. wegen räumlicher Nähe der C- u. FeVorkommen über Kostenführerschaft. Die Zollpolitik der kontinentalen Länder beeinflusste den Verlauf der nachholenden Innovation: In Frankreich ab 1822 prohibitive Zölle auf RohFe (40–63%) u. StabFe (85–116%), was lange Weiterverwendung von HolzkohleFe u. langsame Umstellung auf SteinC begünstigte. In D erst ab 1844 begrenzter Schutz der StabFeProduktion, so dass bis in die 1850er J. RohFe aus GB importiert wurde, die Umstellung auf SteinC zwar später als in Frankreich, aber in den 1840er/1850er J. sehr rasch erfolgte.

(3) *Wachstum der PuddelFeProduktion in NRW erst als Folge der Nachfrageausweitung* seitens des Eisenbahnbaus ab späten 1840er J. (Rückwärtskoppelungseffekt).

Zitierte Literatur

PAULINYI/TROITZSCH (1997) wie 22.04.

CLARK, Gregory und David SACKS: »Coal and the Industrial Revolution, 1700–1869«, *European Review of Economic History* 11 (2007), 39–72.

FELDENKIRCHEN, Wilfried: *Die Eisen- und Stahlindustrie des Ruhrgebiets 1879–1914*: ... (Wiesbaden: Steiner, 1982).

FREMDLING, Rainer: *Technologischer Wandel und internationaler Handel im 18. und 19. Jh.: Die Eisenindustrien in GB, B, F u. D* (Berlin: Duncker u. Humblot, 1986).

HOLTFREICH, Carl-Ludwig: *Quantitative Wirtschaftsgeschichte des Ruhrkohlenbergbaus im 19. Jh.: ...* (Dortmund: Ges. f. westfälische Wirtschaftsgeschichte, 1973).

HYDE, Charles K.: *Technological change and the British iron industry 1700–1870* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1977).

KÖNIG, Wolfgang und Wolfhard WEBER: *Netzwerke, Stahl und Strom: 1840 bis 1914 (=Propyläen-Technikgeschichte 4, Berlin: Ullstein, 1997)*.

KRENGEL, Jochen: *Die dt. Roheisenindustrie 1871–1913*: ... (Berlin: Duncker u. Humblot, 1983).

SIEFERLE, Rolf Peter: *Der unterirdische Wald: Energiekrise und industrielle Revolution* (München: Beck, 1982).

TEUTEBERG, Hans Jürgen (Hg.): *Westfalens Wirtschaft am Beginn des „Maschinenzeitalters“* (Dortmund: Gesellschaft für westfälische Wirtschaftsgeschichte, 1988).