

Die Dampfmaschine

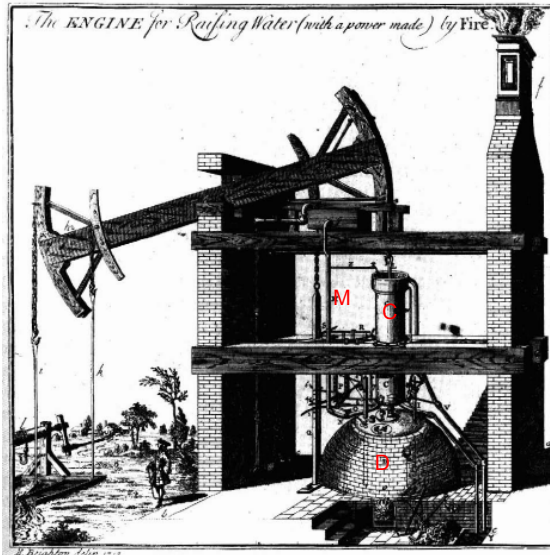
ihre Anwendungen und die Maschinenbauindustrie

Newcomens atmosphärische Dampfmaschine

- ❖ Im 17. Jh. zahlreiche Versuche zur Konstruktion einer Dampfmaschine durch Naturwissenschaftler
- ❖ Durchbruch durch Thomas Newcomen
 - ❖ Eisenhändler und Schmied in Südwestengland
 - ❖ 1712 setzte er erstmals eine Dampfmaschine als Pumpe in einer Kohlengrube ein
 - ❖ Konstruktionsprinzip
 - ❖ oben offener Zylinder mit Kolben
 - ❖ durch automatisch wechselndes Einströmen von Dampf bzw. Kühlwasser in den Hohlraum unter dem Kolben entsteht eine Auf- und Abwärtsbewegung
- ❖ Eigenschaften und Verbreitung
 - ❖ Nachteile
 - ❖ keine gleichmäßige Bewegung, deshalb nur in Anwendung für Pumpen geeignet
 - ❖ Wirkungsgrad wegen abwechselnder Erhitzung und Abkühlung des Zylinders gering
 - ❖ Beides für Einsatz zum Betrieb von Pumpen in Kohlenzechen kein Hindernis
 - ❖ Noch in den 1780er und 1790er Jahren wurden ähnlich viele Newcomen- wie Watt-Dampfmaschinen gebaut (je 4–500)
 - ❖ 1800 waren in Großbritannien ca. doppelt so viele Newcomen- wie Watt-Dampfmaschinen installiert (ca. 1000 vs. 500)

Atmosphärische Newcomen-Dampfmaschine

Kupferstich von 1717



Der Aufwärtsgang des Kolbens (in oben geöffnetem Zylinder C) wird durch die Last des Pumpengestänges und durch den bei geöffnetem Dampfhahn vom Kessel (D) in den Zylinder (C) strömenden Dampf bewirkt. Hat der Kolben die höchste Stellung erreicht, wird der Dampfhahn geschlossen und der Kühlwasserhahn (Zuleitung M) geöffnet, so dass der Dampf im Zylinder kondensiert. Dadurch entsteht unterhalb des Kolbens ein Vakuum, und der Luftdruck darüber drückt den Kolben in die Ausgangsposition nieder.

Quelle: Akos Paulinyi / Ulrich Troitzsch, *Mechanisierung und Maschinisierung: 1600 bis 1840 (=Propyläen-Technikgeschichte 4; Berlin: Ullstein, 1997), S. 59.*

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

3

Die Niederdruck-Dampfmaschine von Watt I Technische Aspekte

1769–84 mehrere Patente für folgende Innovationen:

- (1) Trennung des Kondensators vom Zylinder, der von Dampfmantel umgeben und auf hoher Temperatur gehalten wird
- (2) Der Zylinder wird geschlossen und Kolben in beiden Bewegungsrichtungen von Dampf bzw. Vakuum angetrieben
kontinuierliche Arbeitsleistung
- (3) Übertragung der Kolbenbewegung auf einen Radantrieb.

Effekt dieser Innovationen waren

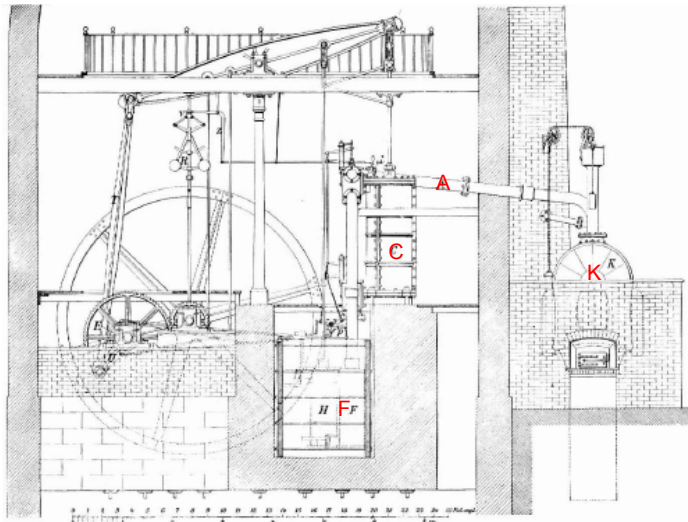
- Verbesserung des Wirkungsgrads gegenüber Newcomens Dampfmaschine
- angesichts der Kraftübertragung auf eine Drehbewegung die Möglichkeit der Anwendung außerhalb des Pumpens, insbesondere
 - in der Baumwollspinnerei
 - in der Eisenverarbeitung (Gebläse von Hochöfen, Walzwerke)

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

4

Watt'sche Dampfmaschine, 1800–1810 technische Zeichnung aufgrund von Unterlagen von 1808

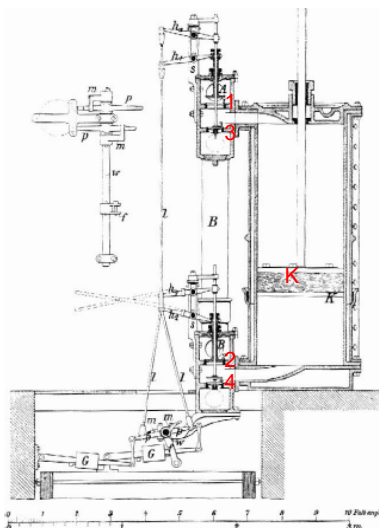


06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

5

Watt'sche Dampfmaschine, 1800–1810 Detail Zylinder



Der Dampf bewegt sich vom Dampfkessel (K) über das Dampfrohr (A) in den Zylinder (C) mit dem Kolben. Über die seitlich angebrachte Röhre fließt er in den Kondensator (F). Die zweite Figur zeigt einen Querschnitt durch den Zylinder mit dem Kolben sowie den Steuerungsmechanismus der Ventile. Durch Ventil 4 fließt Dampf in den Kondensator, dadurch entsteht unterhalb des Kolbens (K) ein Vakuum, der Kolben bewegt sich nach unten, und durch Ventil 1 strömt neuer Dampf in den Bereich oberhalb des Kolbens. Für die Rückwärtsbewegung des Kolbens werden Ventile 2 für den Dampfeinlass und 3 für den Abzug zum Kondensator geöffnet.

Quelle: Conrad Matschoss, *Geschichte der Dampfmaschine: ihre kulturelle Bedeutung, technische Entwicklung und ihre großen Männer* (Berlin: Springer, 1901), S. 83 f.

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

6

Die Niederdruck-Dampfmaschine von Watt II

Organisatorische Aspekte

Investition in Technologieproduktion

- Frühes Beispiel einer Investition in einen Erfinder: James Watt war Feinmechaniker und Betreuer von Modellen an der Uni Glasgow. Seine Experimente führen ihn in Verschuldung, und Mathew Boulton, ein Unternehmer der Metallwarenbranche aus Birmingham, wurde sein Geldgeber (Vertrag mit Watt: Jahresgehalt und 1/3 Gewinnbeteiligung).
- Ab 1777 Patenteinnahmen aus 1/3 der Brennkostenersparnisse

Anfänge des Maschinenbaus

- In der ersten Phase wurden an Kunden nur Bauanleitungen und kritische Teile geliefert
- Vor dem Hintergrund des baldigen Ablaufs von Patentrechten errichteten Boulton & Watt 1795/7 in Soho bei Birmingham eine Maschinenfabrik
 - d.h. nicht mehr technisches Wissen, sondern technisch hochstehende Geräte wurden verkauft
- Die Präzisionserfordernisse des Dampfmaschinenbaus gaben generell wichtige Anstöße für die Maschinenindustrie

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

7

Hochdruckdampfmaschinen

Konstruktion nach 1800, wichtiger Konstrukteur Richard Trevithick

Eigenschaften

- Nicht mehr der durch Kondensation erzeugte Unterdruck lieferte die entscheidende Arbeitsenergie ...
- ... sondern der Überdruck des erhitzten Dampfs
- Die Betriebskosten waren lange höher als diejenigen von Watt'schen Maschinen

Wichtiges Potential: „Miniaturisierung“

- Ihre Weiterentwicklung erlaubte im Vergleich zu Watt'schen Niederdruck-Maschinen deutlich kleinere Größen
- wichtige Voraussetzung für Anwendungen in Eisenbahn und Dampfschifffahrt
- Bis Mitte 19. Jh. zahlreiche Verbesserungen insbesondere durch präzisere Teile und Steuerung

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

8

Bedeutung der Dampfmaschine für die Industrielle Revolution in England

- 1800 spielte die Dampfmaschine in Großbritannien erst eine geringe Rolle bei der Kontrolle von Energiekosten
geschätzte Einsparung von höchstens 0,2% des Volkseinkommens
- Erst in den 1830er/1840er Jahren stellte die Dampfmaschine eine ausgereifte Kraftmaschine dar, die breit in Textil- bzw. Eisenverarbeitung, Transport und anderen Branchen eingesetzt werden konnte

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

9

Entstehung der Eisenbahn in England

- ... im Kohlebergbau
bis 1800 Bau von rd. 480 km Schienenwegen zum Transport von Kohle von den Zechen zu Flüssen und Häfen
- Anfänge der Lokomotivenkonstruktion und der Eisenbahntechnik
 - 1801–1808 wenig erfolgreiche Konstruktion erster Dampflokomotiven durch Trevithick
 - In den 1810er/1820er Jahren Weiterentwicklung v. a. in den Kohlegruben von Nordostengland, insbes. durch George Stephenson (Grubenmechaniker)
 - Radführung durch Spurenkränze
 - aus Puddeleisen gewalzte Schienen (vorher aus häufig brechendem Gusseisen)
 - »Miniaturisierung« der Dampfmaschine (insbes. Röhrenkessel zur Vergrößerung der Heizfläche)
- Anfänge des Eisenbahnbaus
 - 1830 Eröffnung der Strecke Liverpool-Manchester als erste ausschließlich mit Dampfmaschinentraktion betriebene Bahn
 - In 1830er und 1840er Jahren »Eisenbahnfieber«
1840 bestanden 1400 km, 1850 10600 km
 - Der Bau und Betrieb von Eisenbahnen stellte den Staat als ökonomische Institution vor neue Herausforderungen
Enteignung, Sicherheit, Normierung (auf dem Kontinent auch staatliche Investitionen)

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

10

Der Eisenbahnbau auf dem Kontinent

- Die ersten Strecken wurden meist noch in den 1830er Jahren errichtet
 - Frankreich 1832, Belgien 1835 (früh dominanter Staatsbesitz), Niederlande 1838
 - Deutschland 1835 Nürnberg-Fürth (6 km), 1839 Leipzig-Dresden (115 km)

- Bau der Hauptlinien im 3. Viertel des 19. Jh.

Streckennetze in 1000 km

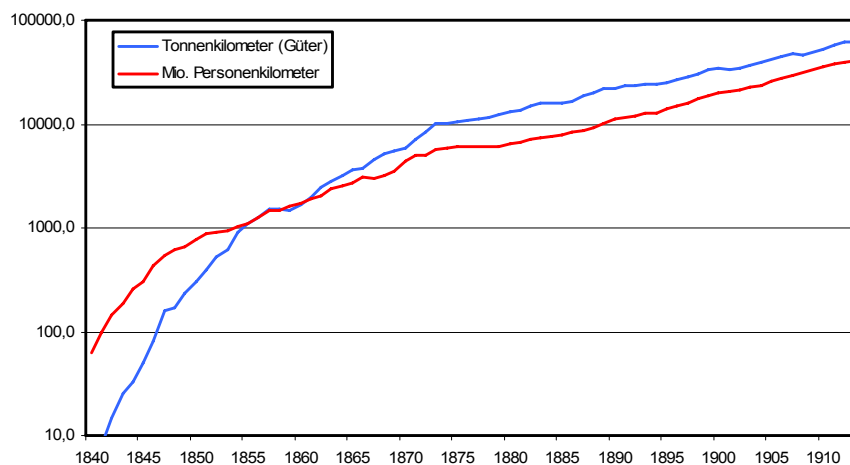
	1850	1880
Belgien	0,8	4,1
Deutschland	6,0	33,8
Frankreich	3,1	26,2
Großbritannien	10,6	28,8
Russland	0,6	23,8

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

11

Die Transportleistung des Eisenbahnsektors Deutschland, 1840–1913



Quelle: Fremdling, Rainer: *Eisenbahnen und deutsches Wirtschaftswachstum 1840–1879* (Dortmund: Ges. f. westfälische Wirtschaftsgeschichte, 1975; 2. erw. Auflage 1985), S. 17–19.

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

12

Eisenbahnbau als Leitsektor in Deutschland

◆ Hohes Wachstum

- ◆ Jährliche Wachstumsrate 1850–1879: t-km 15,1%, Personen-km 7,4%
- ◆ Zum Vergleich: Kohleförderung (7,5%), Roheisenproduktion (8,4%)
Baumwollgarnproduktion (7,3%)

◆ Migration von Produktionsfaktoren: Kapitalakkumulation

Anteil des Eisenbahnsektors an den gesamten Nettoinvestitionen

- ◆ 1851/4 11,9%, 1875/9 25,8%
- ◆ der Anteil des Eisenbahnbaus an den gewerblichen Investitionen betrug im ganzen Zeitraum über 50%

◆ Steigende Produktivität dank Ausnutzung von Skalenerträgen

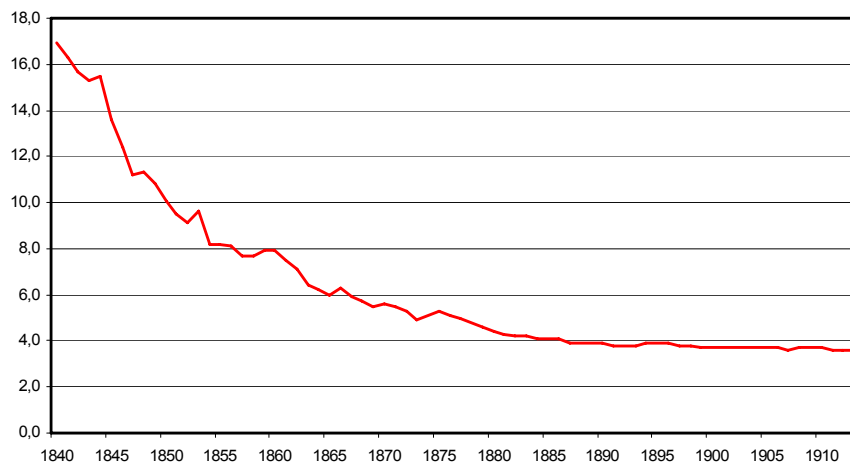
- ◆ Definition: Erhöhung der Durchschnittsproduktivität bei Ausweitung der Produktion, möglich durch abnehmendes Gewicht von Fixkosten
- ◆ Argument: Mit der Ausweitung des Verkehrs wurde die nicht-teilbare Infrastruktur (Unterbau, Schienen) besser ausgenutzt
- ◆ Evidenz: Ab den 1850er Jahren stieg das Verhältnis zwischen PS-Leistung aller Loks und Länge des Streckennetzes in Preußen von 25,2 (1850) auf 94,2 (1875)

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

13

Mittlere Eisenbahntarife, Deutschland 1840–1913 (Pfennig pro Tonnenkilometer)



Quelle: Fremdling, Rainer: *Eisenbahnen und deutsches Wirtschaftswachstum 1840–1879* (Dortmund: Ges. f. westfälische Wirtschaftsgeschichte, 1975; 2. erw. Auflage 1985), S. 18, 57.

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

14

Koppelungseffekte des Eisenbahnbaus

❖ Vorwärtskoppelungseffekte auf der Basis von Tarifsenkungen

- ❖ Produktivitätssteigerungen des Eisenbahnbetriebs führten zu starken Tarifsenkungen
 - Reduktion des mittleren Transportpreises pro t auf deutschen Eisenbahnen 1840–1879 um 73%
- ❖ Da sich der Verkehr von der Straße auf die Schiene verlagerte, sanken Transportkosten noch deutlich stärker
- ❖ Folge: Bildung von Märkten für Volumengüter
 - ❖ auf preußischen Eisenbahnen stieg der Anteil transportierter Kohle von 1% 1850 auf ca. 30% 1875 → Entstehung eines Absatzmarktes für deutsche Kohle
 - ❖ Bildung nationaler und internationaler Märkte für Getreide → Erleichterung der regionalen Spezialisierung zwischen agrarischen Zonen und Gewerbestandorten

❖ Rückwärtskoppelungseffekte

- ❖ Maschinenindustrie
 - ❖ Bereits ab 1845 überstieg in Preußen der Anteil der von inländischen Produzenten gelieferten neuen Loks 50%; in den frühen 1850er Jahren war die Importsubstitution bereits weitgehend abgeschlossen
 - ❖ Anteil der Loks an der gesamten in Preußen installierten Dampfmaschinen-PS-Zahl: 1840 2,8%, 1855 55,0%, 1875 74,0%
- ❖ Eisenverarbeitung
 - In den 1870er Jahren wurde vermutlich gegen die Hälfte der preußischen Roheisenproduktion für den Eisenbahnsektor verarbeitet

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

15

Bedeutung des Eisenbahnbaus in der Industrialisierung

❖ In Deutschland

- ❖ ... war der Eisenbahnbau war wichtigster Leitsektor der frühen Industrialisierung
- ❖ Der Überwindung der in Deutschland als gebirgigem Binnenland besonders hohen Transporthindernisse kam für Marktintegration im Vergleich zu anderen Ländern höhere Bedeutung zu

❖ USA und England: *social savings*-Kontroverse

- ❖ »klimetrische« Studien von Fogel zu den »social savings« (gesamtwirtschaftliche Ersparnis) der Eisenbahn in den USA
 - ❖ Definition: Differenz zwischen den effektiven Transportkosten u. den Kosten, die bei Nichtexistenz der Eisenbahn angefallen wären (»counterfactual history«)
 - ❖ Konkret vergleicht Fogel Transportpreise 1890 von Bahn und Schiff für Chicago-New York (Haupttroute für den Export von Getreide) und schätzt die zusätzlichen Ausgaben, die ohne die Existenz der Eisenbahn entstanden wäre
 - ❖ Ergebnis: gesamtwirtschaftlich Ersparnis durch Eisenbahn für 1890 von nur 4,7% des Volkseinkommens
- in Ländern mit guten Wasserwegen war der Einfluss der Eisenbahn auf die wirtschaftliche Entwicklung begrenzt

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

16

Die Eisenbahnreise als kulturelles Phänomen

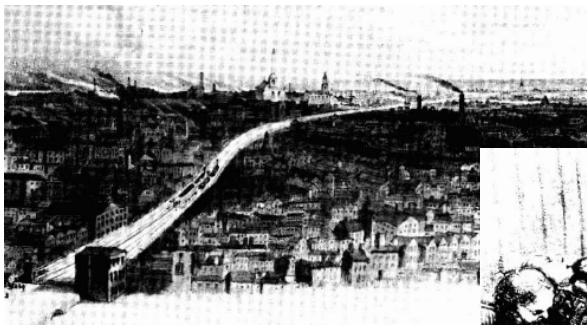
- ❖ Fortbewegungstechnik, bei der ...
 - ❖ ... Bewegung und Geschwindigkeit nicht mehr selbst erlebt und verspürt werden
 - ❖ ... das Fortbewegungsmittel (die Dampfmaschine) nicht mehr intuitiv verstanden
 - ❖ ... und nachvollziehbare Gefährdung durch ein schwer abschätzbares Risiko ersetzt wurde
 - ❖ neue Gefühle der Naturbeherrschung ...
 - »Überwindung« von Distanzen
 - ❖ ... aber auch der Entfremdung von Raum und Körper
 - ❖ neue Repräsentationsformen (u.a. Bahnhöfe)
- In der Industrialisierung von Zeit, Raum und Körper spielte somit die Eisenbahn eine wichtige Rolle

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

17

Die frühe Eisenbahnreise im Bild



Oben: Die Eisenbahntrasse als Schnitt durch die Stadt

Rechts: Karrikatur von Daumier, um 1840



Quelle: Schivelbusch, Wolfgang: *Geschichte der Eisenbahnreise: zur Industrialisierung von Raum und Zeit im 19. Jahrhundert* (München: Hanser, 1977), Bildtafeln.

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

18

Maschinenindustrie

Entwicklung und räumliche Verbreitung

Entstehung ...

- überwiegend aus technologisch führenden Unternehmen der Leitsektoren, die
 - ihre Maschinen selber warten und herstellen mussten und in einem zweiten Schritt
 - auch an andere Unternehmen lieferten

Hauptgruppen von Unternehmen

- Textilmaschinenbau
 - noch Mitte 19. Jh. war die Maschinenindustrie in Großbritannien und in Deutschland in Textilregionen konzentriert:
 - England 1851 27% in Lancashire, 28% im West Riding (Yorkshire; Wolle)
 - Deutschland: Fabrikentabelle 1846 zeigt Schwerpunkte in Sachsen (Zwickau 135, Rest 97), Regierungsbezirke Aachen (18; Einfluß aus Belgien), Arnsberg (13), Berlin (34)
 - Dampfmaschinen für die Montanindustrie
 - schlesische Hütten zählten ab den 1790er Jahren zu den ersten Erbauern von Dampfmaschinen
 - weitere Bsp.: Harkort in Wetter, Gutehoffnungshütte)
- Lokomotivenbau ab den 1840er Jahren

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

19

Unternehmensorganisation und technologische Entwicklung in der Maschinenindustrie

Unternehmensorganisation

- Der Arbeitsfluss blieb bis ins 20. Jh. handwerklich organisiert
 - allerdings bei Einsatz von Dampfkraft
- Die Unternehmen waren bis Ende 19. Jh. in der Regel kleiner als in der Montanindustrie
- trotz früher Bestrebungen zur Vereinheitlichung von Teilen breite Produktvielfalt
- hoher Anteil qualifizierter Arbeiter (Dreher, Schlosser)

Hauptinnovation um 1800: Drehbank

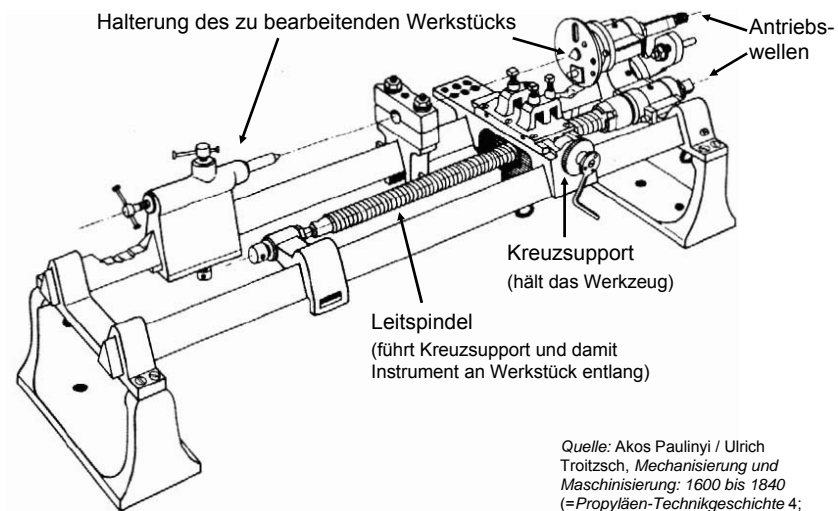
- Drehbank = Arbeitsmaschine für das mechanische Drehen, Bohren und Hobeln von Eisen
- eigentliche Erfindung Drehbank von Henry Maudslay (1797)
 - Drehbank, mit der sowohl Werkstück als auch Werkzeug maschinell geführt werden
- Grundlage für die Herstellung exakte gleichförmiger Werkstücke
 - zentrale Voraussetzung für Hochdruckdampfmaschine und die ab den 1820er Jahren entwickelten Spinnmaschinen

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

20

Die Drehbank von Maudsley Konstruktion

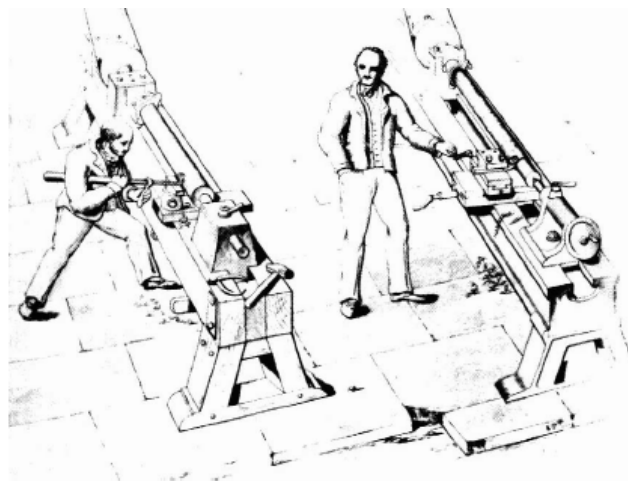


06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

21

Die Drehbank von Maudsley Anwendung im Vergleich mit Drehbank ohne beweglichen Kreuzsupport



Quelle: Akos Paulinyi / Ulrich Troitzsch, *Mechanisierung und Maschinisierung: 1600 bis 1840* (=Propyläen-Technikgeschichte 4; Berlin: Ullstein, 1997), S. 331.

06.05.2008

Dampfmaschine, Anwendungen und Maschinenbauindustrie

22