

Steinkohle und Eisenverarbeitung:

Entfaltung der Montanindustrie

Verarbeitungsstadien und vorindustrielle Technologie

- ◆ **Roheisenherstellung**
 - ◆ Roheisen entsteht im Hochofen (seit 15./16. Jh.) durch Einschmelzen 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 (Frischen) des Roheisens auf Herdfeuer → Kohle oxidiert
 - ◆ Kohlegehalt von 0,5% → weich → leicht zu formen → herkömmlicher Werkstoff
- ◆ **Stahl**
 - ◆ Kohlenstoffgehalt 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

Übersicht Übergang zu Steinkohle und Dampfkraft

Produktionsstufe	Traditionelles Verfahren	ca. 1710–1870 entstehendes Paradigma	Produkt
Eisenverhüttung	im Hochofen mit Holzkohle	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
Stahlerstellung	Tiegelstahlverfahren auf der Basis von Schmiedeeisen	Flussstahlverfahren auf der Basis von Roheisen	Stahl

Einsatz von Steinkohlekoks in der Roheisenherstellung in Großbritannien

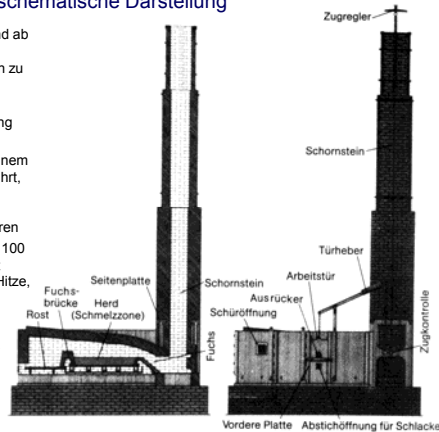
- ◆ **Abraham Darby**
 - ◆ Quäker, betrieb ab 1708 ein Eisenhüttenwerk in Coalbrookdale (Shropshire)
 - ◆ Seit 1709/18 verwendete er Steinkohlekoks
 - ◆ Ergebnis einer den Schwefelgehalt reduzierenden kontrollierten Teilverbrennung von Kohle
- ◆ **Verbreitung der Eisenverhüttung mit Koks erst ab 3. Viertel 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%

Der Puddelofen schematische Darstellung

Ende 18. Jh. (England; Deutschland ab 1830er Jahre) 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.



30.10.2018

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 1783/4)**
 - ❖ setzte sich ab ca. 1800 in Großbritannien allgemein durch
 - ❖ Prinzip
 - ❖ Geschlossener Ofen (vs. offenes Herdfeuer bei der traditionellen Methode)
 - ❖ 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 Verüfentlichung 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%

30.10.2018

Montanindustrie

6

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 integriert in denselben Unternehmen

30.10.2018

Montanindustrie

7

Das Aufkommen der Flusstahlverfahren

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

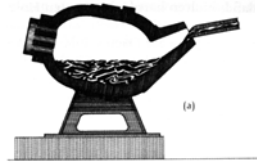
- ❖ **Bessemerstahl**
 - ❖ Anwendungsreife ab frühen 1860er Jahren, erster Investitionsboom in den späten 1860er/frühen 1870er Jahren
 - ❖ Hohe Geschwindigkeit
 - ❖ Das Verfahren funktioniert allerdings nicht bei phosphorhaltigen Eisenerzen
- ❖ **Thomas-Gilchrist-Verfahren (Patent 1878)**
 - für phosphorhaltiges 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

30.10.2018

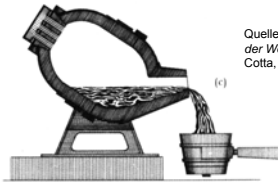
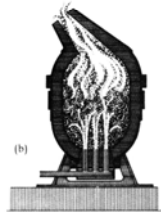
Montanindustrie

8

Das Bessemerverfahren schematische Darstellung



- a) Ein oben offenes Gefäß (Bessemerbirne) wird mit flüssigem Roheisen beschickt
- b) 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.
- c) Zum Abgießen zuerst der Schlacke, dann des flüssigen Stahls völlig herunter gekippte Birne



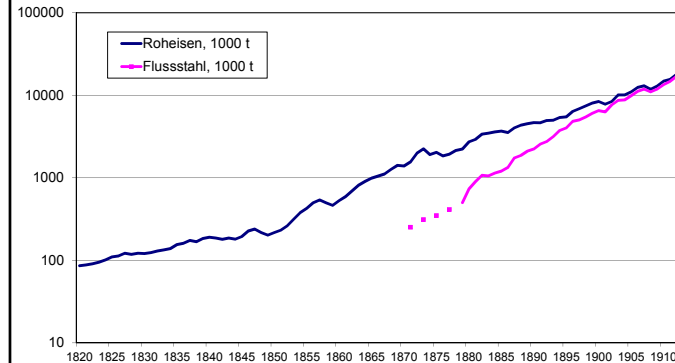
Quelle: Rondo Cameron, *Geschichte der Weltwirtschaft* (Stuttgart: Klett-Cotta, 1992), Bd. 1, S. 294.

30.10.2018

Montanindustrie

9

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.

30.10.2018

Montanindustrie

10

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 bei privaten Haushalten
 - in den Branchen Ziegelbrennerei, Brauerei, Salzgewinnung
 - Die Eisenverarbeitung war der letzte größere Gewerbebezug, der auf Steinkohle umstellte
Grund: aus Verunreinigung des Roheisens durch Steinkohle resultierende technische Herausforderungen

Preußen

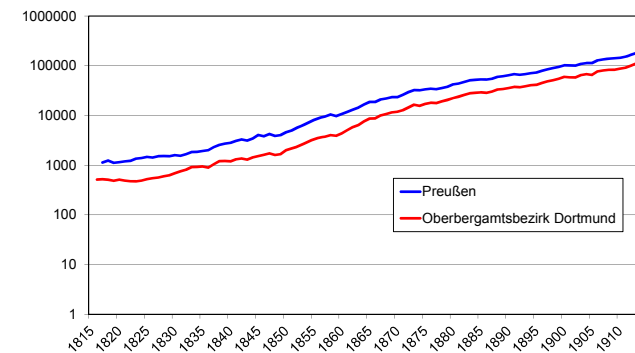
- Jährliche Wachstumsrate der Steinkohleförderung
 - 1820–1849 4,3%
 - 1850–1879 um 7,3% (Hinweis auf Take off-Phase der deutschen Industrialisierung)
 - 1880–1913 um 4,4%

30.10.2018

Montanindustrie

11

Kohleförderung in Preußen 1817–1913 (in 1000 t)



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

30.10.2018

Montanindustrie

12

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

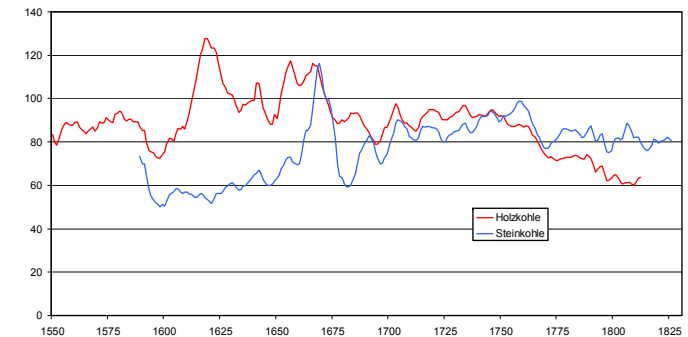
- ◆ Entwicklung der realen Kohlenpreise
 - ◆ Anstieg des realen Preises von Holzkohle vom 16. zum 17. Jh. um mindestens 1/3 d. h. Energieknappheit war noch deutlich ausgeprägter als (malthusianische) Nahrungsmittelknappheit
 - ◆ gegen Ende des 17. Jh. glich sich der reale Preis von Steinkohle an denjenigen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

30.10.2018

Montanindustrie

13

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



Quelle: <http://www.iisg.nl/hpw/data.php#europe>

30.10.2018

Montanindustrie

14

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

- ◆ Im englischen Kohlebergbau stieg die Produktivität 1700–1870 bestenfalls marginal
- ◆ Auch im deutschen Kohlebergbau 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 Zuganlagen 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

30.10.2018

Montanindustrie

15

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
 - ◆ Wegen der Umstellung der Eisenverarbeitung auf Steinkohle und ihres Wachstums
 - ◆ Verbreitung von Dampfmaschinen in der Industrie und im Verkehr

30.10.2018

Montanindustrie

16

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)
 - ❖ ... als Folge sinkender Transportkosten
 - ❖ ... die dazu führten, dass reale Verbraucherpreise von Steinkohle trotz ungefähr konstanter Herstellungspreise leicht sanken

30.10.2018

Montanindustrie

17

Entwicklung der Montanindustrie auf dem europäischen Festland 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 1870/1 wurde auch der saarländisch-lothringische Komplex bedeutsam
Saarland Kohle, Lothringen phosphorhaltiges Eisen (Minette)
Anteil an der deutschen Roheisenproduktion 1880 20,3%, 1913 29,4%

30.10.2018

Montanindustrie

18

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 waldreichen Zonen in die Nähe der Kohlezechen

Beispiel Verlagerung der Hüttenindustrie Siegerland — Ruhrgebiet

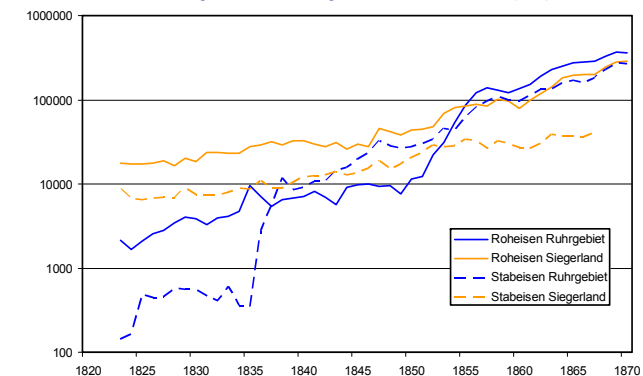
- ❖ ab 1840er Jahren Aufschwung im östlichen Ruhrgebiet
Kohleneisenstein-Vorkommen an der Oberfläche
- ❖ In den nachfolgenden Jahrzehnten Verlagerung ins westliche und nördliche Ruhrgebiet
 - ❖ mit zwar tieferen, aber ergiebigeren Kohleflözen
 - ❖ sowie besserer Verkehrsanbindung (Rhein)

30.10.2018

Montanindustrie

19

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.

30.10.2018

Montanindustrie

20

Der Rückstand des Kontinents 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, Puddelöfen und Walzverfahren?

30.10.2018

Montanindustrie

21

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 Werthehorizont
 - 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.

30.10.2018

Montanindustrie

22

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 Holzkohlerohreisen 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 Puddelroheisen (und später Stahl)

30.10.2018

Montanindustrie

23