

26. Oktober 2021

Steinkohle und Eisenverarbeitung: Entfaltung der Montanindustrie

Gliederung

- ◆ Technologische Entwicklung der Eisenverarbeitung
- ◆ Der Steinkohlebergbau: Energiekrise und der Wandel der energetischen Basis des verarbeitenden Gewerbes
- ◆ Die Entwicklung der Montanindustrie auf dem europäischen Festland, insbesondere in Deutschland

Verarbeitungsstadien und vorindustrielle Technologie

- ◆ **Roheisenherstellung**
 - ◆ Roheisen entsteht im Hochofen (seit 15./16. Jh.) durch Einschmelzen von Erz (v. a. F_3O_4) mit Kohle unter Zuführung von Luft mit Gebläsen
dabei wird Sauerstoff gelöst und der Gehalt anderer Stoffe reduziert (Schlacke)
 - ◆ Wegen hohem Kohlegehalt (3–5%) ist Roheisen nur zum Gießen geeignet
- ◆ **Schmiedeeisen**
 - ◆ Erhitzen des Roheisens auf Herdfeuer → Kohle oxidiert
 - ◆ Kohlegehalt von 0,5% → weich → leicht zu formen → herkömmlicher Werkstoff
- ◆ **Stahl**
 - ◆ Kohlegehalt von 0,6–1,5%
 - ◆ Herkömmliches Verfahren: Tiegelstahl
 - ◆ Einschmelzen von Schmiedeeisen in feuerfesten Tiegeln
 - ◆ Hohe Qualität, aber 5–7mal teurer als Schmiedeeisen → geringe Herstellungsmengen
- ◆ **Halbfabrikate als Ergebnis des Formens**
 - ◆ Weiterverarbeitung von Schmiedeeisen zu Stäben, Blechen, Draht
 - ◆ Bis ins frühe 19. Jh. Einsatz von wassergetriebenen Hämmern bzw. Mühlen

26.10.2021

Montanindustrie

3

Übersicht Übergang der Eisenverarbeitung zu Steinkohle und Dampfkraft

Produktionsstufe	Traditionelles Verfahren	ca. 1710–1870 entstehende Verfahren	Produkt
Eisenverhüttung	im Hochofen mit Holzkohle und wassergetriebenen Blasbälgen	im Hochofen mit Steinkohlekoks, dampfmaschinengetriebene Luftzufuhr	Roheisen
Frischen	auf dem Herdfeuer mit Holzkohle	im Puddelofen mit Steinkohle	Schmiedeeisen
Formen	mit dem Hammer meist wassergetrieben	Walzen dampfmaschinengetrieben	Stabeisen, Bleche; neu: Profile
Stahlherstellung	Tiegelstahlverfahren auf der Basis von Schmiedeeisen	Flussstahlverfahren auf der Basis von Roheisen	Stahl

26.10.2021

Montanindustrie

4

Einsatz von Steinkohlekoks in der Roheisenherstellung in Großbritannien

- ◆ Abraham Darby
 - ◆ Quäker, betrieb ab 1708 ein Eisenhüttenwerk in Coalbrookdale (Shropshire)
 - ◆ Seit 1709/18 verwendete er Steinkohlekoks
 - Ergebnis einer den Schwefelgehalt reduzierenden kontrollierten Teilverbrennung von Kohle
- ◆ Verbreitung der Eisenverhüttung mit Koks erst ab 3. Viertel 18. Jh.
 - ◆ Erklärung: Koksroheisen war zunächst wegen des höheren Siliziumgehalts qualitativ schlechter (d.h. im Schmieden teurer) als Holzkohleroheisen
 - ◆ Darby verwendete sein Roheisen v. a. für den Guss von Gefäßen und Röhren, für den der hohe Siliziumgehalt seines Gusseisens von Vorteil war
- ◆ Technische Innovationen der Eisenverhüttung mit Koks
 - ◆ Vergrößerung der Hochöfen mit Verdoppelung der Tagesleistung ca. 1740–1800
 - ◆ stärkere Gebläse, bis 1790 bereits zu ca. 85% mit Dampf betrieben → geringere Abhängigkeit von der Wasserführung, kontinuierlicherer Betrieb
 - ◆ ab 1830er Jahren Übergang zum Einblasen von Heißluft
 - ◆ Ergebnis: Mitte 18.–Mitte 19. Jh. reduzierte sich der Kohleverbrauch pro t Roheisen von ca. 15t auf ca. 2,5t
- ◆ Wachstum der Roheisenproduktion in Großbritannien
 - ◆ Produktion 1780 0,1 Mio. t, 1840 1,3 Mio. t, 1870 5,8 Mio. t
 - ◆ 1780–1831 betrug die Wachstumsrate jährlich im Durchschnitt 4–6%

26.10.2021

Montanindustrie

5

Das Puddelverfahren zur Produktion von Schmiedeeisen

1760er–1780er Jahre zahlreiche Bestrebungen zur Verbesserung der Produktion von Schmiedeeisen aus Koksroheisen. Durchbruch mit ...

- ◆ Puddelofen von Henry Cort (Patente 1783/84)
 - ◆ setzte sich ab ca. 1800 in Großbritannien allgemein durch
 - ◆ Prinzip
 - ◆ Geschlossener Ofen (→ höhere Temperatur als beim offenen Herdfeuer)
 - ◆ durch Flammofen erhitzte Eisenmasse wurde durch Arbeiter durch eine Luke gerührt
 - ◆ Produktionskapazität, Grenzen der Leistungsfähigkeit
 - ◆ Um 1850 verarbeitete ein Puddelofen ca. 1/10 des Ausstoßes eines Hochofens
 - ◆ Der Betrieb war an die Leistungskraft und Arbeitsbereitschaft eines qualifizierten Arbeiters gebunden
 - ◆ Die resultierenden Lupen waren bezüglich ihrer Größe auf die Hebekraft des Puddlers beschränkt, ihre Beschaffenheit war variabel
- ◆ Wachstum der britischen Schmiedeeisenproduktion
 - ◆ 1788–1815 Verfünffachung des Ausstoßes
 - ◆ gleichzeitig sanken die Preise von Schmiedeeisen 1770–1831 um 70%
 - ◆ Importsubstitution und Aktivierung der Handelsbilanz mit Schmiedeeisen
 - ◆ 1700er–1770er J. wuchsen Importe von Schmiedeeisen von ca. 16000t auf ca. 45000t
 - ◆ Im späten 18. Jh. Importsubstitution
 - ◆ 1800 wurde ca. 24% der Produktion exportiert, 1850 39%

26.10.2021

Montanindustrie

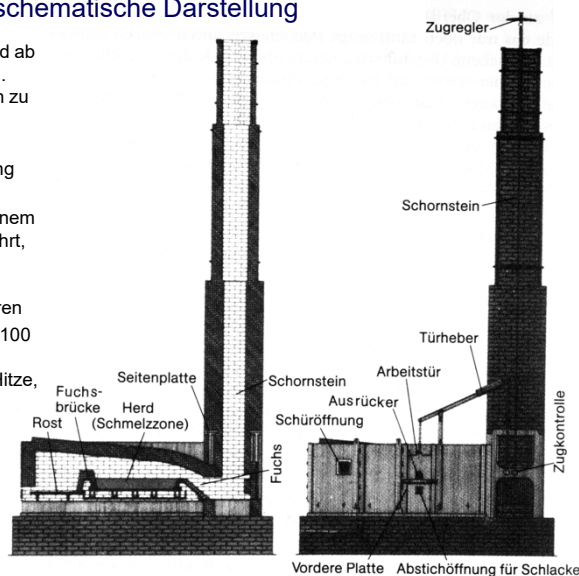
6

Der Puddelofen schematische Darstellung

Ende 18. Jh. (England; Deutschland ab 1830er Jahren) bis 3. Viertel 19. Jh. erfolgte das Frischen von Roheisen zu Schmiedeeisen mit Hilfe des Puddelverfahrens

- ◆ Beim Frischen keine Berührung von Kohle mit Eisenmasse
- ◆ Die Eisenmasse wurde von einem Arbeiter durch eine Luke gerührt, um Kohlenstoff und andere Begleitmaterialien (Silizium, Mangan, Phosphor) zu oxidieren
- ◆ Es resultierten Lupen von ca. 100 kg in variabler Beschaffenheit (schwierige Regulierung der Hitze, ungleiche Arbeitsleistung der Puddler)

Quelle: Rondo Cameron, *Geschichte der Weltwirtschaft* (Stuttgart: Klett-Cotta, 1992), S. 258.



26.10.2021

Montanindustrie

7

Formen Das Aufkommen des Walzens ab Ende 18. Jh.

- ◆ Eigenschaften des Walzverfahrens
 - ◆ Formung durch Walze mit Hilfe eines weitgehend beliebig geformten Profils
 - ◆ Die Walze wurde durch einen mechanischen Antrieb, von Beginn weg meist eine Dampfmaschine, gleichmäßig gedreht
 - ◆ Bei traditionellen Formverfahren, z. B. Hämmern, musste das Werkstück von Hand gesteuert werden
 - Walzen erbrachte präzisere und gleichmäßigere Werkstücke, neuartige Formen
 - Z. B. ab ca. 1820 Eisenbahnschienen
- ◆ Enger Verbund mit Puddelwerken
 - ◆ Walzen mussten zunächst von Schmiedeeisenfabrikanten selbst hergestellt werden
 - ◆ Die Verfügung über warmes Schmiedeeisen war von Vorteil
 - Walzen verbreitete sich parallel zum Puddeln ab ca. 1800 und meist in dieselben Unternehmen integriert

26.10.2021

Montanindustrie

8

Das Aufkommen der Flusstahlverfahren

In den 1860er/1870er Jahren erfolgten Innovationen, die die Stahlherstellung in einem Arbeitsgang aus Roheisen ermöglichten

◆ Bessemerstahl

- ◆ Anwendungsreife ab frühen 1860er Jahren, erster Investitionsboom in den späten 1860er/frühen 1870er Jahren
- ◆ Hohe Geschwindigkeit
- ◆ Das Verfahren funktioniert allerdings nicht bei phosphorhaltigen Eisenerzen

◆ Thomas-Gilchrist-Verfahren (Patent 1878)

für phosphorhaltiges Eisen: Die Bessemerbirne wird mit Kalk oder anderen basischen Stoffen (Dolomit) ausgekleidet, die Phosphorsäure neutralisieren

◆ Siemens-Martin-Verfahren (Entwicklung 1860er–1880er Jahre)

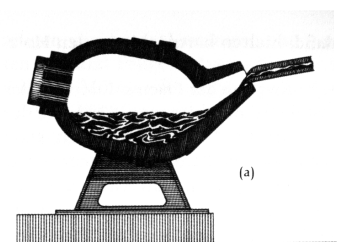
- ◆ Das Frischen erfolgt wie beim Puddelverfahren auf einem Herd, aber bei wesentlich höheren Temperaturen (sog. Regenerativ-Feuerung: Verwendung von Gasen u. a. aus Eisenverhüttung), so dass kein Zutun von außen erforderlich ist und Stahl vergossen werden kann
- ◆ Erlaubt bei geringer Geschwindigkeit genaue Steuerung des Frischprozesses → Herstellung qualitativ hochwertiger Stähle

26.10.2021

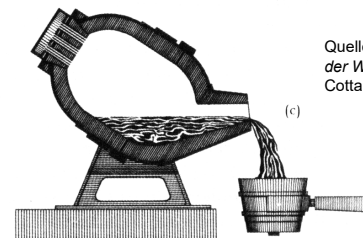
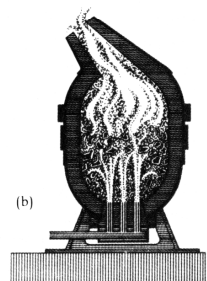
Montanindustrie

9

Das Bessemerverfahren schematische Darstellung



- Ein oben offenes Gefäß (Bessemerbirne) wird mit flüssigem Roheisen beschickt
- Durch Ventile im Boden wird Luft zugeführt, was über die dadurch eingeleitete Oxidation von Silizium zu hohen Temperaturen führt. Bereits nach ca. 20 Min. wurden durch den Arbeitsgang ca. 5t Stahl produziert.
- Zum Abgießen zuerst der Schlacke, dann des flüssigen Stahls völlig herunter gekippte Birne



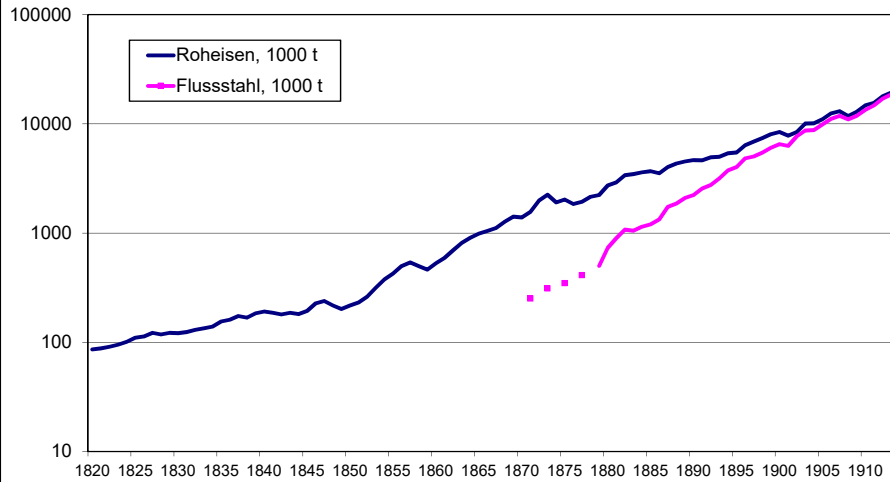
Quelle: Rondo Cameron, *Geschichte der Weltwirtschaft* (Stuttgart: Klett-Cotta, 1992), Bd. 1, S. 294.

26.10.2021

Montanindustrie

10

Das Wachstum der Eisen- und Stahlproduktion, 1840–1913 in Deutschland



Quellen: Spree, Reinhard: *Wachstumstrends und Konjunkturzyklen in der deutschen Wirtschaft von 1820 bis 1913* (Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1978), S. 191; Martin, Bernd: *Industrialisierung und regionale Entwicklung: die Zentren der Eisen- und Stahlindustrie im Deutschen Zollgebiet, 1850–1914* (Diss. Berlin, 1983), S. 387.

26.10.2021

Montanindustrie

11

Der Steinkohlebergbau

Energiekrise und der Wandel der energetischen Basis
des verarbeitenden Gewerbes

26.10.2021

Montanindustrie

12

Wachstum des Kohlenbergbaus

◆ Großbritannien

- ◆ Jährliche Wachstumsrate der Steinkohleförderung
 - 1551/60–1681/90 2,1%, danach weitgehend Stagnation
 - 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 weit verbreitet
 - ◆ als Heizenergie in privaten Haushalten: Grundlage für das Wachstum von London
 - ◆ in den Branchen Ziegelbrennerei, Brauerei, Salzgewinnung
 - ◆ Die Eisenverarbeitung war der letzte größere Gewerbezweig, der auf Steinkohle umstellte
Grund: aus Verunreinigung des Roheisens durch Steinkohle resultierende technische Herausforderungen

◆ Preußen

Jährliche Wachstumsrate der Steinkohleförderung

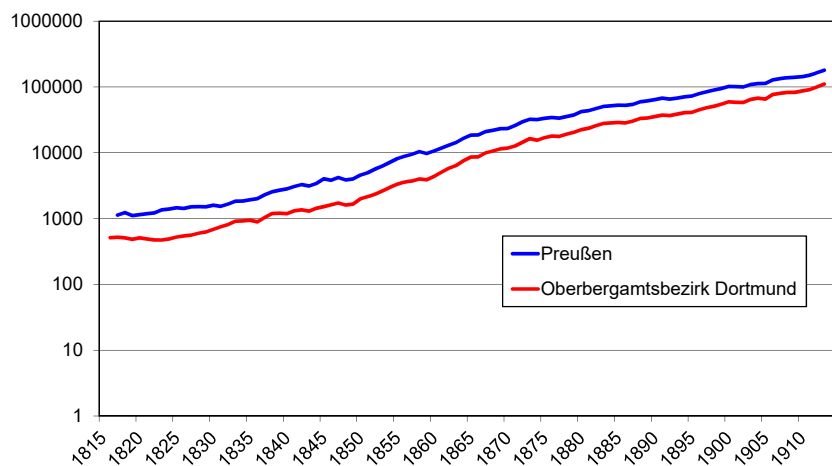
- ◆ 1820–1849 4,3%
- ◆ 1850–1879 7,3% (Hinweis auf Take off-Phase der deutschen Industrialisierung)
- ◆ 1880–1913 4,4%

26.10.2021

Montanindustrie

13

Kohleförderung in Preußen 1817–1913 (in 1000 t)



Quelle: Carl-Ludwig Holtfrerich, *Quantitative Geschichte des Ruhrkohlenbergbaus im 19. Jahrhundert* (= *Untersuchungen zur Wirtschafts-, Sozial- und Technikgeschichte* 1, Dortmund: Gesellschaft für westfälische Wirtschaftsgeschichte, 1973), S. 16–18.

26.10.2021

Montanindustrie

14

Gründe für das Wachstum des Kohlebergbaus I Energieknappheit (in England)

◆ Entwicklung der realen Kohlenpreise

- ◆ Anstieg des realen Preises von Holzkohle vom 16. zum 17. Jh. um mindestens 1/3
d. h. Energieknappheit war noch deutlich ausgeprägter als (malthusianische)
Nahrungsmittelknappheit
- ◆ Gegen Ende des 17. Jh. glich sich der reale Preis von Steinkohle an denjenigen von
Holzkohle an
Dies zeigt die zunehmende Austauschbarkeit der beiden Energiequellen

◆ Umfang und Bedeutung der Substitution von Holz- durch Steinkohle

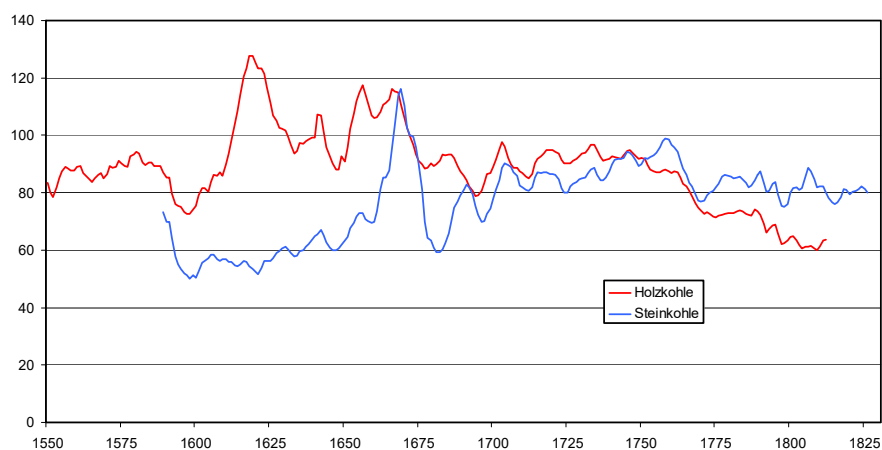
- ◆ Die Substitution des Steinkohlenverbrauchs von England in den 1860er Jahren
durch Holzkohle hätte Wald im Umfang der gesamten landwirtschaftlichen
Nutzfläche Englands erfordert
- ◆ Allerdings hätte seit Ende 18. Jh. zu vertretbaren Transportkosten Holz aus dem
Ostseeraum (Finnland, Russland) importiert werden können
der englische Konsum der 1860er Jahre entsprach (nur) 1/3 der heutigen Holzproduktion
dieser Region → Obwohl Energiepreise ohne Steinkohle wohl deutlich gestiegen wären,
war Steinkohle keine unverzichtbare Grundlage der englischen Industrialisierung
(Clark/Sacks 2007)

26.10.2021

Montanindustrie

15

Realer Kohlenpreis in London, 1550–1830 (brennwertbereinigt, neunjährige gleitende Mittelwerte, Holzkohle 1700=100)



Quelle: <http://www.iisg.nl/hpw/data.php#Europe>; „real“ meint, dass der Preis durch den Konsumgüterpreisindex dividiert wird. Das Ergebnis ist der relative Preis eines Energieträgers zu den Preisen von Konsumgütern insgesamt.

26.10.2021

Montanindustrie

16

Gründe für das Wachstum des Kohlebergbaus II (Geringer) Technischer Fortschritt

- ◆ Im englischen Kohlenbergbau stieg die Produktivität 1700–1870 bestenfalls marginal
- ◆ Auch im deutschen Kohlenbergbau entwickelte sich die Produktivität im 19. Jh. langsam
 - ◆ Anstieg der Arbeitsproduktivität 1850–1875 im Ruhrkohlebergbau um ca. 25%
- ◆ Innovationen kompensierten hauptsächlich den Rückgang leicht abbaubarer Vorkommen
 - ◆ Einsatz von Dampfmaschinen in der Entwässerung, in England ab 1710er Jahren
 - ◆ ab den 1860er Jahren dampfgetriebene Ventilatoren zur Bewetterung
 - ◆ Übergang vom Hangbergbau zu Tiefbauzechen, im Ruhrrevier ab 2. Hälfte 1830er Jahren
 - ◆ Lotrechter Schacht und rechtwinklige Stollen
 - ◆ Einsatz von Zugarbeiten mit Drahtseilen und von Schienenwegen in den Stollen
- ◆ In Preußen institutioneller Wandel: Bergrechtsreformen 1851/65
 - ◆ Beendigung des staatlichen Bergbauregals
 - ◆ Voraussetzung für das Wachstum privater Investitionen in den Bergbau

26.10.2021

Montanindustrie

17

Gründe für das Wachstum des Kohlebergbaus III und IV Sinkende Transportkosten — Rückwärtskoppelungseffekte

- ◆ Sinkende Transportkosten ...
 - ◆ auf dem europäischen Kontinent v. a. im Zug des Eisenbahnbaus 3. Viertel 19. Jh.
 - ◆ ... machten Steinkohle leichter verfügbar
 - ◆ Rückgang der Transportkosten und der Besteuerung waren der Hauptgrund für leicht fallende Kohlenpreise in London nach ca. 1750 trotz steigenden Konsums
- ◆ Rückwärtskoppelungseffekte
 - ◆ d. h. Steigende Nachfrage nachgelagerter Sektoren auf den Steinkohlebergbau
 - ◆ Wegen der Umstellung der Eisenverarbeitung auf Steinkohle und ihres Wachstums
 - ◆ Verbreitung von Dampfmaschinen in der Industrie und im Verkehr

26.10.2021

Montanindustrie

18

Fazit: Der Kohlebergbau war kein Leitsektor

- ◆ Geringe Bedeutung des technischen Fortschritts

- ◆ Wachstumsimpulse kamen v. a.
 - ◆ ... von seiten der Nachfrage
 - ◆ Energieknappheit schuf einen Anreiz für die Erschließung neuer Energiequellen
 - ◆ Rückkoppelungseffekte der eigentlichen Leitsektoren (Eisenverarbeitung, Transport)
 - ◆ ... waren Folge sinkender Transportkosten
 - ◆ ... die dazu führten, dass reale Verbraucherpreise von Steinkohle trotz ungefähr konstanter Förderkosten leicht sanken

26.10.2021

Montanindustrie

19

Die Entwicklung der Montanindustrie auf dem europäischen Festland

insbesondere in Deutschland

26.10.2021

Montanindustrie

20

Entwicklung der europäischen Montanindustrie Übersicht

◆ Roheisenproduktion in Mio. t

	1850/54	1910/13
England	2,7	9,8
Frankreich	0,6	4,7
Deutschland	0,3	14,8
Russland	0,2	3,9
Belgien	0,2	2,2

◆ Stahlproduktion

ab der 2. Hälfte der 1880er Jahre übertrafen die USA, ab ca. 1895 auch Deutschland die Stahlproduktion Großbritanniens

◆ Wichtige Standorte in Deutschland

◆ Traditionelle Schwerpunkte

- ◆ Oberschlesien, Sachsen (Erzgebirge), Harz, Siegerland (Lahn-Dill-Gebiet)
- ◆ Mitte 19. Jh. Aufstieg des Ruhrgebiets: Anteil an der deutschen Roheisenproduktion 1850 8,7%, 1870 29,9%, 1913 42,5%
- ◆ Nach 1870/71 wurde auch der saarländisch-lothringische Komplex bedeutsam
Saarland Kohle, Lothringen phosphorhaltiges Eisen (Minette)
Anteil an der deutschen Roheisenproduktion 1880 20,3%, 1913 29,4%

26.10.2021

Montanindustrie

21

Standortverlagerungen im Zuge der Substitution von Holzkohle durch Steinkohle

Bis 3. Viertel 19. Jh. waren Energieträger teurer als Eisenerz

→ der Standort der Eisenverarbeitung wurde durch den Standort der Energieträger bestimmt

→ Mit dem Einsatz von Steinkohle kam es zur Verlagerung der Industrie aus walddreichen Zonen in die Nähe der Kohlezechen

Beispiel Verlagerung der Hüttenindustrie Siegerland → Ruhrgebiet

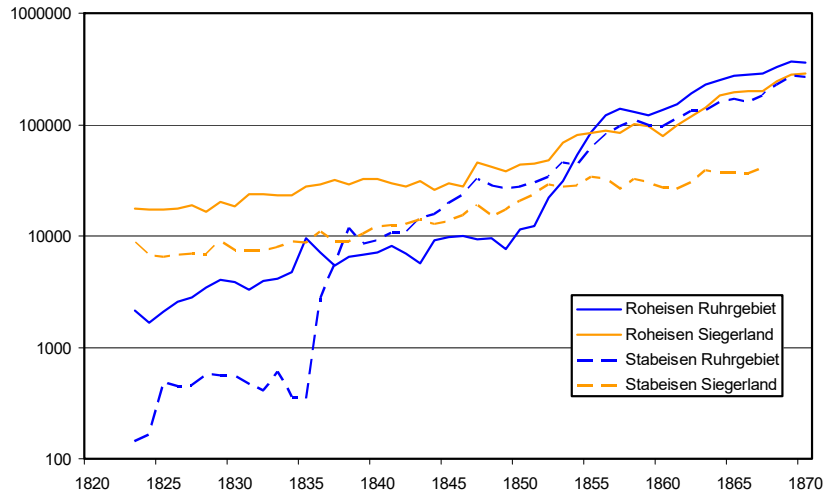
- ◆ ab 1840er Jahren Aufschwung im östlichen Ruhrgebiet, v. a. um Dortmund
Kohleneisenstein-Vorkommen an der Oberfläche
- ◆ In den nachfolgenden Jahrzehnten Verlagerung ins westliche und nördliche Ruhrgebiet
 - ◆ mit zwar tieferen, aber ergiebigeren Kohleflözen
 - ◆ sowie besserer Verkehrsanbindung (Rhein)

26.10.2021

Montanindustrie

22

Roh- und Stabeisenerzeugung in Ruhrgebiet und Siegerland, 1823–1870 (in t)



Quelle: Rainer Fremdling, »Standorte und Entwicklung der Eisenindustrie«, S. 297–316 in Teuteberg, Hans Jürgen (Hg.): *Westfalens Wirtschaft am Beginn des „Maschinenzeitalters“* (Dortmund: Gesellschaft für westfälische Wirtschaftsgeschichte, 1988), hier S. 298.

26.10.2021

Montanindustrie

23

Der Rückstand des Festlands gegenüber Großbritannien das Problem

- ◆ Deutschland wies schon in der Frühen Neuzeit einen wichtigen, exportorientierten Montansektor auf
- ◆ Noch im späten 18. Jh. fungierten deutsche Fachkräfte als technische Experten in anderen Ländern (z. B. Frankreich)
- ◆ die Adaptation von Massenstahlverfahren erfolgte ab den 1860er Jahren sehr schnell

Was erklärt vor diesem Hintergrund die späte Übernahme der Herstellung von Koksroheisen, Puddelofen und Walzverfahren?

26.10.2021

Montanindustrie

24

Erklärung I

Geringere Holzknappheit, geringere Marktentwicklung

- ◆ In den Mittelgebirgen bestanden Waldreserven und Wasserläufe mit Gefälle (Eignung für Hammerwerke)
- ◆ Dennoch wurde auch in Deutschland im 18. Jh. eine Brennholzknappheit spürbar
- ◆ Die Substitution durch Steinkohle wurde verzögert durch
 - ◆ hohe Transportkosten
 - ◆ natürliche Verkehrshindernisse
 - ◆ schwächer entwickeltes Transportsystem
 - ◆ den institutionellen Rahmen
 - ◆ Wälder waren praktisch durchwegs im Besitz von Fürsten, Grundherren und Gemeinden
 - ◆ Holzgewinnung war eine Nebennutzung unter anderen (Jagd, Weide, etc.)
 - ◆ Brennholz wurde oft als freies Gut ohne Marktwert angesehen → keine Knappheitssignale
 - ◆ Ständischer Wertehorizont

Soweit wahrgenommen, wurde Knappheit ausgehend von Moralvorstellungen ständischer Lebensführung mit Sparmaßnahmen und Nutzungsbeschränkungen begegnet
z. B. Siegerland: Hüttenindustrie im Rahmen einer zünftischen Organisation mit Betriebsgrößenbeschränkungen noch im frühen 19. Jh.

26.10.2021

Montanindustrie

25

Erklärungen II und III

Zollpolitik — Koppelungseffekte

- ◆ Bis 3. Viertel 19. Jh. verfügte Großbritannien über Kostenführerschaft u. a. wegen der gegenseitigen räumlichen Nähe der Kohle- und Eisenvorkommen
- ◆ Die Zollpolitik der kontinentalen Länder beeinflusste den Verlauf der nachholenden Innovation
 - ◆ Frankreich
 - ◆ ab 1822 prohibitive Zölle auf Roheisen (40–63%) und Stabeisen (85–116%)
 - ◆ lange Weiterverwendung von Holzkohleroheisen und langsame Umstellung auf Steinkohle
 - ◆ Deutschland
 - ◆ erst ab 1844 begrenzter Schutz der Stabeisenproduktion
→ Druck auf frühe Umstellung auf Puddelverfahren (Ruhrgebiet: mittlere 1830er Jahre)
 - ◆ bis in die 1850er Jahre Importe von Koksroheisen aus England ins Ruhrgebiet
d. h. Aufstieg des Hüttenwesens im Ruhrgebiet in den 1850er Jahren substituierte Importe
- ◆ Rückwärtskoppelungseffekt des Eisenbahnbaus

Erst der forcierte Eisenbahnbau ab den späten 1840er Jahren schuf eine breite Nachfrage nach Puddeleisen (und später Stahl)

26.10.2021

Montanindustrie

26