

Die Dampfmaschine, ihre Anwendungen und die Maschinenbauindustrie

1. Die Dampfmaschine (von TUNZELMANN 1978; PAULINYI/TROITZSCH 1997)

a. *Die atmosphärische Dampfmaschine von Newcomen.* Im 17. Jh. Versuche zur Konstruktion einer Dampfmaschine durch Naturwissenschaftler. Den Durchbruch erzielte Thomas Newcomen, der 1712 erstmals eine Dampfmaschine als Pumpe in einer Kohlengrube einsetzte. Konstruktionsprinzip: oben offener Zylinder mit Kolben. Durch automatisch wechselndes Einströmen von Dampf bzw. Kühlwasser in den Hohlraum unter dem Kolben entsteht eine Auf- u. Abwärtsbewegung. Diese ist allerdings nicht allerdings nicht gleichmäßig, u. der Wirkungsgrad ist wegen abwechselnder Erhitzung u. Abkühlung des Zylinders gering. Für den Einsatz als Pumpe in Kohlenzechen waren dies jedoch keine schweren Nachteile. Noch in den 1780er u. 1790er J. wurden ähnlich viele Newcomen- wie Watt-Dampfmaschinen gebaut (je 4–500); 1800 waren in GB ca. doppelt so viele Newcomen- wie Watt-Dampfmaschinen installiert (ca. 1000 vs. 500).

b. *Die Niederdruck-Dampfmaschine von Watt.* (1) *Technische Elemente.* 1769–84 Patente für (i) Trennung des Kondensators vom Zylinder, der von Dampfmantel umgeben u. auf hoher Temperatur gehalten wird; (ii) geschlossener Zylinder, Kolben werden in beiden Bewegungsrichtungen von Dampf angetrieben (→kontinuierliche Arbeitsleistung); (iii) Übertragung der Kolbenbewegung auf einen Radantrieb. Verbesserung des Wirkungsgrads gegenüber Newcomens Dampfmaschine u. Möglichkeit der Anwendung außerhalb des Pumpens, insbes. in Baumwollspinnerei u. Eisenverarbeitung. — (2) *Frühes Beispiel der Investition in Forschung und Entwicklung.* James Watt war Feinmechaniker u. Betreuer von Modellen an der Uni Glasgow. Seine Experimente wurden durch Mathew Boulton (Unternehmer aus der Metallwarenbranche, Birmingham) finanziert: Watt erhielt Jahresgehalt u. 1/3 Gewinnbeteiligung. Ab 1777 Patenteinnahmen aus 1/3 der Brennkostenersparnisse. — (ii) *Anfänge des Maschinenbaus.* In der ersten Phase wurden an Kunden nur Bauanleitungen u. kritische Teile geliefert. Vor dem Hintergrund des baldigen Ablaufs von Patentrechten errichteten Boulton & Watt 1795/97 in Soho bei Birmingham eine Maschinenfabrik.

c. *Hochdruckdampfmaschinen* (anfänglich 3–4 bar) wurden nach 1800 insbes. durch Richard Trevithick konstruiert. Bei zunächst eher höheren Betriebskosten erlaubten sie eine gewisse »Miniaturisierung« (wichtig für Eisenbahn, Schifffahrt). Bis Mitte 19. Jh. zahlreiche Verbesserungen insbes. durch präzisere Teile u. Steuerung.

d. *Bedeutung für die Industrielle Revolution.* 1800 spielte die Dampfmaschine in GB erst eine geringe Rolle bei der Kontrolle von Energiekosten (max. 0,2% des Volkseinkommens; von TUNZELMANN 1978: 156–160). Erst in den 1830er/1840er J. stellte die Dampfmaschine eine ausgereifte Kraftmaschine dar, die breit in Textil- bzw. Eisenverarbeitung, Transport u. anderen Branchen eingesetzt werden konnte.

2. Eisenbahnbau

a. *Entstehung.* Bis 1800 wurden in GB im Kohlebergbau rd. 480 km Schienenwege zum Transport von Kohle von den Zechen zu Flüssen u. Häfen gebaut. 1801–1808 wenig

erfolgreiche Konstruktion erster Dampflokomotiven durch Trevithick. In den 1810er/1820er J. Weiterentwicklung v.a. in den Kohlegruben von NE-England, insbes. durch George Stephenson (Grubenmechaniker): Radführung durch Spurenränze, aus Puddel-eisen gewalzte Schienen (vorher aus häufig brechendem Gusseisen), »Miniaturisierung« der Dampfmaschine (insbes. Röhrenkessel zur Vergrößerung der Heizfläche). 1830 Eröffnung der Strecke Liverpool-Manchester als erste ausschließlich mit Dampfmaschinentraktion betriebene Bahn. In 1830er u. 1840er J. in GB »Eisenbahnfieber«; 1840 bestanden 1400 km, 1850 10.600 km. — Der Bau u. Betrieb von Eisenbahnen stellte den Staat als ökonomische Institution vor neue Herausforderungen: Enteignung, Sicherheit, Normierung, allenfalls staatliche Investitionen.

b. *Der Eisenbahnbau auf dem Kontinent.* Die ersten Strecken wurden meist noch in den 1830er J. errichtet: Frankreich 1832, Belgien 1835 (früh dominanter Staatsbesitz), D 1835 Nürnberg-Fürth (6 km) u. 1839 Leipzig-Dresden (115 km), Niederlande 1838. Zur Hauptsache erfolgte in NW-EU der Bau der Hauptlinien im 3. V. 19. Jh. Streckennetze in 1000 km 1850/1880: B 0,8/4,1, D 6,0/33,8, F 3,1/26,2, GB 10,6/28,8, I 0,4/8,7, Russland 0,6/23,8. Anteil des Eisenbahnsektors an den gesamten Nettoinvestitionen in D 1851/4 11,9%, 1875/9 25,8%; der Anteil an den gewerblichen Investitionen betrug im ganzen Zeitraum über ½: Der Eisenbahnbau nahm in D eine zentrale Stellung in der Kapitalakkumulation im modernen Sektor ein. Bis frühe 1850er J. lagen in D die beförderten Personen-km über den t-km: Zunächst knüpfte die Eisenbahn an profitable bestehende Transportmöglichkeiten an. Dagegen betrug die durchschnittl. jährl. Wachstumsrate 1850–79 in D der t-km 15,1%, der Personen-km 7,4%. Der Output der Eisenbahn wächst damit etwas rascher als derjenige der Kohleförderung (7,5%), der Roheisenproduktion (8,4%) u. der Baumwollgarnproduktion (7,3%; FREMDLING 1985).

c. *Koppelungseffekte* (FREMDLING 1985; O'BRIEN 1977; WAGENBLAß 1973). (1) *Vorwärtskoppelungseffekte.* Der mittlere Transportpreis pro t auf dt. Eisenbahnen sank 1840–1879 um 73%. Dies ist v.a. mit Skalenerträgen zu erklären: Mit der Ausweitung des Verkehrs wurde die nicht-teilbare Infrastruktur (Unterbau, Schienen) besser ausgenutzt, erkennbar anhand des ab 1850er J. steigenden Verhältnisses zwischen PS-Leistung aller Loks u. Länge des Streckennetzes. Die Tarifsenkung führte u. a. dazu, dass auf preuß. Eisenbahnen der Anteil transportierter Kohle von 1% 1850 auf ca. 30% 1875 stieg. Gleichzeitig wurde Importkohle (aus GB, B) vom dt. Markt verdrängt; erst die Eisenbahn gewährleistete den Anschluss der dt. Kohlenzechen an einen breiten Markt u. ermöglichte damit die Umstellung der energetischen Basis auf Steinkohle (ähnlich: Marktentwicklung für Getreide).

(2) *Rückwärtskoppelungseffekte.* (i) *Maschinenbauindustrie.* Bereits ab 1845 überstieg in Preußen der Anteil der von inländischen Produzenten gelieferten neuen Loks 50%; in den frühen 1850er J. war die Importsubstitution bereits weitgehend abgeschlossen (dominierend: Borsig/Berlin). Das große Gewicht des Lokomotivenbaus für den Maschinenbau wird aus dem Anteil der Loks an der gesamten in Preußen installierten Dampfmaschinen-PS-Zahl sichtbar: 1840 2,8%, 1855 55,0%, 1875 74,0%. — (ii) *Eisenverarbeitung.* V.a. für Schienen wurden große Mengen an Puddeleisen verbraucht;

Achsen u. Räder werden aus Stahl produziert. Noch in den 1850er/frühen 1860er J. wurde ein hoher Anteil dieses Bedarfs importiert. In den 1870er J. wurde vermutlich gegen $\frac{1}{2}$ der preuß. Roheisenproduktion für den Eisenbahnsektor verarbeitet. In GB u. den USA lag dieser Anteil ca. 1835–1870 wesentlich tiefer (10–25%). — Der Eisenbahnbau war in D wichtigster Leitsektor der frühen Industrialisierung. Der Überwindung der in D als gebirgigem Binnenland besonders hohen Transporthindernisse kam für nationale u. internationale Marktintegration u. für die wirtschaftliche Entwicklung des Landes allgemein im Vgl. zu anderen Ländern große Bedeutung zu.

d. Die »Social savings«-Kontroverse (Übersicht O'BRIEN 1978; s.a. FREMDLING 1985: 234–236). In Absetzung von einer älteren Tradition, die die Eisenbahn als »größte produktive Tat ... aller Geschichte« (W. Sombart) u. notwendige Voraussetzung der industriellen Entwicklung feierte, entstand ab 1960 eine Forschungsdiskussion, die den Beitrag der Eisenbahn zur Transportrevolution des 19. Jh. empirisch zu bestimmen suchte. Maßgeblichen Einfluss übte dabei die »klimetrische« Arbeit von FOGEL (1979) aus, der die durch die Eisenbahn zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichten »social savings« (gesamtwirtschaftliche Ersparnis) definierte als Differenz zwischen den effektiven Transportkosten u. den Transportkosten, die bei Nichtexistenz der Eisenbahn mit der nächstbesten Transportmöglichkeit angefallen wären (»counterfactual history«). Konkret vergleicht Fogel Transportpreise 1890 von Bahn u. Schiff für Chicago-New York (Haupttroute für den Export von Getreide) u. schätzt die zusätzlichen Ausgaben, die ohne die Existenz der Eisenbahn entstanden wäre. Er errechnet eine gesamtwirtschaftl. Ersparnis durch Eisenbahn für 1890 von nur 4,7% des Volkseinkommens. Der Ansatz ist erfolgreich kritisiert worden, doch hat er die Forschung der letzten Jahrzehnte zur Rolle der Eisenbahn in der wirtschaftlichen Entwicklung des 19. Jh. stark geprägt.

e. Eisenbahnreise als kulturelles Phänomen (SCHIVELBUSCH). Die Eisenbahn brachte eine Fortbewegungstechnik, bei der Bewegung u. Geschwindigkeit nicht mehr selbst erlebt u. verspürt werden, das Fortbewegungsmittel (die Dampfmaschine) nicht mehr intuitiv verstanden u. nachvollziehbare Gefährdung durch ein schwer abschätzbares Risiko ersetzt wurde. Es entstanden neue Gefühle der Naturbeherrschung (»Überwindung« von Distanzen), aber auch der Entfremdung von Raum u. Körper. Schließlich bildeten sich neue Repräsentationsformen (u.a. Bahnhöfe). In der Industrialisierung von Zeit, Raum u. Körper spielte somit die Eisenbahn eine wichtige Rolle. Die Eingliederung der Eisenbahn in die zeitgenössische Sozialtechnologie durch diesbezügliche Bilder, Diskurse etc. stellte umgekehrt eine für die Verbreitung der Eisenbahn gerade in der Anfangsphase wichtige kulturelle Leistung dar.

3. Die Maschinenbauindustrie (PAULINYI/TROITZSCH 1997; BECKER/SCHRÖTER 1962; Barth 1973; WAGENBLAB 1973)

a. Entwicklung und Verbreitung. Die Maschinenbauindustrie entstand überwiegend aus technologisch führenden Unternehmen der Leitsektoren, die ihre Maschinen selber warnten u. herstellen mussten u. schließlich auch an andere lieferten. Hauptgruppen: Textilmaschinen (noch Mitte 19. Jh. war die Maschinenbauindustrie in GB u. D in Textilregi-

onen konzentriert: Lancashire, West Riding/Yorkshire, Sachsen, Aachen), Dampfmaschinen für die Montanindustrie (schlesische Hütten zählten ab den 1790er J. zu den ersten Erbauern von Dampfmaschinen; weitere Bsp. Harkort in Wetter, Gutehoffnungshütte) sowie ab den 1840er J. der Lokomotivbau.

b. Technologische Entwicklung. Der Arbeitsfluss blieb bis ins 20. Jh. handwerklich organisiert (allerdings bei Einsatz von Dampfkraft). Die Unternehmen waren bis E. 19. Jh. in der Regel kleiner als in der Montanindustrie, hatten (trotz früher Bestrebungen zur Vereinheitlichung von Teilen) eine breite Produktvielfalt u. beschäftigten einen hohen Anteil qualifizierter Arbeiter (Dreher, Schlosser). Wichtige Veränderungen brachten die Einführung von Arbeitsmaschinen ab ca. 1800 für das mechanische Drehen, Bohren u. Hobeln von Eisen, was überhaupt erst die exakte Herstellung gleichförmiger Werkstücke erlaubt (zentrale Voraussetzung für Hochdruckdampfmaschine u. die ab den 1820er J. entwickelten Spinnmaschinen). Als eigentliche Haupterfindung der Industriellen Revolution gilt dabei die von Henry Maudslay 1797 entwickelte Drehbank, mit der Werkstück u. Werkzeug maschinell geführt werden. Viele engl. Maschinenbauer der 1. H. 19. Jh. hatten eine Zeitlang bei Maudslay gearbeitet; ins Bewusstsein einer techn. interessierten Öffentlichkeit geriet dieser aber erst in den 1820er J.

c. Aufstieg Deutschlands zu einem wichtigen Exporteur von Maschinen. 1913 war D knapp vor GB u. USA der wichtigste Exporteur von Maschinen. Wichtigster Grund für den Konkurrenzvorteil war technische Kreativität gemessen durch den Bestand an werthaltigen Patenten, der seinerseits auf das gute technische Ausbildungswesen u. eventuell das innovationsfördernde Patentsystem zurückging (LABUSKE/STREB 2008).

Zitierte Literatur

- PAULINYI/TROITZSCH (1997) wie 19.10.2021.
 BARTH, Ernst: *Entwicklungslinien der deutschen Maschinenbauindustrie von 1870 bis 1914* (Berlin: Akademie, 1973).
 BECKER, Walter / Alfred SCHRÖTER: *Die deutsche Maschinenbauindustrie in der industriellen Revolution* (Berlin: Akademie, 1962).
 FREMDLING, Rainer: *Eisenbahnen und deutsches Wirtschaftswachstum 1840–1879: ...* (Dortmund: Gesellschaft für westfälische Wirtschaftsgeschichte, 1985²).
 FOGEL, Robert W.: »Notes on the social saving controversy«, *Journal of Economic History* 39 (1979), 1–54.
 LABUSKE, Kirsten und Jochen STREB: »Technological creativity and cheap labour? [...] German mechanical engineering [...]«, *German Economic Review* 9 (2008), 65–86.
 O'BRIEN, Patrick K.: *The new economic history of railways* (London: C. Helm, 1977).
 SCHIVELBUSCH, Wolfgang: *Geschichte der Eisenbahnreise: zur Industrialisierung von Raum und Zeit im 19. Jahrhundert* (München: Hanser, 1977).
 TUNZELMANN, G. N. von: *Steam power and British industrialisation to 1860* (Oxford: Oxford University Press, 1978).
 WAGENBLAB, Horst: *Der Eisenbahnbau und das Wachstum der deutschen Eisen- und Maschinenbauindustrie, 1835–1860: ...* (Stuttgart: Fischer, 1973).