

Die Dampfmaschine

ihre Anwendungen und die Maschinenbauindustrie

Einleitung

Stellung der Dampfmaschine in der industriellen Revolution

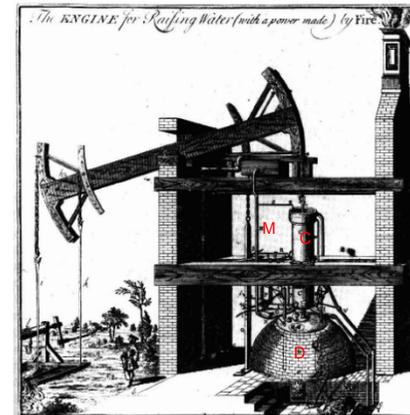
- ❖ Schon vor der Industrialisierung existierten in der Produktion gewerblicher Güter mechanische Verfahren, die auf Mühlen als Kraftmaschinen aufbauten
 - ❖ Gebläse von Hochöfen
 - ❖ Hämmer in der Eisenverarbeitung
 - ❖ Walken von Wolltuchen
- ❖ Die Dampfmaschine ermöglichte eine Ausweitung mechanischer Verfahren in der gewerblichen Produktion
 - ❖ Textilspinnerei, -weberei
 - ❖ Walzwerke in der Eisenverarbeitung
- ❖ Basis für eine Revolution des Transportwesens
 - ❖ Eisenbahn
 - ❖ Dampfschiffahrt

Newcomens atmosphärische Dampfmaschine

- ❖ Im 17. Jh. zahlreiche Versuche zur Konstruktion einer Dampfmaschine durch Naturwissenschaftler
- ❖ Die atmosphärische Dampfmaschine 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 als Kraftmaschine 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 Dampfahnh vom Kessel (D) in den Zylinder (C) strömenden Dampf bewirkt. Hat der Kolben die höchste Stellung erreicht, wird der Dampfahnh 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 Maschinisierung: 1600 bis 1840 (=Propyläen-Technikgeschichte 4), Berlin: Ullstein, 1997, S. 59.

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 der Kolben wird in beiden Bewegungsrichtungen von Dampf bzw. Vakuum angetrieben.
kontinuierliche Arbeitsleistung
- (3) Übertragung der Kolbenbewegung auf einen Radantrieb.

Effekt dieser Innovationen waren ...

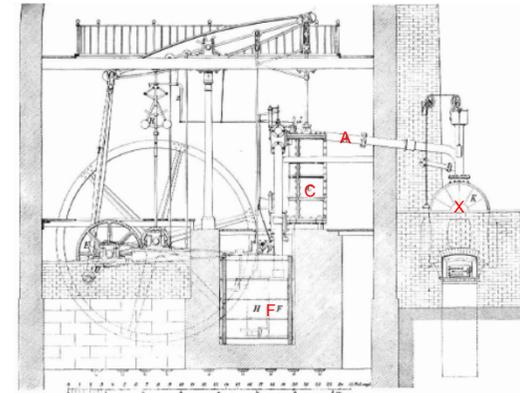
- ❖ Verbesserung des Wirkungsgrads gegenüber Newcomens Dampfmaschine
- ❖ angesichts der Kraftübertragung auf eine Drehbewegung die Möglichkeit der Anwendung außerhalb des Pumpens, insbesondere
 - ❖ in der Baumwollspinnerei
 - ❖ in der Eisenverarbeitung (Gebläse von Hochöfen, Walzwerke)

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

5

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

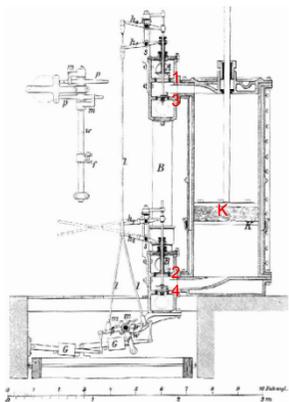


06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

6

Watt'sche Dampfmaschine, 1800–1810 Detail Zylinder



Der Dampf bewegt sich vom Dampfkessel (X) über das Dampfröhr (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 vom Zylinder 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: Matschoss, Conrad: Geschichte der Dampfmaschine: ihre kulturelle Bedeutung, technische Entwicklung und ihre großen Männer, Berlin: Springer, 1901, S. 83 f.

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

7

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 wichtige Anstöße für die Entwicklung der Maschinenbauindustrie.

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

8

Hochdruckdampfmaschinen

- ❖ Konstruktion nach 1800, wichtiger Konstrukteur Richard Trevithick
- ❖ Eigenschaften
 - ❖ Nicht mehr der durch Kondensation erzeugte Unterdruck lieferte die entscheidende Kraft ...
 - ❖ ... sondern der Überdruck des erhitzten Dampfes
 - ❖ 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

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

9

Bedeutung der Dampfmaschine für die Industrielle Revolution in England

- ❖ 1800 spielte die Dampfmaschine in Großbritannien erst eine geringe Rolle im Angebot von Antriebskraft
 - geschätzte Einsparung von höchstens 0,2% des Volkseinkommens
- ❖ Erst in den 1830er/1840er Jahren stellte die Dampfmaschine eine ausgereifte Kraftmaschine dar, die für viele Anwendungen in Textil- bzw. Eisenverarbeitung, Transport sowie anderen Branchen eingesetzt werden konnte.

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

10

Entstehung der Eisenbahn in England

- ❖ Vorläufer 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 Puddelleisen 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 Eisenbahnstrecken
 - ❖ Der Bau und Betrieb von Eisenbahnen stellte den Staat als ökonomische Institution vor neue Herausforderungen
 - Enteignung, Sicherheit, Normierung; auf dem Kontinent auch staatliche Investitionen

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

11

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.

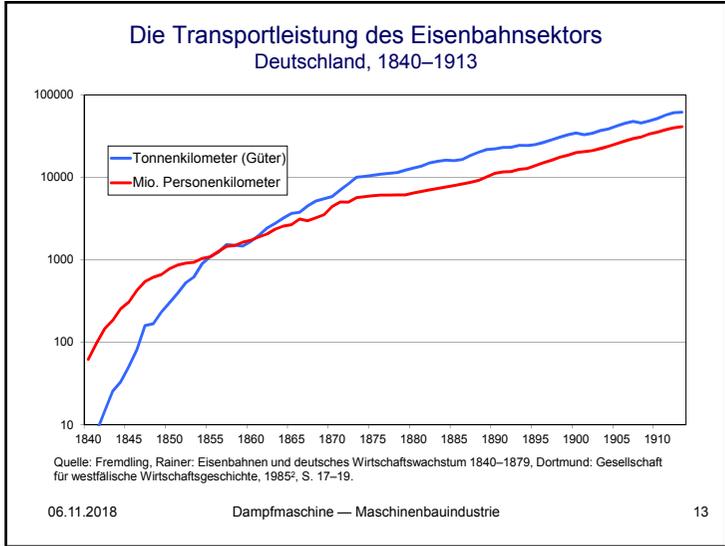
Streckennetze in 1000 km

	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

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

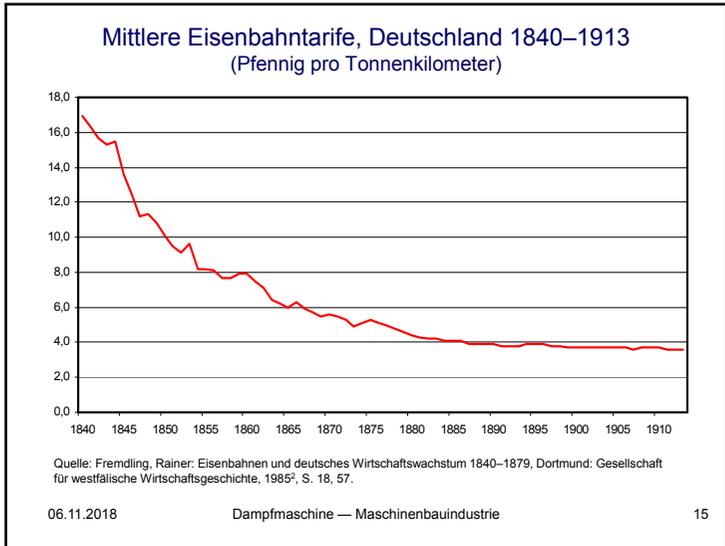
12



Eisenbahnbau als wichtigster Leitsektor der Industrialisierung 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%)
- ◆ **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, möglich durch abnehmendes Gewicht von Fixkosten
 - ◆ Argument: Mit der Ausweitung des Verkehrs wurde die nicht-teilbare Infrastruktur (Unterbau, Schienen: mit Fixkosten verbunden) 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)

06.11.2018 Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie 14



Koppelungseffekte des Eisenbahnbaus

- ◆ **Vorwärtskoppelungseffekte als Folge 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

06.11.2018 Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie 16

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 zu den »social savings« (gesamtwirtschaftliche Ersparnis) der Eisenbahn in den USA
 - ❖ Definition: Differenz zwischen den effektiven Transportkosten und den Kosten, die bei Nichtexistenz der 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 wären
 - ❖ Ergebnis: gesamtwirtschaftliche Ersparnis durch die Eisenbahn für 1890 von nur 4,7% des Volkseinkommens
 - in Ländern mit guten Wasserwegen war der Einfluss der Eisenbahn auf die wirtschaftliche Entwicklung begrenzt

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

17

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)
- ❖ Beitrag zur Vereinheitlichung der Zeitbestimmung
 - ❖ Funktionierende 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

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

18

Die frühe Eisenbahnreise im Bild



Oben: Die Eisenbahntrasse als Schnitt durch die Stadt

Rechts: Karikatur von Daumier, um 1840

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

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

19

Maschinenbauindustrie 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 ...
 - ❖ 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
 - ❖ Lokomotivbau ab den 1840er Jahren

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

20

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

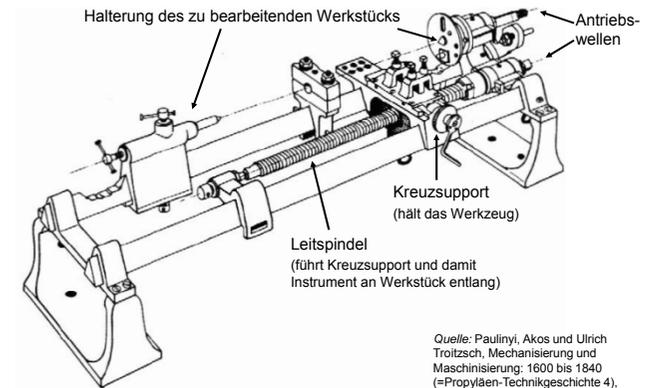
- ❖ Drehbank = Arbeitsmaschine für das mechanische Drehen, Bohren und Hobeln von Werkstücken aus Eisen
- ❖ eigentliche Haupterfindung Drehbank von Henry Maudslay (1797)
Drehbank, mit der sowohl Werkstück als auch Werkzeug maschinell geführt werden
- ❖ Grundlage für die Herstellung exakte gleichförmiger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

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

21

Die Drehbank von Maudslay Konstruktion

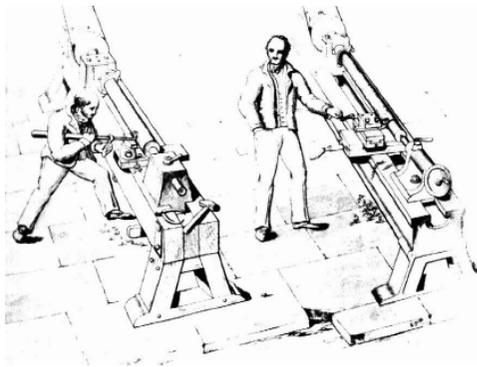


06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

22

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



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

06.11.2018

Dampfmaschine — Maschinenbauindustrie

23