

U. PFISTER

Industrialisierung im ausgehenden 18. und 19. Jahrhundert

2. November 2021

Die Dampfmaschine

ihre Anwendungen und die Maschinenbauindustrie

Gliederung

- ◆ Die Entwicklung der Dampfmaschine
 - ◆ Die atmosphärische Dampfmaschine von Newcomen
 - ◆ Die Niederdruck-Dampfmaschine von Watt
 - ◆ Die Entwicklung von Hochdruckdampfmaschinen

- ◆ Der Eisenbahnbau

- ◆ Die Maschinenbauindustrie

Die atmosphärische Dampfmaschine von Newcomen

- Im 17. Jh. zahlreiche Versuche zur Konstruktion einer Dampfmaschine durch Naturwissenschaftler
- Durchbruch von 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)

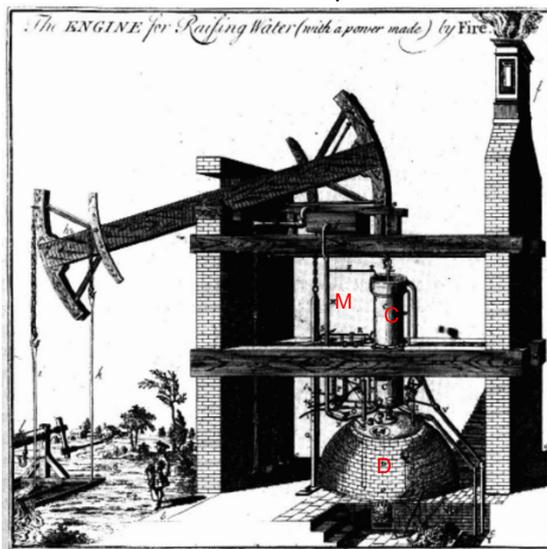
02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

3

Atmosphärische Newcomen-Dampfmaschine

Kupferstich von 1717



Der Aufwärtsgang des Kolbens (in oben geöffnetem Zylinder C) wird durch die Last des Pumpen­gestänges (links) 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: Paulinyi, Akos und Ulrich Troitzsch, Mechanisierung und Maschinerisierung: 1600 bis 1840 (=Propyläen-Technikgeschichte 4), Berlin: Ullstein, 1997, S. 59.

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

4

Die Niederdruck-Dampfmaschine von Watt I Technische Aspekte

1769–84 mehrere Patente für folgende Innovationen:

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

Effekte dieser Innovationen waren:

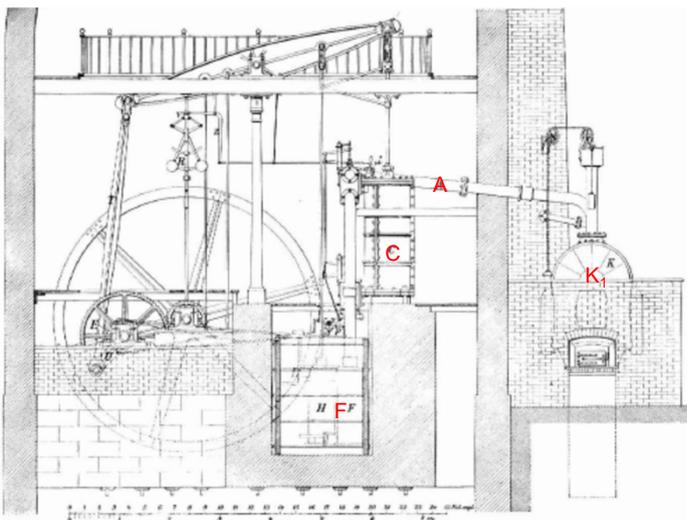
- ◆ Verbesserung des Wirkungsgrads gegenüber Newcomens Dampfmaschine
- ◆ angesichts der Kraftübertragung auf eine Drehbewegung Möglichkeit der Anwendung außerhalb des Pumpens, insbesondere ...
 - ◆ in der Baumwollspinnerei
 - ◆ in der Eisenverarbeitung (Gebläse von Hochöfen, Walzwerke)

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

5

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

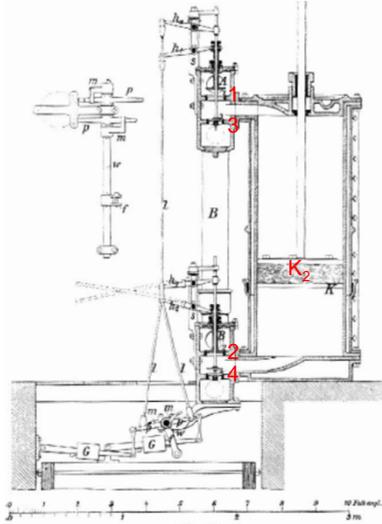


02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

6

Watt'sche Dampfmaschine, 1800–1810 Detail Zylinder



Der Dampf bewegt sich vom Dampfkessel (K_1) über das Dampfrohr (A) in den Zylinder (C) mit dem Kolben (K_2). 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_2) 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: Matschoss, Conrad: Geschichte der Dampfmaschine: ihre kulturelle Bedeutung, technische Entwicklung und ihre großen Männer, Berlin: Springer, 1901, S. 83 f.

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

7

Die Niederdruck-Dampfmaschine von Watt II Organisatorische Aspekte

Investition in Forschung und Entwicklung

- ◆ Frühes Beispiel der gezielten Investition in Forschung und Entwicklung: 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: Letzterer erhielt ein Jahresgehalt und 1/3 Gewinnbeteiligung.

- ◆ Ab 1777 Patenteinnahmen aus 1/3 der Brennkostensparnisse

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 1795/97 in Soho bei Birmingham eine Maschinenfabrik
 - d.h. nicht mehr technisches Wissen, sondern technisch hochstehende Geräte wurden verkauft
- ◆ Die Präzisionserfordernisse des Dampfmaschinenbaus gaben wichtige Anstöße für die Entwicklung der Maschinenbauindustrie

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

8

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 (anfänglich 3–4 bar)
 - ◆ 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 Dampfschiffahrt
 - ◆ Bis Mitte 19. Jh. zahlreiche Verbesserungen insbesondere durch präzisere Teile und Steuerung

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

9

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

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

10

Der Eisenbahnbau

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

11

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 Lokomotivkonstruktion 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 10.600 km Eisenbahnstrecken
 - ◆ Bau und Betrieb von Eisenbahnen stellte den Staat vor neue Herausforderungen
Enteignung, Sicherheit, Normierung; auf dem Kontinent auch staatliche Investitionen

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

12

Der Eisenbahnbau auf dem Kontinent

- ◆ Die ersten Strecken wurden meist noch in den 1830er Jahren errichtet
 - ◆ Frankreich 1832, Belgien 1835, 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

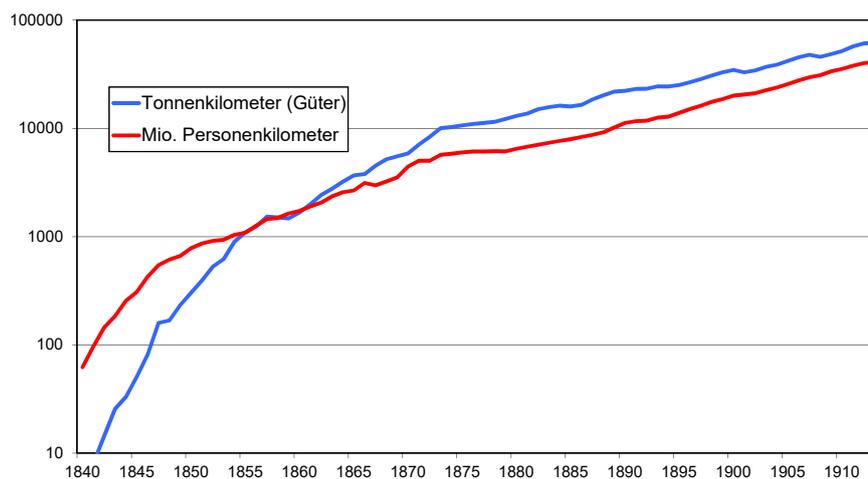
	1850	1880
Belgien	0,8	4,1
Deutschland	6,0	33,8
Frankreich	3,1	26,2
Großbritannien	10,6	28,8
Russland	0,6	23,8

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

13

Die Transportleistung des Eisenbahnsektors Deutschland, 1840–1913



Quelle: Fremdling, Rainer: Eisenbahnen und deutsches Wirtschaftswachstum 1840–1879, Dortmund: Gesellschaft für westfälische Wirtschaftsgeschichte, 1985², S. 17–19.

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

14

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 Ausnützung von Skalenerträgen

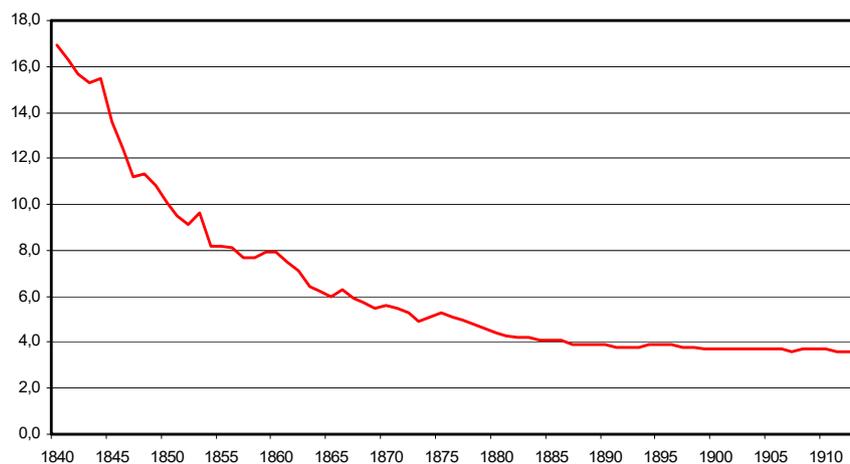
- ◆ Definition: Erhöhung der Durchschnittsproduktivität bei Ausweitung der Produktion, unter anderem möglich durch abnehmendes Gewicht von Fixkosten
- ◆ Argument: Mit der Ausweitung des Verkehrs wurde die nicht-teilbare Infrastruktur (Unterbau, Schienen) besser ausgenützt
- ◆ Evidenz: Ab den 1850er Jahren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

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

15

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



Quelle: Fremdling, Rainer: Eisenbahnen und deutsches Wirtschaftswachstum 1840–1879, Dortmund: Gesellschaft für westfälische Wirtschaftsgeschichte, 1985², S. 18, 57.

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

16

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
 - ◆ Maschinenbauindustrie
 - ◆ 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

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

17

Bedeutung des Eisenbahnbaus in der Industrialisierung

- ◆ In Deutschland
 - ◆ ... war der Eisenbahnbau 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 (1964, 1979) zu den »social savings« (gesamtwirtschaftliche Ersparnis) der Eisenbahn in den USA
 - ◆ Definition: Differenz zwischen den effektiven Transportkosten und den Kosten, die bei Verwendung der nächstbesten Transportmöglichkeit ohne Eisenbahn angefallen wären (»counterfactual history«)
 - ◆ Konkret vergleicht Fogel Transportpreise 1890 von Bahn und Schiff für Chicago-New York (Hauptroute für den Export von Getreide) und schätzt die zusätzlichen Ausgaben, die ohne die Existenz der Eisenbahn entstanden wäre
 - ◆ Ergebnis: gesamtwirtschaftliche 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

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

18

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 abschätzbare Risiko ersetzt wurde
 - ◆ neue Gefühle der Naturbeherrschung ...
 - »Überwindung« von Distanzen
 - ◆ ... aber auch der Entfremdung von Raum und Körper
 - ◆ neue Repräsentationsbauten (u. a. Bahnhöfe)
 - ◆ Beitrag zur Vereinheitlichung der Zeitbestimmung
 - ◆ Konsistente Fahrpläne erforderten einheitliche Zeitbestimmung
 - ◆ Für Eisenbahnen in Preußen 1848 Berliner Zeit maßgeblich, USA 1883 Zeitzonen
- In der Industrialisierung von Zeit, Raum und Körper spielte somit die Eisenbahn eine wichtige Rolle

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

19

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.

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

20

Die Maschinenbauindustrie

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

21

Entwicklung und räumliche Verbreitung der Maschinenbauindustrie

◆ Entstehung ...

überwiegend aus technologisch führenden Unternehmen der Leitsektoren, die

- ◆ ihre Maschinen selber warten und herstellen mussten und in einem zweiten Schritt
- ◆ Maschinen zunehmend auch an andere Unternehmen lieferten

◆ Hauptgruppen von Unternehmen

◆ Textilmaschinenbau

noch Mitte 19. Jh. war die Maschinenbauindustrie 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), Arnberg (13), Berlin (34)

◆ Dampfmaschinen für die Montanindustrie

- ◆ schlesische Hütten zählten ab den 1790er Jahren zu den ersten Erbauern von Dampfmaschinen
- ◆ weitere Beispiele: Harkort in Wetter, Gutehoffnungshütte (Oberhausen, heute Centro)

◆ Lokomotivbau ab den 1840er Jahren

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

22

Unternehmensorganisation und technologische Entwicklung in der Maschinenbauindustrie

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

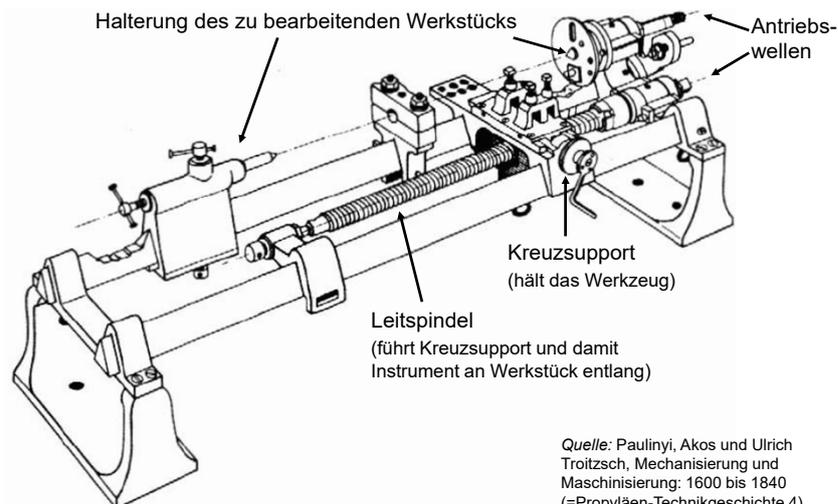
- Drehbank = Arbeitsmaschine für das mechanische Drehen, Bohren und Hobeln von
Werkstücken aus Eisen
- eigentliche Haupterfindung Drehbank von Henry Maudslay (1797)
Drehbank, mit der sowohl Werkstück als auch Werkzeug maschinell geführt werden
- Grundlage für die Herstellung exakt gleichförmiger Werkstücke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

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

23

Die Drehbank von Maudslay Konstruktion



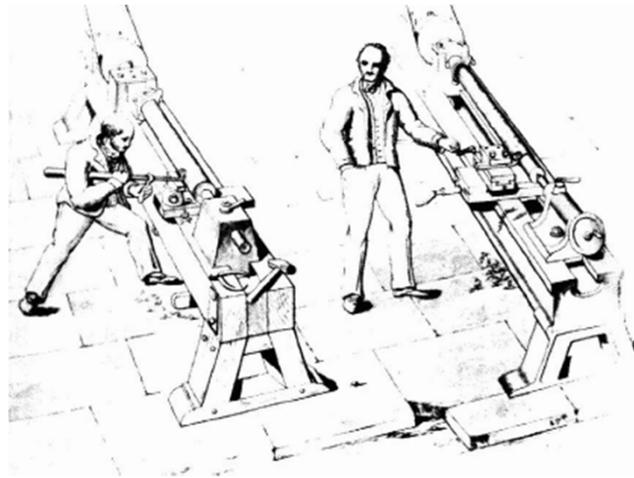
02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

24

Die Drehbank von Maudsley

Anwendung im Vergleich mit Drehbank ohne beweglichen Kreuzsupport



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

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

25

Aufstieg Deutschlands zu einem wichtigen Exporteur von Maschinen

- ◆ Rasche Zunahme der Exporte von Maschinen ab 1890er Jahren
Anteil an den deutschen Exporten 1880 1,3%, 1893 2%, 1913 7%
- ◆ 1913 war Deutschland knapp vor Großbritannien und USA der wichtigste Exporteur von Maschinen
 - ◆ Deutschland ist auch heute einer der weltweit wichtigsten Maschinenbauer und Maschinenexporteur → das heutige Muster der Einbettung Deutschlands in die Weltwirtschaft entstand somit um 1900
- ◆ Technische Kreativität war Hauptgrund für den Konkurrenzvorteil der deutschen Maschinenbauindustrie
 - ◆ Konkreter Nachweis: Vergleich von 32 Zweigen der Maschinenbauindustrie bezogen auf Export/Import-Verhältnis und Bestand werthaltiger Patente (Labuske/Streb 2008)
 - ◆ Grundlagen
 - ◆ gutes technisches Ausbildungswesen in Deutschland (u. a. THs, 1860er/1870er Jahre)
 - ◆ Eventuell wirkte das einheitliche Patentgesetz (1878) innovationsfördernd

02.11.2021

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

26