

Steinkohle und Eisenverarbeitung: Entfaltung der Montanindustrie

1. *Technologische Entwicklung der Eisenverarbeitung* (PAULINI/TROITZSCH 1997; KÖNIG/WEBER 1997; HYDE 1977)

a. *Traditionelle Verarbeitungsstadien von Eisen.* (1) *Schmelzen:* Eisenerz wird im Hochofen (seit 16. Jh. üblich) mit Holzkohle unter Zufuhr von Luft (schon früh mittels wassergetriebener Gebläse) geschmolzen, wobei Eisen-Sauerstoff-Verbindungen gelöst u. Gehalt anderer Stoffe reduziert wird. Ergebnis ist *Roheisen*, das noch einen hohen Kohlegehalt (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* (Kohlegehalt 0,5%) oder Stahl (Kohlegehalt 0,6–1,5%), der noch weiter verarbeitet werden muss (ab 18. Jh. Gussstahl aus Tiegeln). — (3) *Formen:* Schmiedeeisen kann kalt (Hämmer) oder warm geformt werden. Zentrale Halbfabrikate waren 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 Kohle). Allerdings verbreitete sich der Einsatz von Koks in GB erst im 3. V. 18. Jh. Erklärung: Koksroheisen war zunächst wegen des höheren Siliziumgehalts qualitativ schlechter (d.h. im Schmieden teurer) als Holzkohleroheisen 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 von Vorteil war. Erst steigende Nachfrage nach Schmiedeeisen 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 Kohleverbrauch pro t Roheisen von ca. 15t auf ca. 2,5t. Die Produktion von Roheisen 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 Schmiedeeisen aus Koksroheisen. Durchbruch mit Puddelofen von Henry Cort (Patente 1783/4), der sich ab ca. 1800 durchsetzte: Geschlossener Ofen; durch Flammofen erhitzte Eisenmasse 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 Schmiedeeisen; gleichzeitig sanken die Preise von verarbeitetem Eisen 1770–1831 um 70%. 1700er–1770er J. wuchsen Importe von Schmiedeeisen von ca. 16000t auf ca. 45000t, ab E. 18. Jh. nahmen sie allmählich wieder ab, u. 1800 wurde ca. 24% der Produktion 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, die Stahlherstellung in einem Arbeitsgang aus Roheisen 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 Roheisen 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 Eisenerzen. — (2) *Thomas-Gilchrist-Verfahren* (Patent 1878) für phosphorhaltiges Eisen: 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 Steinkohle 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 Steinkohle im Bereich von Heizenergie u. Gewerbe (Ziegelbrennerei, Brauerei, Salzgewinnung, etc.) verbreitet. Die Eisenverarbeitung war der letzte größere Gewerbebereich, der auf Steinkohle umstellte (Grund: aus Verunreinigung des Roheisens resultierende technische Herausforderungen). — (2) *Preußen.* 1820–1849 wuchs die Steinkohleförderung 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 Holzkohle vom 16. zum 17. Jh. deutlich an (mind. 1/3). Das Angleichen des realen Preises von Steinkohle an denjenigen von Holzkohle gegen Ende des 17. Jh. zeigt die zunehmende Austauschbarkeit der beiden Energiequellen an. Die Substitution des Steinkohleverbrauchs von England in den 1860er J. durch Holzkohle 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. Steinkohlekonsum der 1860er J. entsprach (nur) 1/3 der heutigen Holzproduktion dieser Region.

(2) (*Geringer*) *Technischer Fortschritt*. Im englischen Steinkohlebergbau stieg die Produktivität 1700–1870 bestenfalls marginal (CLARK / JACKS 2007). Auch im dt. Steinkohlebergbau 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 Zuganlagen 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 Steinkohle leichter verfügbar. Rückgang der Transportkosten (und Besteuerung) war der Hauptgrund für leicht fallende Kohlenpreise in London nach ca. 1750 trotz wachsenden Konsums.

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

3. Die Entwicklung der Montanindustrie auf dem europäischen Festland

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) alte Schwerpunkte. Bis 1913 Konzentration auf Ruhrgebiet sowie Lothringen/Saarland (42,5% bzw. 29,4% der Roheisenproduktion).

b. *Standortverlagerungen*. Da Energieträger bis 3. V. 19. Jh. teurer waren als Eisen wurde der Standort der Eisenverarbeitung durch den Standort der Energieträger bestimmt. Mit dem Einsatz von Steinkohle kam es zur Verlagerung der Industrie aus waldreichen Zonen in die Nähe der Kohlezechen. Z. B. Verlagerung von Siegerland (Roheisenherstellung mit Holzkohle) u. märkischem Sauerland (Halbfabrikate, die auf wassergetriebenen Hämmern hergestellt wurden) zuerst (ab 1840er J.) ins östl. Ruhrgebiet mit Steinkohlevorkommen an der Oberfläche, später (v. a. ab 1890er J.) Verlagerung ins westl. Ruhrgebiet mit zwar tieferen, aber ergiebigeren Steinkohleflözen 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 Koksroheisen, Pud-

deln 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 Steinkohle 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. Wahrgenommener Knappheit wurde 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 Steinkohle- u. Eisenvorkommen über Kostenführerschaft. Die Zollpolitik der kontinentalen Länder beeinflusste den Verlauf der nachholenden Innovation: In Frankreich ab 1822 prohibitive Zölle auf Roheisen (40–63%) u. Stabeisen (85–116%), was lange Weiterverwendung von Holzkohleroh Eisen u. langsame Umstellung auf Steinkohle begünstigte. In D erst ab 1844 begrenzter Schutz der Stabeisenproduktion, so dass bis in die 1850er J. Roheisen aus GB importiert wurde, die Umstellung auf Steinkohle zwar später als in Frankreich, aber in den 1840er/1850er J. sehr rasch erfolgte.

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

Zitierte Literatur

- PAULINYI/TROITZSCH (1997) wie 23.10.2018.
 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).
 HOLTFRERICH, 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).