

Rainer Fischbach

Technologischer Eigensinn und kapitalistische Logik

Die Frage nach der Technologie im Verwertungsprozess

Kapitalistisches Wirtschaften besteht, wie man bei Karl Marx (1818-1883) lernen kann, darin, aus Geld durch den Einsatz von damit zu erwerbenden Waren – Sachgütern und menschlicher Arbeitskraft – über den Verkauf von auf diesem Wege neu geschaffenen Waren mehr Geld zu machen. Geld wird so *Kapital* und der Produktionsprozess Teil des *Verwertungsprozesses des Kapitals* (Marx 1890, 4. Kapitel). Dieses Schema behält Gültigkeit unabhängig von der Vorstellung einer wodurch auch immer begründeten Wertgröße, deren Bewegung besonderen Gesetzen unterläge. Diese Vorstellung, die sich von Adam Smith (1723-1790) über Marx bis hin zur Neoklassik durch die Geschichte der Ökonomie zieht, projiziert das Geld in die Dinge und die diese bewegenden Prozesse hinein. Ob Arbeitswert oder Grenznutzen, für keine dieser Größen gibt es ein die Anforderungen exakter Wissenschaft erfüllendes Messverfahren und noch weniger einen Erhaltungssatz, der einer Gesetzmäßigkeit zugrunde liegen könnte. Bei Marx führt die Vorstellung des Arbeitswertes zu einem Geldbegriff, der durch seine Abhängigkeit von der Existenz einer werthaltigen Geldware nicht dazu in der Lage ist, den von ihm so treffend charakterisierten dynamischen Prozess der Kapitalverwertung theoretisch zu klären. Dieser bedarf, wie Joseph A. Schumpeter (1883-1950) zeigte, der Schöpfung von neuem Geld durch Banken (Schumpeter 1934, S. 153-154).

Das Geschäft der Kapitalverwertung hängt von zwei Voraussetzungen ab: erstens von der Durchsetzung der bürgerlichen Eigentumsordnung und zweitens von dem, was im weitesten Sinne zur Technologie gehört, nämlich der effektiven Beherrschung der materiellen Prozesse, die zu seiner Abwicklung erforderlich sind. Dass letztere gegeben sei, wird oft nur unterstellt. Marx zeigt ein Bewusstsein davon, dass hier ein Problem liegt, als er

anmerkte, dass aus Sicht des Kapitals »der Produktionsprozeß [...] nur als unvermeidliches Mittelglied, als notwendiges Übel zum Behuf des Geldmachens [erscheint]« (Marx 1893: 62). Genau das, was den Produktionsprozess aus dieser Sicht zum Übel macht, sei hier beleuchtet, um zur Klärung dessen beizutragen, was gegenwärtig unter der Überschrift ›Digitalisierung‹ breite Aufmerksamkeit findet. Dabei soll zunächst der Blick auf historische Fälle verdeutlichen, dass technologische Innovationen mit anhaltender Wirkung nicht aus einzelnen Erfindungen bestehen, sondern aus dem Zusammenfluss komplementärer Entwicklungen hervorgehen. Dabei spielen Zufälle und Pfadabhängigkeiten eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Der einzelwirtschaftlichen Perspektive des Kapitals, das seinen Profit zu mehren versucht, kommt im Prozess der technologischen Entwicklung an manchen, doch längst nicht an allen Stellen eine Rolle zu, die meist eher eine opportunistische als eine kreative ist. Der Unternehmer, der, dem Drehbuch Schumpeters folgend, *neue Kombinationen von Produktionsmitteln durchsetzt* (Schumpeter 1934, S. 99-110), um durch einen Vorgang, den dieser später *kreative Zerstörung* nennen sollte (Schumpeter 1976, S. 82-85), die technologische Entwicklung voranzutreiben, erscheint, wagt man einen etwas weiteren Blick auf letztere, eher als die Figur, die das letzte Steinchen in ein Puzzle einfügt. Oft waren im Prinzip bekannte Konzepte, abgesehen von Nischen, lange Zeit weitgehend unverwirklicht geblieben, bis alle zu ihrer breiten und anhaltenden Umsetzung erforderlichen Faktoren gegeben waren. Auch in der technologischen Entwicklung spielt der Kairos, der rechte Augenblick, der wahrzunehmen ist, eine Rolle. Einmal auf dem Erfolgspfad, konnten neue Konzepte dann oft die Basis ihres Erfolgs ausweiten, indem sie zur Verbreitung ihrer Voraussetzungen beitrugen. Bedeutende Beispiele dafür waren sowohl die Durchsetzung der Dampfkraft als industrielle Antriebsquelle als auch die der fordistischen Massenproduktion.

Technologie umfasst nicht nur die Verfügbarkeit der Materialien, der Hilfsmittel wie Werkzeuge, Maschinen und Gebäude sowie der auf die Erzeugnisse zielenden Verfahren, sondern erstreckt sich auch auf den organisierten Einsatz qualifizierter Arbeitskraft, also die konkrete Kombination der Ware Arbeitskraft mit den Sachmitteln. Dies alles hängt auch davon ab, dass es Märkte gibt, die diese Ressourcen, insbesondere auch die qualifizierte Arbeitskraft, bereithalten; und die Verfügbarkeit der letzteren wiederum hängt vom Bildungsstand der Bevölkerung ab. All dies ist nicht statisch,

sondern veränderbar, doch auch Veränderungen kosten Aufwand und Zeit. Nicht zu vergessen ist, dass Technologie immer Herrschaft impliziert: Herrschaft über die äußere Natur, doch auch Herrschaft über die innere Natur des Menschen, denn schon die Handhabung einfacher Werkzeuge erfordert die Kontrolle von Impulsen und noch mehr tun dies komplexe, koordiniertes Handeln erfordernde Verfahren. Die digital-elektronische Informationstechnik (nachfolgend als IT abgekürzt), die das 20. Jahrhundert in der Folge eines Zusammenflusses von Entwicklungen und Durchbrüchen auf einer Reihe von wissenschaftlichen und technischen Gebieten hervorbrachte, zeichnet sich dadurch aus, dass ihr das Ziel der Kontrolle von ihren Anfängen her eingeschrieben war. Sie hat wesentlich mit Aufzeichnen, Verknüpfen, Vergleichen zu tun, und mit der Verfügbarkeit von immer mehr Daten – Raum- und Zeitkoordinaten, Bild- und Sensordaten – aus allgegenwärtigen Geräten dehnt sich der Bereich jener Operationen und damit der für Herrschaft und Kontrolle zugängliche immer weiter aus. Unter dem Aspekt der Herrschaft gibt es keine harmlose Technik und ganz besonders keine harmlose IT.

Im Kontext kapitalistischen Wirtschaftens scheint technologische Innovation sich vor allem als Instrument der Rationalisierung und damit als eines zur Steigerung des Profits anzubieten. Oft ist in diesem Zusammenhang von ›Profitmaximierung‹ die Rede, doch trifft dieser Ausdruck die Sache nur bedingt. Unternehmen können ihre Produkte, Fertigungsanlagen und Verfahren durch Neuerungen in einer Weise variieren, von der sie, mehr oder weniger begründet, vermuten, dass sie zu höheren Profiten führe. Ob die jeweilige Variation tatsächlich in der Richtung des Gradienten, d. h. des steilsten Anstiegs liegt oder sogar einen Gipfel erklimmt, also ein lokales Maximum erreicht, und ob dieses auch ein globales ist, entzieht sich meist der Kenntnis der Akteure. Dabei kann es durchaus vorkommen, dass der Effekt der ergriffenen Maßnahmen negativ ist. *Die Halle 54 in Wolfsburg*, wo Volkswagen mit einem äußerst ambitionierten Automatisierungsansatz scheiterte, ist Legende, wenn sie auch nicht das einzige Beispiel derartigen Scheiterns darstellt (Heßler 2014).

Die Vorstellung des Profits als einer gegebenen Funktion mit einem globalen Maximum auf einem Konfigurationsraum der Produkte und Verfahren ist unrealistisch. Dass diese Idee in die Irre geführt hatte, war der Ausgangspunkt von Konzepten, die einmal als flexible, einmal als schlanke oder auch integrierte Produktion firmierten (Schonberger 1988; Womack, Jones,

Roos 1991): Ansätze, bei denen versucht wurde, gegebene Prozesse nur weiter zu automatisieren, d. h. von menschlicher Arbeitskraft zu befreien, hatten zu höchst störanfälligen Anlagen und Abläufen geführt, die nicht nur Produkte, sondern auch Fehler massenhaft vervielfältigten und an eine veränderte Nachfrage nur mit hohem Aufwand anzupassen waren. Im Scheitern von Vorhaben wie der Halle 54 wird das wichtigste Ziel kapitalistischer Produktion neben der Steigerung des Profits und wesentliches Instrument dazu sichtbar, dessen starre Verfolgung jenes Ziel und auch sich selbst gefährden kann: die Herrschaft über den Produktionsprozess. Die Automation und ganz besonders die Automation auf der Basis von IT entfaltet in dieser Hinsicht eine besondere Verführungskraft. Dass, wie angedeutet, die Verfügbarkeit gegenüber Herrschaftszielen der IT eingeschrieben ist, wurde im Management früh wahrgenommen und beeinflusste deren Adaption entsprechend. David Noble zeichnete dies für die Technik der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen im Detail nach (Noble 1986). Es spricht einiges dafür, dass die diesbezügliche Attraktivität der IT mehr als einmal den Sieg über die ökonomische Rationalität davontrug und dies auch weiterhin tun wird. Ironischerweise führt sie oft auch zu einem Verlust an Herrschaft über die materiellen Prozesse, insbesondere, wenn starr vorgegebene Abläufe keine ausreichende Fehlertoleranz aufweisen. Der Kampf um die Automatisierung und der Wettbewerb der nicht immer zu vereinbarenden Ziele der direkten Kontrolle und der Effizienz bleiben noch offen.

Die ökonomische Diskussion lokalisiert technologische Innovation meist im Zusammenhang der Konkurrenz von Unternehmen um Kostenvorteile, also in dem Kontext, den die marxistische Tradition als Kampf um den *relativen Mehrwert* charakterisiert. Solange die Konkurrenten noch nicht nachgezogen und Preisanpassungen vorgenommen oder Arbeiter Lohn erhöhungen durchgesetzt haben bzw. eine Monopolposition oder ein Kartell besteht, erhöhen sinkende Kosten den Profit. Dass Unternehmen, die unter kapitalistischen Bedingungen operieren, Chancen dazu suchen und zu nutzen versuchen, unterliegt keinem Zweifel. Ebenso liegt nahe, dass die Form, die technologische Innovation im kapitalistischen Verwertungsprozess annimmt, durch dessen Ziele mitbestimmt wird. Eine andere Frage ist, wie weit diese Formbestimmung gehen kann, und weiterhin, ob und in welchem Maße diese Ziele, insbesondere das Ziel der Steigerung des Profits, Antriebskräfte im Prozess der technologischen Innovation sind bzw. in welcher Weise

sie ihn beeinflussen. Damit ist sowohl die Frage nach Kräften und Akteuren der technologischen Innovation jenseits des kapitalistischen Verwertungsprozesses gestellt als auch die, ob dieser durchgängig als entscheidender Treiber fungiert.

Die besondere Rolle der Informationstechnik

Das Streben des Kapitals nach dem relativen Mehrwert impliziert eine Steigerung von Produktivität. Nachdem die Jahrzehnte in der Mitte des 20. Jahrhunderts eine unerhörte Steigerung der Arbeits- wie der Multifaktorproduktivität verzeichnet hatten, flachte deren Kurve in den industrialisierten Ländern seit den 1980ern ab (Gordon 2016: Kap. 16-17). Dass dieses Abflachen in einer Phase wachsender Verbreitung von und steigender Investitionen in IT stattfand, die der öffentlichen Wahrnehmung als Zeichen eines raschen technologischen Fortschritts erschienen, irritiert umso mehr. Es stellt sich hier die Frage, in welchem Zusammenhang jene beiden Entwicklungen standen, ebenso auch die, ob der Eindruck raschen Fortschritts nicht eher einer Täuschung entsprang. Ein sich wiederholendes Muster besteht darin, dass die Kosten von Informationstechnik – durch die Reorganisation der Abläufe und Strukturen, die notwendige Ausbildung der Mitarbeiter, die Erstellung und Pflege der Software, durch den oft an Rückschlägen reichen Einführungsprozess und durch nicht erfüllte Erwartungen – unterschätzt werden. Softwaremängel, nicht allein durch Programmierfehler, sondern auch durch Fehlspezifikationen, die oft auf eine mangelhafte Kenntnis der tatsächlichen Abläufe zurückgehen, sind häufig, ebenso Zeit- und Kostenüberschreitungen, und unvollständig umgesetzte bzw. auch scheiternde Projekte sind nicht selten. Fehler und funktionale Defizite von Software verursachen Kosten, die meist nicht eingeplant sind (Fischbach 2016b; siehe dazu den Beitrag zum *Produktivitätsparadoxon der Computertechnik* von Peter Brödner in diesem Band).

Software ist, anders als ihr Name nahelegt, eine harte Sache: ihre Funktion hängt von der nicht immer völlig transparenten Wechselwirkung einer Vielzahl von Komponenten ab; sie enthält meistens Fehler, die zu beseitigen sind, sie muss immer wieder an sich ändernde Umgebungen und Nutzeranforderungen angepasst werden, was, da sie meist nicht ausreichend dokumentiert und eher selten nachvollziehbar codiert ist, mühsam und wiederum fehlerträchtig ist. Obwohl sie keinem physischen Verschleiß unterliegt, altert sie und muss ersetzt werden, sei es, weil ihr Aufbau die veränderten Anfor-

derungen nicht mehr zu tragen vermag, sei es, weil sie von Systemen/Komponenten abhängt, die nicht mehr verfügbar sind bzw. nicht mehr unterstützt werden, sei es, weil sie in der Folge von zahllosen Änderungen und Ergänzungen heillos ineffizient und/oder fehlerhaft geworden ist (Parnas: 1994). Einmal eingeführte Softwaresysteme konstituieren Pfadabhängigkeiten, die ebenso wenig geplante wie vermeidbare Kosten nach sich ziehen, die man deshalb akzeptiert, weil jedes Abweichen vom eingeschlagenen Pfad noch höhere Kosten verursachen würde. Wenn Organisation und Abläufe einmal auf eine Software eingestellt und die Mitarbeiter darauf geschult sind sowie eine Menge komplementärer Hardware und weiterer Software angeschafft ist, wird man zögern, selbst auf eine erkennbar bessere Alternative umzusteigen. Das ist der Lock-in-Effekt, der bisher z. B. auch die Durchsetzung einer Alternative zu den Microsoft Windows/Office-Produkten verhindert hat. Letztere sind allerdings nicht die einzigen Beispiele dafür.

Zu all diesen seit Jahrzehnten bekannten Ursachen für meist unterschätzte Aufwände, die erhoffte Produktivitätsgewinne durch IT zu schmälern vermögen, gesellten sich in den letzten beiden Jahrzehnten auch neue Ursachen für die Stagnation und sogar das Sinken der volkswirtschaftlichen Produktivität: die wachsende Verbreitung von Anwendungen, die überhaupt nicht darauf zielen, die Produktivität zu steigern, sondern einesteils den Zweck haben, Monopolrenten zu extrahieren und anderenteils das denkbar primitivste, eher für vorbürgerliche Gesellschaften charakteristische kapitalistische Geschäft zu betreiben: den Bereich der Aneignung des absoluten Mehrwerts durch die bloß formelle Subsumtion der Arbeit auszudehnen. IT befördert somit den Rückfall in feudale Verhältnisse. Die digitalen Plattform-Konzerne können ein gutes Stück von den Profiten der Industrie und des Handels abschneiden, indem sie deren Werbung an Stellen platzieren, die ihre nach Mustern des Nutzerverhaltens Ausschau haltenden Systeme als aussichtsreich eingestuft haben. All das, was jene Konzerne uns bieten und dabei selbst einstreichen, ›bezahlen‹ wir nicht, wie einige bemühte Theorieversuche aus der Linken nahelegen, mit unseren Daten oder unserer ›Konsumentenarbeit‹, sondern indem wir die beworbenen Waren kaufen. Die Daten, die wir durch unsere Aktivitäten auf den Plattformen hinterlassen, sind eine Externalität, die dort anfällt – der Mist, mit dem die Plattformkonzerne ihre Äcker düngen.

Ob Sharing-Economy, Lieferdienste, Haushaltshilfe oder Click-Work: Dinge, die bisher im sozialen Nahbereich, unter Freunden und Verwandten,

in der Nachbarschaft und im Stadtviertel stattfanden, Dinge vor allem, die sich oft ohne Geld im Rahmen gegenseitiger Hilfe entwickelten, Dinge zudem, die oft zu Geschäften mit geringstem Nutzen gehören, für die jedenfalls niemand viel Geld ausgeben mag, d. h. mit denen sich nur eine extrem geringe Wertschöpfung verbindet, lassen sich im Zeitalter der digitalen Plattformen und der mobilen Endgeräte zu geringen Kosten, zwecks Abschöpfung von Mehrwert, einer zentralen Kontrolle unterwerfen und in großem Maßstab kommerzialisieren. Noch besser, wenn die direkten Aufwände für Sachkapital, da die Unterworfenen selbst dafür aufkommen, nahezu wegfallen und dank wohlwollenden Wegsehens der Regierungen ordnungs-, sozial- und arbeitsrechtliche Regulationen mühelos zu unterlaufen sind. Was sich so in den letzten Jahrzehnten herausgebildet hat, ist ein parasitäres Kapital, das nichts zur Entwicklung der gesellschaftlichen Produktivkraft beiträgt, sondern lediglich Renten extrahiert. Zum Internet verhält sich dieses Kapital wie die Bischöfe zum – zu den Zeiten vor der Konstitution der Territorialstaaten nicht zufälligerweise ›Pfaffengasse‹ geheißenen – Rhein, die dort, von Chur bis Köln, die Hand aufhalten konnten, um am reichlich fließenden Warenstrom zu partizipieren. Ganz offenkundig findet mit Hilfe und auch unter dem Vorwand des technologischen Fortschritts gesellschaftlicher Rückschritt statt.

Hiermit stellt sich die Frage, wie die IT in den Zusammenhang der technologischen Entwicklung einzuordnen und weiterhin, was von ihr zu erwarten ist. Dabei sind zwei Phasen zu unterscheiden: der Zusammenfluss von Innovationen auf mehreren Gebieten zu einem Komplex von Techniken, dem dessen Diffusion in weite Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft folgt. Hervorzuheben ist, dass die letzten beiden Jahrzehnte, die überwiegend als Phase beispielloser Dynamik wahrgenommen werden, sich weniger durch das unmittelbare Wirken grundlegender Innovationen als vielmehr durch die Diffusion der über das gesamte Jahrhundert zuvor erfolgten und in dessen letztem Drittel zu einem zusammenhängenden technologischen Komplex verschmolzenen Fortschritte auszeichneten (Fischbach 2019).

Der geschichtliche Kontext

Abgeschlossene und weiter zurückliegende Entwicklungen haben oft den Vorzug, besser dokumentiert zu sein als die Gegenwart, und zumindest den weiteren, dass sie weniger im Fokus aktueller Debatten mit ihren oft verzer-

renden Interessen und Perspektiven stehen – was jedoch nicht heißt, dass es um sie keine Kontroversen gäbe. Eine der großen, bis heute umstrittenen Fragen ist die nach den Bedingungen, Kräften und Wirkungsweisen, die die westliche, durch die moderne Technik geprägte Zivilisation hervorgebracht haben. Ihre Klärung stellt kein rein akademisches Unterfangen dar, sondern verspricht auch, Wege zu einem besseren Verständnis der aktuellen technologischen Dynamik zu weisen. Dies wird hier nur annähernd möglich sein, doch sei an wenigen, weitläufig zusammenhängenden und auf die IT hinführenden Entwicklungslinien skizziert, welche Faktoren dabei eine Rolle spielen. Die Knappheit des Raums zwingt dabei zur Konzentration auf die Großinnovationen. Zunächst sei die Erschließung mineralischer Energie für den Antrieb industrieller Maschinen betrachtet, wie sie anfänglich und paradigmatisch durch die Dampfmaschine und die Steinkohle erfolgte. Darauf folgen Bemerkungen zu den Anfängen der Informationstechnik und zu den Wurzeln der fordistischen Massenproduktion. Dies soll dann den Hintergrund für die Diskussion einiger aktueller Entwicklungen in der IT bilden.

Der Beginn der Industrialisierung wird oft mit dem Aufkommen der Dampfmaschine gleichgesetzt. In diesem Zusammenhang wird auch die weitere Frage gestellt, weshalb z. B. die chinesische Zivilisation, die bis ins 18. Jahrhundert in vieler Hinsicht, auch in der Entwicklung von Handel und Gewerbe, als fortgeschrittener gelten konnte, diesen Schritt nicht vollzogen habe. So liest man in einem Werk, das der Geschichte der im weitesten Sinne verstandenen Renaissance gewidmet ist, zu China etwa Folgendes: »An einigen Requisiten für den industrielle Aufbruch fehlte es ja nicht: fleißige Menschen, Manufakturen, Kohle; nicht zu vergessen Ordnung und Frieden wahrende Staatlichkeit. Auch Kapital hätte sich wohl ungeachtet der unterentwickelten Kreditsysteme mobilisieren lassen. Was ausblieb, waren technische Innovationen. Man beließ es bei der Verbesserung von Anbautechniken und der einen oder anderen Nachjustierung althergebrachter Erfindungen. Chinas Wirtschaft funktionierte wie vor Jahrtausenden durch die Muskeln der Millionen.« (Roeck 2017, S. 1119)

Bezeichnend für das hier zitierte wie für viele andere Werke, die dieses Thema behandeln, ist das weitgehende Auslassen materieller Faktoren. Am Ende steht dann eine überlegene westliche Kultur, die inhärent kreativ und innovativ sei, dem lethargisch in Traditionen verhafteten Rest der Welt gegenüber. Die Chinesen hätten es halt versäumt, passend zu der Steinkoh-

le, die sie ja schon länger gekannt hätten als die Europäer, auch noch die Dampfmaschine zu erfinden, um damit ins Industriezeitalter einzutreten. Stattdessen hätten sie sich, träge, wie sie halt gewesen wären, weiterhin der Massen von Kulis bedient.

Wirft man einen Blick auf die Anfänge der Industrialisierung, dann fällt auf, dass dabei der Dampfmaschine, also der mineralischen Antriebsenergie, nur eine bescheidene Rolle zukam. Selbst in Großbritannien, dem Land, das die Vorreiterrolle einnahm, betrug die installierte Leistung der Wind- und der ungleich stärker genutzten Wasserkraft 1760 das 16-fache und selbst 1800 noch das Vierfache der Leistung der Dampfkraft. Erst 1830 war ein Gleichstand erreicht und 1870 hatten sich die Verhältnisse verkehrt, so dass die installierte Leistung der Dampfkraft das Achtfache derjenigen von Wind und Wasser betrug, wobei bis 1870 *alle* Formen der Antriebsenergie zunahmen. Selbst 1907 hatte die Nutzung von Wasserkraft gegenüber 1870 nur um 22 % abgenommen (Minchington 1989). Die *Cotton Mills*, also die Textilfabriken, die paradigmatisch für den Aufstieg der britischen Industrie waren, wurden ursprünglich nahezu ausschließlich von Wasserrädern angetrieben – der Grund dafür, dass Fabriken im Englischen bis heute ›mills‹ heißen. Auf dem Kontinent währte die Dominanz vor allem der Wasserkraft ungleich länger. In Augsburg, einem Zentrum der Textil- und der Maschinenindustrie, dominierte diese bis weit ins 20. Jahrhundert (Häußler 2015).

Die Industrie fing, obwohl sie verfügbar war, nicht mit der Dampfmaschine an, während diese der Protoindustrie, die in Teilen Europas schon seit dem 11. Jahrhundert entstanden war, überhaupt noch nicht zur Verfügung gestanden hatte. Der entscheidende Sachverhalt liegt vielmehr in einer über ein Jahrtausend währenden Kontinuität der Nutzung von Wasserkraft mit gelegentlicher Ergänzung durch die Windkraft. Ihren Anfang nahm jene Kontinuität mit den Mühlen, die zunächst nur das Getreide fürs Brot mahlten. Schon dabei fielen technische Rationalisierung und vertiefte Herrschaft zusammen: die wassergetriebene Mühle war nicht nur leistungsfähiger als die von menschlicher oder tierischer Kraft bewegte und brauchte auch kein Futter, sondern erlaubte als zentrale Einrichtung die Kontrolle des Grundherren über die Erträge der Bauern und dadurch eine wirksame Erhebung der Abgaben (Bayerl 2013, S. 117-118). Das Wasserrad und in geringerem Umfang das Windrad fanden bald vielfältige Anwendungen jenseits des Mahlens von Getreide (Braudel 1985: 382). Schon ab dem 11. Jahrhundert bildeten sich in

Regionen, die dafür ausreichende Voraussetzungen boten, Reviere der Protoindustrie heraus, in denen vor allem die Wasserkraft angewandt wurde, um Holz zu sägen, Bergwerke zu entwässern, Erz zu zerkleinern, Eisen zu schmieden, Draht zu ziehen, Tuch zu walken und schließlich auch das Material für die Herstellung von Papier aufzubereiten, nachdem dessen Kenntnis in Europa angelangt war (Bayerl 2013, S. 118-121, Gimpel 1980, S. 9-34; Pickl 1986, von Stromer 1986).

Die Mühlentechnik bildete in Europa als »das technologische Kernsystem« (Bayerl 2013, S. 115) der Jahrhunderte vor dem Erscheinen der Dampfkraft zugleich auch die Brücke vom vorindustriellen zum industriellen Zeitalter. Von ihr nahmen die sich verfeinernden *Artes mechanicae* ihren Ausgang. Meilensteine stellten ab dem 13. Jahrhundert die Erfindung und die Verbesserungen der mechanischen Räderuhr dar. Diese ist bereits eine analoge *Informationsmaschine*, deren primäre Aufgabe nicht mehr in der Kraftübertragung besteht. Sie kann als erste *kybernetische*, d.h. sich selbst regulierende Maschine gelten. Auch Marx sah in ihr den ersten Automaten (Marx 1863, S. 167). Mit ihr stellten sich Fragen der Präzision, die nicht nur zu innovativen Mechanismen wie dem Pendel und der Schwingfeder führten, sondern auch den Einzug der Metalle in den Maschinenbau beförderten. Eine entscheidende Rolle bei der Verbreitung der Uhren und der Entstehung eines darauf spezialisierten Gewerbes – die ersten Uhrmacher waren meist Schmiede – spielten die Institutionen, in denen damals politische Herrschaft verfasst war: noch vor den Kirchen- und Klosterherren die frühbürgerlichen städtischen Kommunen (Cipola 2011, S. 37-52, Dohrn-van Rossum 1992, S. 121-163). Die Uhr in Verbindung mit einem Schlagwerk galt als Ausweis des Vermögens, der technologischen Expertise wie der fortschrittlichen Gesinnung einer Herrschaft bzw. eines verfassten Gemeinwesens, doch war sie auch eine öffentliche Institution, die dem Tagesablauf eine Struktur gab und die Koordination gesellschaftlicher Tätigkeit erleichterte. Die Zentraluhr als Taktgeber organisierter Arbeit sollte vom Kloster über die Eisenbahn bis in die industriellen und sonstigen Betriebe der Gegenwart eine Wirkung entfalten, die sie zu einer zentralen Institution und einem Herrschaftsmedium der Moderne macht (Dohrn-van Rossum 1992; S. 14-23). Die Uhr als Gut des individuellen Besitzes begann im 16. Jahrhundert eine Rolle zu spielen, erreichte breitere bürgerlicher Schichten jedoch erst im 18. Jahrhundert. Doch auch die private Uhr erfüllt ihre Funktion durch die Synchronisation

mit der zentralen öffentlichen Uhr. Die frühkapitalistischen Manufakturen, die diesen sich ausweitenden Markt bedienten, wären ohne den Vorlauf der Uhrmacherei im politischen Auftrag jedoch nicht denkbar gewesen. Staatliche Interventionen, die insbesondere eine verbesserte Ganggenauigkeit der Uhren zum Ziel hatten, sollten jedoch auch im weiteren Verlauf bis in die Gegenwart eine Rolle spielen. Die Uhrmacherei etablierte in Jahrhunderten ein Paradigma – von der öffentlichen Uhr am Rathaus oder Kirchturm bis zur Armbanduhr für alle – das die IT-Industrie – vom Großrechner in staatlichen Labors und Behörden bis zum Smartphone – seit den 1940ern komprimiert in wenigen Jahrzehnten durchlaufen sollte.

Sowohl im Mühlenzwang – der Pflicht der Bauern, die exklusiv vom Grundherrn errichtete und betriebene Mühle zu nutzen – als auch in der Uhr als öffentlicher Institution zeigt sich die Bedeutung politischer Interventionen für die technologische Entwicklung. In beiden Fällen ist auch der Zusammenhang mit der Etablierung von Ordnungen im herrschaftlichen Interesse sichtbar. Nicht zu übersehen ist in dieser Hinsicht ein weiterer Bereich der Technik: die der Waffen. Das Europa nach dem Zerfall des römischen Reichs war, im Gegensatz zu China, ein kriegerischer Kontinent, auf dem während eineinhalb Jahrtausenden Mächte um die Hegemonie kämpften, ohne eine stabile Lösung zu erreichen – eine Konstellation, die der Entwicklung der Waffentechnik und, in deren Zusammenhang, der Metallurgie unerhört günstig war. Während China das Schießpulver viel früher gekannt hatte, entwickelte Europa seine Beherrschung zur Meisterschaft. Die Produktivität des Waffengewerbes erlebte schon in vorindustriellen Zeiten einen unerhörten Aufschwung. Nirgendwo waren Feuerwaffen im Vergleich zu Lebensmitteln so billig wie in Europa (Hoffman 2015, S. 98).

Kehren wir zu der Frage zurück, weshalb die Industrialisierung in Europa stattfand und nicht in China. Dort kam der Mühlentechnik nicht die Rolle des technologischen Kernsystems zu. Dies nicht etwa, weil die Wassermühle nicht bekannt gewesen wäre, und auch nicht, weil gemahlenes Getreide keine Rolle in der Ernährung gespielt hätte – es kommt zwar kein Brot, doch kommen Nudeln und Fladen aus Weizen bzw. Hirse zumindest im Norden Chinas häufiger als Reis auf den Tisch –, sondern vielmehr, weil die Voraussetzungen für den breiten Einsatz von Wassermühlen nicht gegeben waren. Ein wesentlicher Faktor lag darin, dass die fließenden Gewässer einerseits, sofern sie beherrschbar waren, der Bewässerung der Felder und Gärten dienten, und

dass sie andererseits bei höchst unregelmäßiger Wasserführung schwer zu kontrollieren waren. Der außerordentlich umfangreiche und technisch hochstehende Wasserbau diente einerseits der Bewässerung sowie andererseits, in Form von Dämmen, dem Schutz der Felder und Siedlungen vor Hochwasser und mit Kanälen dem Verkehr, insbesondere der Versorgung der Hauptstadt mit den Produkten des Landes. Für die Entwicklung der Mühlentechnik gab es keinen Raum. Die hochproduktive Landwirtschaft, deren ein ausdifferenziertes, zentralistisches Staatswesen bedurfte, war nur mit Bewässerung möglich, während der Bau und die Instandhaltung der dafür und für den Schutz der Felder und Siedlungen benötigten umfangreichen Anlagen wiederum ein solches Staatswesens erforderten. Die Abhängigkeit von der Bewässerung teilt die chinesische Zivilisation mit vielen hochorganisierten Gesellschaften Asiens. Um diesen Zusammenhang zu kennzeichnen, entstanden Begriffe wie der der *asiatischen Produktionsweise* und der *hydraulischen Zivilisation* (Wittfogel 1931, Needham 1979, S. 71-74, 167-179).

Aus den Quellen der Moderne

Entscheidend war, dass dem Wasser in den sich entwickelnden Zivilisationen Europas eine völlig andere Rolle zukam als in den asiatischen. Bewässerung spielte nur an der südlichen Peripherie Europas, insbesondere im maurischen Spanien, eine bedeutende Rolle. Eine in ihrer Produktivität nicht mit den asiatischen Bewässerungswirtschaften vergleichbare, doch für den Erhalt einer wachsenden, auch nicht bäuerlichen Bevölkerung hinreichend ergiebige Landwirtschaft war schon durch die Niederschläge möglich. Ein Faktor, der dies begünstigte, lag darin, dass die Periode 1000 bis 1300 durch ein mildes Klima gekennzeichnet war, das selbst den Weinbau bis weit in nördliche Breiten ermöglichte. In dieser Zeit erfolgte die Gründung zahlreicher Städte, deren Bevölkerung rasch wachsen sollte, und die Expansion von Gewerbe, Handel, Wissenschaft und Kunst (Behringer 2014, S. 103-115, Campbell 2016, S. 87-96, David-Sirocko, Sirocko 2012). Tatsächlich ist hier, viel weniger dagegen in der so oft und gerne gefeierten Renaissance, die Gründerzeit der westlichen Moderne anzusetzen. Es gibt gute Gründe dafür, die mehr aus Verlegenheit als aus einer Kohärenz des Gegenstands erklärbar Bezeichnung »Mittelalter« für die tausendjährige Periode 500-1500 aufzugeben (aus anderer, komplementärer Perspektive dazu Bauer 2018). Während man die Zeit vor dem Jahr 1000 getrost der Antike zuschlagen mag, spricht

viel dafür, dass danach die europäische Moderne ihren Anfang nahm. Historische Periodisierungen haben unabhängig von regionalen, politischen, wirtschaftlichen und kulturellen Zusammenhängen ohnehin keinen Sinn, wobei bezüglich Chinas zu vermerken ist, dass dort mit der Song-Ära nur wenig früher eine gleichfalls klimatisch begünstigte (Campbell 2016, S., 43-44, 59) und bis ins 13. Jahrhundert reichende Aufschwungphase einsetzte, die, wenn sie auch auf einer anderen materiellen Basis erfolgte, ebenfalls Züge einer Moderne aufwies (Kuhn 2014, S. 275-280, 332-336).

Die materielle Basis der im 11. Jahrhundert einsetzenden europäischen Moderne lag zunächst in einer mit natürlichen Niederschlägen hinreichend produktiven und vor allem Brotgetreide hervorbringenden Landwirtschaft und dem dadurch bedingten Sachverhalt, dass die relativ gleichmäßig für die gewerbliche Nutzung ausreichende Wassermengen führenden Flüsse dafür auch frei blieben. Tausende von Wassermühlen – im England des 11. Jahrhunderts verzeichnet das *Domesday Book* 5.624 davon (Gimpel 1980, S. 16) –, die zunächst Getreide mahlten, bildeten die Basis einer an Vielfalt und Perfektion gewinnenden technischen Entwicklung, die immer weitere Anwendungsgebiete für die Wasserkraft und ergänzend auch die Windkraft erschloss. Die *Artes mechanicae*, die sich dabei entwickelten, fanden z. B. in der Räderuhr auch Aufgaben, bei denen die Kraftübertragung eine untergeordnete Funktion innerhalb eines regulativen, kybernetischen Mechanismus ausübte. Es sollte fünf Jahrhunderte dauern, bis mit dem Jacquardwebstuhl die erste, durch ein digitales, mittels Lochkarten realisiertes Programm gesteuerte Maschine verfügbar war. Am Anfang des Weges dorthin standen günstige klimatische Verhältnisse, Brotgetreide und Gewässer, die mit geringem Aufwand als Energiequelle nutzbar waren – Bedingungen, die so in China nicht vorlagen, in Europa dagegen einen ganz besonderen technologischen Entwicklungsweg ermöglichten.

Politische Faktoren spielten bei der technologischen Entwicklung in Europa schon zu Beginn eine entscheidende Rolle: bei der Durchsetzung der meist wassergetriebenen Mühle im Kontrollinteresse der Grundherrschaft, bei der Einführung der Uhr als gesellschaftlicher Institution und nicht zuletzt bei der Entwicklung der Waffentechnik und der eng mit den beiden letzteren und dem Münzwesen verbundenen Metallurgie. Im Vergleich dazu erscheint die nächste große technologische Innovation in Europa wie ein Beispiel des Unternehmertums im Sinne Schumpeters: die Druckerpresse

schuf ein Mann mit einer Idee, der sich Geld lieb bzw. Partner nahm, die solches hatten, um diese Idee zu realisieren. Was Johannes Gutenberg (1400-1468) vorhatte und auch umsetzte, war ein technologisch anspruchsvolles, riskantes Unternehmen. Riskant deshalb, weil es nicht nur in der Erfindung eines einzigen Mechanismus bestand, sondern Durchbrüche zugleich auf mehreren Gebieten erforderte: dem des Schneidens von Typen als Urformen der Lettern, dem eines Verfahrens und der Konstruktion eines Gerätes zu deren Guss sowie der Legierung von dazu geeigneten metallischen Werkstoffen, dem der Mischung von Druckfarben mit den geforderten Eigenschaften und schließlich dem der Konstruktion der Druckerpresse, bei der es auf die konkurrierenden Anforderungen von Präzision und flüssiger Bedienbarkeit ankam (Füssel 2004, S. 9-12, Kapr 1986, S. 121-135). Gutenbergs Leistung bestand im Vorantreiben und der Zusammenfassung von Entwicklungen auf allen diesen Gebieten. Bei aller Innovativität hing diese von der Vorarbeit von Jahrhunderten ab: der Beherrschung der Farben wie der Metalle, den fortgeschrittenen *Artes mechanicae* und nicht zuletzt auch von regionalen Besonderheiten. Es ist kein Zufall, dass die Druckerpresse in einer Weinbauregion entstand: sie kombiniert das Funktionsschema der Kelter mit der Präzision fortgeschrittener Mechanik: ein gleichmäßiges Druckbild verlangt nicht nur, dass der Satzblock passgenau liegt und dass er und die Andruckplatte plan sind, sondern auch, dass letztere einen gleichmäßigen Druck ausübt.

Das Verfahren rationalisierte die Herstellung von Schriften in mehrfacher Weise: nicht allein dadurch, dass es den Druckvorgang gegenüber dem schon bekannten, aus China stammenden, Abreibeverfahren beschleunigte und zudem ein doppelseitiges Bedrucken des Papiers erlaubte; schon die Möglichkeit, aus einer Type eine nahezu unbegrenzte Anzahl von Lettern zu gießen, um daraus die Satzblöcke zu komponieren, führte zu einer bedeutenden Arbeitersparnis. Letzteres allerdings nur, weil man ein Alphabet zur Verfügung hatte, das auch bei Verwendung einer Reihe unterschiedlicher Schriftschnitte und -grade mit einer geringen Anzahl von Typen handhabbar blieb. Hierin liegt, neben dem Fehlen des Paradigmas der Kelter und dem geringeren Entwicklungsstand der Mechanik, sicher der Hauptgrund dafür, dass die wesentlich früher, schon in der Song-Zeit, erfolgten chinesischen und koreanischen Ansätze zum Drucken mit beweglichen Lettern nicht auf breiter Basis weitergeführt wurden. Auch koreanische Versuche zur Einfüh-

rung vereinfachter Schriften trugen nicht weit genug. Der konfuzianische Konservatismus, den Kapr dafür verantwortlich macht (Kapr 1986: 112), war weniger eigenständige Ursache als Ausdruck einer Gesellschaft, die ihrer materiellen Konstitution nach einer solchen Statik bedurfte. Die Presse mit all den Techniken, die aus ihr ein Instrument rationeller Buchherstellung machten, war nichts, was unabhängig von naturgeschichtlich und geschichtlich gewordenen Bedingungen einfach zur Hand gewesen wäre, sondern in ihr verbarg sich eine tiefe Pfadabhängigkeit. Die Bemerkung, dass in China »niemand auf die Idee kam, eine Presse zu benutzen«, weshalb »die Texte stets von der Papierrückseite her vom eingefärbten Holzblock abgerieben werden (mußten)« (Roeck 2017, S. 1.119), ist unhistorisch. Die Option der Presse eröffnete sich in Europa auf einem anderen Erdteilen verschlossenen Weg, der aus der Wechselwirkung besonderer naturgeschichtlicher Bedingungen mit den dadurch begünstigten gesellschaftlichen und politischen Entwicklungen resultierte.

Gutenberg realisierte durch die Kombination von Vorhandenem und daraus durch eine Anzahl weiterer Schritte zu entwickelnden Innovationen ein technologisches Potential, das die Jahrhunderte zuvor zur Reife gebracht hatten. Noch in einer weiteren Hinsicht war seine Innovation von Bedingungen abhängig, die er nicht selber zu schaffen vermochte: bei aller technologischen Kühnheit waren seine Vorstellungen vom Absatzmarkt konservativ: sein Geschäft zielte auf einen berechenbaren Kreis von institutionellen Kunden. Dies trifft nicht allein auf die 42-zeilige Bibel zu, die, neben Hartmann Schedels *Weltchronik*, als *das* paradigmatische Projekt des frühen Buchdrucks gilt (Füssel 2004, S. 13-20, Kapr 1986, S. 151-185), sondern auch auf eine Vielzahl von kleineren Druckwerken. Schulbücher, insbesondere das damals Wichtigste, die lateinische Grammatik von Donatus, Kalender, Formulare und Flugschriften waren für die frühen Drucker das Brot-und-Butter-Geschäft (Füssel 2004, S. 21-31, Kapr 1986, 186-232). Der römischen Kirche kam dabei als Abnehmer eine Schlüsselrolle zu. Schon Jahrzehnte, bevor die reformatorischen Flugschriften gegen den Ablasshandel die Presse verließen, hatten dies schon die Ablassbriefe bzw. die Formulare, in die nur noch Name, Datum und Betrag einzusetzen waren, zu zehntausenden getan. Wichtige Druckwerke waren auch kirchliche Flugschriften gewesen wie die Türkenbulle von Papst Calixtus III. Erzeugnisse, die auf ein sich verbreiterndes bildungsbeflissenes Bürgertum zielten, kamen an zweiter Stelle und nahmen erst im Laufe der

Jahrzehnte an Bedeutung zu. Doch ungeachtet des Umstands, dass Gutenberg mit dem Bibeldruck auf einen sicheren Abnehmerkreis zielte, erwies sich das Unternehmen als finanzieller Fehlschlag, weil er anscheinend die Kosten unterschätzt hatte. Da er seine Gläubiger nicht bedienen konnte, verlor er seine erste Werkstatt und musste sich dann zunächst mit Akzidenzien, also Kleindrucksachen, vornehmlich für kirchliche Auftraggeber durchschlagen. Wie oft bei vielversprechenden, doch noch unvollständig beherrschten Technologien gab es in der Frühzeit des Buchdrucks eine hohe Unternehmensfluktuation: es wurden zahlreiche Druckereien gegründet, die schnell wieder verschwanden. Technologische Innovation ist nicht immer ein sicheres Rezept zur Erzielung oder gar Steigerung von Profit.

Entgegen einem verbreiteten Vorurteil war die römische Kirche keinesfalls grundsätzlich fortschrittsfeindlich. Gerade der gehobene Klerus sah in der Druckerpresse nicht nur eine Maschine zur massenhaften Verbreitung seiner Botschaften – sprich: der Propaganda – und zur Abwicklung wesentlicher Geschäfte wie des Ablasshandels, sondern auch ein Instrument der Normierung. Gegenüber dem durch bewusste oder versehentliche Varianten beeinflussten Vorgang der handschriftlichen Vervielfältigung von Büchern besitzt die Vervielfältigung mittels Druckerpresse den Vorzug, einer zentralen Kontrolle zugänglich zu sein. In Mainz wurde – das ist die vorherrschende Meinung, auch wenn Albert Kapr Gründe dafür anführt, dass dies schon in Straßburg geschehen sei (Kapr 1989, S. 89-96) – nicht nur zum ersten Mal eine Druckerpresse in Gang gesetzt, sondern auch das Instrument des *Imprimatur*, also der bischöflichen Druckfreigabe, erfunden. Das die Kirchenoberen leitende Interesse bestand, den durch Nikolaus von Kues formulierten und auf dem Konzil von Konstanz beschlossenen Grundsätzen der Kirchenreform entsprechend, in der Verbreitung normativer Versionen der kanonischen Texte. Dazu gehörten, noch vor der Bibel, die Messbücher und Psalter, deren Herstellung den Druckern reichlich Brot gab. Lange bevor sie Medium protestantischen Protests werden konnte, war die Druckerpresse schon Instrument römisch-kirchlicher Herrschaft geworden und dort, wo der Protestantismus sich als Bekenntnis zu etablieren vermochte, zögerten seine Vertreter, ebenso wie die Repräsentanten der sich zu dieser Zeit konstituierenden Territorialherrschaften, nie lange, es der römischen Kirche nachzutun. Informationstechnik war von Anfang an – nicht erst mit der Druckerpresse, sondern auch schon mit der Schrift – eng mit Herrschaft, mit

ihrer Legitimation, Vertiefung und Festigung ebenso wie ihrer Bestreitung, verbunden. Neue Techniken waren immer auch mit neuen Kämpfen um sie verbunden. Dies ganz besonders, wenn diese Techniken, wie der Buchdruck, die Möglichkeit zur Verbreiterung ihrer Anwendungsbasis boten.

Ins Zeitalter der mineralischen Energie

Um die Frage zu beantworten, weshalb die Chinesen die Steinkohle, die bei ihnen schon in Gebrauch gewesen war, bevor dies in Europa geschah, nicht dazu benutzten, um durch ihre Verbrennung Dampf für eine bei Gelegenheit zu erfindende Dampfmaschine zu erzeugen, ist mit den vorhergehenden Ausführungen darüber, warum es in China nicht zur Erfindung der Druckerpresse kam, schon zum Teil beantwortet: es fehlte den *Artes mechanicae* an Reife. So erklärt sich auch, weshalb die jesuitischen Missionare des 16. und 17. Jahrhunderts durch die als Geschenke überreichten Uhren auf die Repräsentanten der chinesischen Eliten so großen Eindruck zu machen vermochten (Haub 2007: 74). Was diesen abging, war jedoch das Verständnis der Uhr als gesellschaftlicher Institution. Für sie blieb die Uhr ein Luxusspielzeug, dessen Besitz ihren gesellschaftlichen Rang anzeigte. Eine Reihe von europäischen Mächten verstand es schon vor der Erschließung mineralischer Energiequellen für Antriebszwecke, die Weltmeere und zumindest die Küsten fremder Kontinente zu erobern – und dies mit Schiffen, die im Vergleich mit den Dschunken der Ming-Ära eher Nussschalen glichen. Als äußerst hilfreich erwiesen sich dabei die große Fortschritte machenden Disziplinen der Navigation und Kartographie mit Unterstützung der im kriegerischen Europa zu bisher nicht gekannter Perfektion gebrachten Feuerwaffen.

Während bis dahin urbane Zivilisationen mit hoher Arbeitsteilung sich nur in dem Maße entwickeln konnten, in dem günstige natürliche Bedingungen nicht nur die Erzeugung der dazu nötigen landwirtschaftlichen Überschüsse erlaubten, sondern auch für hinreichend temperierte Wohnräume sorgten, konnte diese Grenze mit der Erschließung mineralischer Energiequellen durchstoßen werden. Dies geschah hinsichtlich des Wärmeproblems zunächst im Norden Chinas wie auch Europas. Die Steinkohle stellte Wärme für die Heizung, die Küche und auch für gewerbliche Anwendungen bereit, wo sie lokal verfügbar oder wohin sie mit geringem Aufwand, nämlich auf dem Wasserwege, zu transportieren war (Brüggemeier 2018, S. 21-23). Bevölkerungsreiche Städte konnten so in vergleichsweise unwirtlichen Regio-

nen entstehen. Dies zumal, nachdem das europäische Klima in den Jahrhunderten von 1300-1850 im Vergleich zur vorhergehenden Periode deutlich kälter geworden war. Man spricht in diesem Zusammenhang von der *Kleinen Eiszeit*, die das Bevölkerungswachstum, den wirtschaftlichen und kulturellen Aufschwung der Periode davor unterbrach (Behringer 2014, S. 117-221, Campbell 2016, S. 198-208, 332-394, Ruddiman 2016, 115-146). Die hochgelobte Renaissance war mit häufigen Missernten und darauffolgenden Hungersnöten, Pest, Hexenverfolgung und Religionskriegen kein besonders angenehmes Zeitalter.

Die Steinkohle war dort, wo sie verfügbar war, das Brennmaterial der armen Leute, vor allem des Proletariats in den Industrierevieren. Viele europäische Landstriche, ganz besonders in Großbritannien, waren schon im 17. Jahrhundert durch den Holzbedarf der Glasherstellung, des Bau- und Montanwesens weitgehend entwaldet. In Großbritannien ermöglichten die Kohlevorkommen in Newcastle und Südwales die kostengünstige Versorgung der gleichfalls küstennahen Industriereviere. Viele Orte im Landesinneren konnten zu kaum höheren Kosten über ein Kanalsystem erreicht werden, das bis zum Ausbau der Eisenbahn einen großen Teil des Güterverkehrs aufnahm. Auf dem Kontinent konnte das Ruhrrevier Städte im Nordwesten Deutschlands und die Niederlande beliefern. Doch wie kommt in dieser Anordnung die Dampfmaschine ins Spiel? Dies hängt mit einer geologischen Besonderheit der europäischen Steinkohlevorkommen zusammen: die Flöze treten an manchen Stellen wie an der Ruhr und der südwalisischen Küste zutage, tauchen jedoch schnell sehr tief ab. Nachdem die leicht zugänglichen Vorkommen erschöpft waren, musste zur Erschließung der weiteren Schächte in immer größere Tiefen abgeteuft werden. Mit den wachsenden Problemen der Entwässerung der tiefgelegenen Sohlen und der Förderung der Kohle aus diesen schlug die Stunde der Dampfmaschine, die zudem den Vorteil hatte, dass ihr Futter vor Ort vorhanden war (Brüggemeier 2018, S. 43-45). Noch um 1800 arbeitete die Hälfte aller britischen Dampfmaschinen in Kohlegruben (Minchington 1989, S. 352).

Erst nachdem mit ihrer Hilfe die Kapazität zur Förderung und zum Transport von Kohle entscheidend gesteigert worden war, stellte die Dampfmaschine eine, weitgehend unabhängig vom Ort verfügbare, Option für den Antrieb von industriellen Maschinen dar. Damit war, zunächst in Großbritannien und nachfolgend in den überwiegend europäischen Ländern, die

ihm auf dem Pfad der Industrialisierung nachfolgten, ein entscheidender Schritt vollzogen. Kapitalistische Produktion konnte sich von den Unwägbarkeiten der Natur, die sich mit der Nutzung der Wasserkraft verbanden, ebenso wie von den politischen Arrangements und der fachlichen Expertise, welche sie am jeweiligen Ort erforderte, emanzipieren und zudem räumliche Lohndifferenziale ausnutzen. Die Dampfkraft wurde zu einem standardisierten technologischen Modul, das sich nahezu überallhin verpflanzen ließ. Im 19. Jahrhundert kam die Erschließung neuer Wasserkraftressourcen in Großbritannien immer mehr zum Erliegen, obwohl die Potenziale dazu keineswegs erschöpft waren (Malm 2016, S. 96-120).

Schon Marx wusste, dass »die industrielle Revolution nicht von der *bewegenden Kraft* ausgeht, (...) sondern von der Verwandlung des unmittelbaren Spinnprozesses selbst und der Verdrängung des Teils der menschlichen Arbeit, der nicht bloß exertion of power war (...), sondern die Bearbeitung, die direkte Wirkung auf den zu bearbeitenden Stoff betrifft« (Marx 1863, S. 167). Dazu war die Entwicklung der mechanischen Künste erforderlich, auf deren Weg die Wassermühle und die Uhr entscheidende Meilensteine waren. Die Dampfkraft bildete nicht den Anfang, doch erleichterte sie die Ausbreitung der kapitalistischen Produktion. Als standardisiertes Modul, das die Komplexität des materiellen Produktionsprozesses reduzierte, passte sie ideal zu deren expansivem Charakter, doch war sie keinesfalls selbstverständlich, durch eine bloße Erfindung gegeben, sondern als solche, ebenso wie in ihrer effektiven Verfügbarkeit, durch eine ausgeprägte Pfadabhängigkeit gekennzeichnet. Ohne Wasserkraft, so kann man diese in eine paradoxe Formulierung fassen, keine Dampfkraft. Deren effektive Nutzung setzte den langen, mit der breiten Anwendung der Wasserkraft begonnenen Entwicklungsweg der Artes mechanicae voraus. Ihren Durchbruch ermöglichte ein kontingenter Faktor: der Umstand, dass die geologische Struktur der europäischen Steinkohlevorkommen deren Erschließung zu einem höchst anspruchsvollen Unternehmen machte, das für die Dampfkraft passende Anwendungsbedingungen schuf. In China, um auf die Frage der dort ausbleibenden bzw. um 150 Jahre verzögerten Industrialisierung zurückzukommen, fehlte nicht nur die Reife der mechanischen Künste, sondern dort lagen und liegen immer noch mächtige Steinkohlenflöze sehr günstig, nicht weit untertage, so dass ein unabweisbarer Bedarf für eine Kraftmaschine nicht wahrnehmbar war.

Das System der Industrie

Das in den letzten 200 Jahren entstandene industrielle System ist, ebenso wie der durch dieses System geformte Siedlungsraum, essentiell von Energieflüssen konstanter und hoher raumzeitlicher Dichte abhängig, die bisher nur aus mineralischen Energiequellen kommen. Dies gilt nicht nur für die Antriebsenergie in Industrie und Verkehr, sondern auch für seine stoffliche Zusammensetzung: die Mengen an Stahl, Zement und synthetischen Stoffen aller Art, deren es bedarf, sind bis heute anders nicht bereitzustellen. Die Entwaldung weiter Teile Europas konnte, bei steigender Produktion und Bevölkerung, trotz wachsender Ansprüche an die Wohnfläche nur durch die Substitution von Holzkohle als Reduktionsmittel und von Holz als Brennmaterial rückgängig gemacht werden. Noch immer stehen Konzerne, deren Geschäft in der Bereitstellung der energetischen und stofflichen Basis des industriellen Systems besteht, ganz vorne auf der Liste der nach Umsatz, Realkapital und Gewinn Größten. Auch die IT folgt diesem Muster: der globale Energieverbrauch für Produktion und Betrieb der Geräte und Netze entsprach schon 2018 dem gesamten Endenergieverbrauch Deutschlands und soll sich bis zum Ende des dritten Jahrzehnts mindestens verdreifachen (Jones 2018). Noch nicht enthalten in diesen Zahlen ist der Energieaufwand für die Bereitstellung der Rohstoffe. Die tiefe Abhängigkeit des gesamten industriellen Systems und seiner Siedlungsstrukturen von der mineralischen Energie aufzuheben wird durch eine bloße Substitution der Energiequellen nicht machbar sein, sondern auch einen tiefgreifenden Umbau aller Strukturen erfordern.

Die Dampfkraft ließ mit dem durch sie ermöglichten Aufschwung der kapitalistischen Wirtschaft ihre Vorgeschichte hinter sich. Innovation erschien nun als das genuine Geschäft einer entfesselten Kapitalverwertung, die zyklische Krisen jedoch immer wieder zum Stocken brachten. Doch gegen Ende des 19. Jahrhunderts war ein säkulares Erlahmen der Dynamik zu beobachten: es wurde immer offenkundiger, dass das Eisenbahnwesen, das, abgesehen von Belgien und den süddeutschen Staaten, eines der großen Felder wagemutigen – man kann auch sagen: spekulativen – Kapitals gewesen war, durch solches zur Zufriedenheit des Gesamtkapitals, geschweige denn der Gesellschaft, nicht zu betreiben war. Es schlug die Stunde des idealen Gesamtkapitalisten. Verstaatlichung der durch die privaten Betreiber jahrzehntelang auf Verschleiß gefahrenen Eisenbahnen war angesagt. Neue

Dynamik kam jedoch durch neue Industrien, denen besonders in Deutschland, wo im späten 19. Jahrhundert ein entsprechendes Produktionsregime entstand (Abelshauer 2003, S. 102-107), eine Schlüsselrolle zukam: Optik, Elektrotechnik, Chemie und Pharmazie, die einen hohen, in dieser Form bisher nicht dagewesenen, Grad an Verwissenschaftlichung aufwiesen und auf ein komplementäres System der wissenschaftlich-technischen Ausbildung, Forschung und Normierung durch öffentliche Institutionen angewiesen waren. Die naturwissenschaftlichen Fakultäten an den Universitäten wurden ausgebaut, staatliche Forschungseinrichtungen, Normungsinstitute und Technische Hochschulen gegründet. Letztere betrieben, durch Professoren wie *Ferdinand Redtenbacher* (1809-1863) und *Franz Reuleaux* (1829-1905), die Verwissenschaftlichung des Bauwesens und des Maschinenbaus, die zuvor noch überwiegend nach Erfahrungsregeln konstruiert hatten und bildeten auf dieser Grundlage Ingenieure aus. Damit war am Ende des 19. Jahrhunderts die Konstellation von Wissenschaft und Industrie, Staat und Unternehmen hergestellt, die im 20. Jahrhundert auch die IT hervorbringen sollte.

Auch diese Phase brachte noch Unternehmer hervor, denen Züge des von Joseph Schumpeter gezeichneten Bildes nicht abzusprechen sind. Dazu gehörten *Werner von Siemens* (1816-1892), der aus der Telegraphie eine rationell zu handhabende Technik machte und – im Auftrag des Britischen Empire – das erste weltumspannende Netz dafür realisierte sowie *Emil Rathenau* (1838-1915) und *Oskar von Miller* (1855-1934), die die Vorzüge einer zentralisierten Stromerzeugung in Verbindung mit einem flächendeckenden Versorgungsnetz erkannten und dieses Konzept in Kooperation mit Gebietskörperschaften umsetzten. Wie Gutenberg wandten auch sie sich vor allem an institutionelle Kunden. Während die Bahnen erst nach Jahrzehnten vorwiegend privaten Baus und Betriebs verstaatlicht wurden, entstanden die Netze der Kommunikation der Ver- und Entsorgung von Anfang an größtenteils als öffentliche Infrastrukturen der Staaten bzw. der Gebietskörperschaften, in manchen Fällen, wie z. B. dem Fall des Telefonnetzes in den USA, in Form eines staatlich regulierten privaten Monopols. Die von den großen Netzdenkern – *Friedrich List* (1789-1846) für das Eisenbahnwesen, *Oskar von Miller* für das Stromnetz, *Theodore Newton Vail* (1845-1920) für das Fernsprechnetz – erkannten und propagierten Vorzüge, die ein zusammenhängend betriebenes, einheitliches und universell verfügbares Netz

bietet, wurden weithin wahrgenommen. Diese Vorzüge bestehen vor allem in sinkenden Grenzkosten und positiven Externalitäten, also einem Nutzen, der den Teilnehmern am Netz ohne eigenen Aufwand dadurch zuwächst, dass andere ebenfalls teilnehmen.

Die umfassende Realisierung von Externalitäten und sinkenden Grenzkosten setzt allerdings den universellen Zugang zum Netz voraus, der bei einem Ausbau, der allein dem Ziel möglichst schnellen und hohen Profits folgt, nicht gewährleistet ist. Hier liegt die Ursache für die lückenhafte Versorgung mit Mobilfunk und schnellem Internet in Deutschland. Netze sind zwar raumüberwindende Konstruktionen, doch als solche selbst als physische Gebilde im Raum zu realisieren. Sie besitzen, was die feuilletonistische und akademische Begeisterung über »virtuelle Netze« seit den 1990ern systematisch übersieht, einen Körper und weisen eine ausgeprägte Ökonomie der Dichte auf: dort, wo sich auf geringer Fläche – und das heißt auch: bei geringen Kosten pro Anschluss – zahlreiche zahlungskräftige Kandidaten drängen, verspricht ein Ausbau ungleich höheren und schnelleren Profit als dort, wo die Kandidaten wenig zahlungskräftig sind oder weit verstreut wohnen – was heißt: geringe Einnahmen versprechen bzw. hohe Kosten pro Anschluss verursachen. Netze heben den Raum nicht auf, sondern strukturieren ihn neu, indem sie eine Polarität zwischen verdichteten und ausgedünnten, prosperierenden und verarmenden Zonen schaffen, solange keine staatliche Raum- und Infrastrukturpolitik Ausgleich schafft. Eine solche ist jedoch seit den 1980ern von der Agenda der meisten Industriestaaten verschwunden (Fischbach 2005, S. 189-252).

Das Jahrhundert, das ungefähr von 1870 bis 1970 währte, war geprägt durch die Expansion öffentlicher Infrastruktur, eine damit einhergehende, bisher beispiellose Steigerung der Produktivität und, nicht zuletzt, ein entsprechendes Wachstum der Masseneinkommen, das steigende Produktivität in volkswirtschaftliches Wachstum verwandelte: dazu gehörten das Bildungswesen, Einrichtungen der Forschung, der Normierung und deren Überwachung, Telekommunikation und Post, Versorgungsnetze für Wasser, Gas und Elektrizität, Entsorgung von Abwasser und Müll, Netze des Verkehrs. Die Eisenbahn hatte in vielen Ländern bereits in der Mitte des 20. Jahrhunderts ihren Höhepunkt überschritten und litt zunehmend unter der Konkurrenz des Individualverkehrs, der erst durch den Bau eines öffentlichen Straßennetzes seine heutigen Dimensionen anzunehmen vermochte. Technologisi-

sche Innovation fand innerhalb dieser spezifischen Konfiguration statt, die geprägt war durch öffentliche Auftraggeber und öffentliche Infrastruktur, die die Qualifikation der Arbeitskraft verbesserte und, indem sie ihren Alltag erleichterte, ihre Verfügbarkeit erhöhte, das technologische Niveau an hob und wachsende Bestände objektivierte. Wissen verfügbar machte sowie, von der Waschmaschine über die Unterhaltungselektronik bis zum Automobil, die Voraussetzungen für den Absatz zahlreicher Produkte des individuellen Gebrauchs schuf. Mit der breiten Verfügbarkeit von Elektrizität war auch eine Voraussetzung für die Entstehung der kleinteiligen, dezentralen Industriestruktur gegeben, die für manche europäischen Regionen kennzeichnend ist: Unternehmen, die sich niemals ein eigenes Elektrizitätswerk hätten leisten können, vermochten sich moderner, elektrisch angetriebener Maschinen zu bedienen. Mit solchen Maschinen und dem Netz, das sie mit Elektrizität versorgte, setzte sich der Pfad zur Unabhängigkeit industrieller Aktivität von besonderen lokalen Voraussetzungen fort. Das Netz brachte Energie, gleichgültig ob aus Wasser- oder Dampfkraft, überall hin.

Auch die fordistische Massenproduktion, die entscheidend für die Expansion des privaten Konsums hochwertiger Güter war, konnte sich nur innerhalb einer besonderen Konfiguration von technologischen Konzepten, öffentlicher Infrastruktur und makroökonomischer Politik, die für eine breite Verteilung der Produktivitätsgewinne sorgte, entwickeln und eine dominierende Stellung gewinnen (Fischbach 2016a, S. 74-80). Von Bedeutung ist hierbei, dass die Logik der einzelwirtschaftlichen Gewinnsteigerung, z. B. durch Lohnsenkung, die Funktion jener Konfiguration, insbesondere den technologischen Fortschritt, gefährdet, weil eine in der Folge nicht produktivitätsgerechter Lohnentwicklung stagnierende oder sinkende Nachfrage die Investitionsdynamik hemmt. In der Aufkündigung des fordistischen Klassenkompromisses durch die Kapitalseite, die ungefähr zeitgleich mit dem Beginn der Verbreitung von IT erfolgte, dürfte eine der Wurzeln für deren schwache Wirkung auf die Produktivität liegen. Anzumerken ist hierzu noch, dass der auf Investitionsgüter spezialisierte Kern der deutschen Industrie technologisch dem fordistischen Muster nicht oder nur teilweise entspricht. Die Automobilindustrie, die diesen inzwischen überholt hat, ist von ihm jedoch in hohem Maße abhängig. Ihre Stellung verdankt sie auch der engen Zusammenarbeit mit den Unternehmen, die die Ausrüstung für ihre Fabriken liefern und diese inzwischen oft sogar betreiben.

Der Fordismus zeichnet sich technologisch durch die *horizontale Integration* der Fertigung (Jones 1997, S. 3-50) und *Economies of Scale* aus. Ihre Wurzeln reichen historisch weit zurück (Hounshell 1984). Entscheidend ist viel weniger das Fließband als vielmehr der Aufbau der Produkte aus einer möglichst geringen Anzahl passgenau vorfabrizierter Teile, deren Herstellung mittels fest eingestellter Maschinen und anschließender Montage sich in einen einheitlichen Takt fügen. Der Gang der Uhr wirkt dabei bis ins letzte Detail. Ohne diese Merkmale wäre das Fließband von geringem Nutzen, weil die Zahl der Schritte zu groß und der jeweilige Zeitaufwand viel zu uneinheitlich wäre und das Fließband zu oft angehalten werden müsste, weil Teile sich wegen Überschreitung von Toleranzen nicht montieren ließen. Die tiefe vertikale Integration, die den ursprünglichen Ansatz von Ford ausgezeichnet hatte (Nye 2013, S. 46-48), wurde seither immer weiter zurückgenommen und die Materialpuffer, die den starren Ablauf entzerren sollten, indem sie die harten Anforderungen an die Synchronisation milderten, in die Logistik, vorzugsweise auf die Straße, verlegt. Die IT wanderte in diesen Kontext einerseits über die Steuerung von Werkzeugmaschinen ein und andererseits, indem sie zum Werkzeug der Planung von Produkten und Prozessen sowie auch der Steuerung der letzteren wurde. Es ist vor allem der zweite Anwendungsbereich der IT, der die kombinatorische Explosion der Produktvarianten im Kontext einer Fertigung, die immer noch Massenfertigung blieb, ermöglichte. Allerdings hat auch diese Vielfalt ihren Preis, weshalb ihre Reduktion durchaus wieder ein Thema ist.

Der Aufbau aus passgenau gefertigten, standardisierten Teilen ist ein Konzept, das in der Waffenproduktion, insbesondere bei den technologisch anspruchsvollen Feuerwaffen mit verschleißanfälligen Teilen, schon seit dem 18. Jahrhundert verfolgt wurde. Deren Austausch konnte so schnell und ohne hohen Anpassungsaufwand durch Personal ohne anspruchsvolle Ausbildung erfolgen. Um das sicherzustellen, war in der Fertigung ein besonders großer Aufwand erforderlich, der Kosten verursachte, die nur Abnehmer mit tiefen Taschen, denen dieses Merkmal unerhört wichtig war – in diesem Fall die Kriegsministerien –, nicht abschreckten. Ein System für die kosteneffiziente Fertigung großer Stückzahlen wurde daraus erst, als die Techniken des Pressens von Blechen und der präzisen spanabhebenden Bearbeitung von gehärtetem Stahl die nötige Reife erreicht hatten. Für letzteres war wiederum der dezentrale elektrische Antrieb und dafür wiederum die Verfügbar-

keit von elektrischer Energie entscheidend. Das Kraftwerk gehört deshalb wesentlich zu den Ikonen des fordistischen Zeitalters wie den Fabriken in Highland Park und Wolfsburg.

Was kommt danach?

Die IT und der Computer als deren herausragende Erscheinung sind Geschöpfe des letzten Jahrhunderts. In ihnen vereinigten sich eine Reihe von wissenschaftlichen und technologischen Entwicklungen: der mathematischen Grundlagentheorie, der Linguistik, der Quantentheorie bzw. deren Anwendungen in diversen Feldern, der Optik, der chemischen Technologie u. a. Der Zeitraum, in dem sich diese Synthese vollzog, prägte sie entscheidend: der Zweite Weltkrieg und der sich, nach nur kurzer Unterbrechung, anschließende Kalte Krieg. Fragestellungen des Militärs – Ballistik, Kryptographie, Aufklärung, Entwicklung und Steuerung von Waffensystemen – sowie der Verwaltung, zunächst der staatlichen und dann zunehmend der von Konzernen, prägten die Technik von Anfang an. Der inhärente Zusammenhang von Informationstechnik, Kontrolle und Herrschaft kam dabei durchgängig zum Tragen. Der Bauingenieur Konrad Zuse (1910-1995), der nur die Rechenarbeit der Statiker erleichtern wollte und dann der Waffenentwicklung zuarbeiten musste, um sein Projekt zu realisieren, blieb eine Randfigur, über die die Geschichte hinwegging (Zuse 1993). Als Unternehmer im Sinne Schumpeters bzw. in der Rolle eines zweiten Gutenberg, der er gerne geworden wäre, scheiterte Zuse am Lauf der Zeiten. IT-Entwicklungen stammten sonst aus der überwiegend auf die Rüstung ausgerichteten Forschung an staatlichen Labors bzw. staatlich finanzierten Projekten an Universitäten. Sofern private Unternehmen involviert waren, waren sie dies im staatlichen Auftrag (Flamm 1988).

Nachdem aus dem Bau von Computern eine Industrie geworden war, waren ihre hauptsächlichen Abnehmer zunächst staatliche Stellen, und selbst nachdem dies nicht mehr der Fall war, maßten die Regierungen aller Länder, in denen es eine solche Industrie gab, ihr eine so hohe Bedeutung bei, dass sie diese in vielfältiger Weise unterstützten (Flamm 1987). Davon, dass die IT und der Computer aus dem kapitalistischen Streben nach Profit bzw. dessen Mehrung hervorgegangen wären, konnte nirgendwo die Rede sein. Dazu waren sie viel zu riskant. Dieses Streben äußerte sich in vielfältigen Versuchen, sie zu adaptieren, die durchaus auch Erfolge verzeichnen

konnten. Als Beispiel dafür kann die speicherprogrammierbare Steuerung als Arbeitspferd der industriellen Automatisierung gelten, deren Erfolg im Einzelfall jedoch immer noch von brauchbaren Konzepten und einem gelungenen Einführungsprozess abhängt. IT und Automatisierung sind keine Rezepte, die unabhängig von konkreten Anwendungsbedingungen und darauf zugeschnittenen Einführungsstrategien Erfolg versprechen. Ein kurzfristiges Wiederaufleben des Produktivitätsfortschritts in den Industrienationen, vor allem den USA, während der 1990er hatte vor allem mit der Rationalisierung im Handel und mit dem Wachstum der informationstechnischen Industrie selbst zu tun, das es erlaubte, die Leistungssteigerung durch Moore's Law mit Economies of Scale zu kombinieren (Gordon 2016, S. 579-589).

Das Grundproblem der IT liegt darin, dass sie nie eine spezielle Ingenieursdisziplin wie z. B. die Antriebstechnik werden kann, weil ihre Anwendungsfelder bei gegebener Infrastruktur und Aufgabenstellung keine allein physikalisch zu spezifizierenden Schnittstellen bieten, die durch standardisierte Module zu bedienen wären. Wie bereits anfangs hervorgehoben, stellt Rationalisierung im Sinne von Automatisierung bzw. einer Steigerung des Produkts pro Arbeitsstunde zudem nicht die einzige Zielsetzung bei Einführung von IT dar. Es geht immer auch und manchmal sogar zuerst um vertiefte Kontrolle über den Verwertungsprozess in seinen stofflichen und finanziellen Aspekten. Dies gilt insbesondere für die IT-Unterstützung des *Produktentstehungsprozesses* (PEP), die vor Jahrzehnten mit der Einführung von *Computer-Aided Design* (CAD) begann. Angetrieben einerseits von der Einsicht, dass die damit massenhaft erzeugten Zeichnungs- und Modell-daten von geringem Nutzen sind, solange sie inhaltlich unerschlossen bleiben, und andererseits von Zielen wie denen, Abläufe zu standardisieren und überprüfbar zu machen sowie nachgelagerte, auf Fertigung, Einkauf und Vertrieb bezogene Prozesse datentechnisch anzuschließen, wurde er seit den 1990ern zu einem bis heute recht uneinheitlich ausgeprägten Komplex von Softwaresystemen ausgebaut, der die Bezeichnung *Product Lifecycle Management* (PLM) trägt.

Mit der zunehmenden Ausstattung von Fertigungsanlagen und Erzeugnissen mit vernetzten Sensoren und Prozessoren verbindet sich heute mit PLM, dessen Bezeichnung, da es weit davon entfernt war, den gesamten Produktlebenszyklus zu umfassen, bisher nur unerfüllte Ambitionen ausdrückte, die Erwartung, diese Ambitionen doch noch realisieren zu können.

Die Ziele reichen dabei von einer optimierten Instandhaltung bis hin zum *Closed Loop Engineering*, d. h. dem Vorhaben, Daten aus dem Lebenszyklus zur Verbesserung und Weiterentwicklung von Anlagen und Erzeugnissen auszuwerten. Insbesondere die Hersteller von Investitionsgütern versprechen sich davon eine genauere Kenntnis des Geschäfts ihrer Kunden und hoffen, diese schneller mit genauer auf ihre Bedürfnisse angepassten Maschinen und komplementären Dienstleistungen bedienen zu können. Das Ergebnis ist dabei weniger Produktivitätssteigerung, als vielmehr eine verbesserte Wettbewerbsposition. Konflikträchtig sind jedoch Fragen wie die nach dem Eigentum an bzw. den Verfügungsrechten über die Daten und der konkreten Vorgehensweise bei ihrer Verteilung und Nutzung. Die Vernetzung der Artefakte konfiguriert mit den Grenzen, die das Privateigentum setzt, während hierarchische Konzepte der Kontrolle dazu tendieren, die wichtigste Wissensquelle: die Erfahrung derer, die die Anlagen bedienen und instandhalten, auszuschließen. Hier liegen auch Potenziale für die anstehende Rekonfiguration des menschlichen Stoffwechsels mit der Natur nach Gesichtspunkten des sparsamen Umgangs mit Ressourcen. Ein wirkliches PLM könnte das Redesign der Artefakte ebenso unterstützen wie die Aufarbeitung und Wiederverwendung von Teilen und Materialien.

Trotz der breiten Diffusion des Internet und eines wachsenden Spektrums damit vernetzter Technik während der letzten beiden Jahrzehnte war in diesem Zeitraum der rapide Anstieg der Produktivität, der davon erwartet wurde, nicht zu beobachten. Die Hoffnung richtet sich nun auf die vertiefte Vernetzung, ohne jedoch konkrete Anhaltspunkte nennen zu können. Das Internet selbst ist, wie schon der Computer, ein Produkt staatlichen Handelns, geboren aus dem Kalten Krieg. Es wurde zwar nicht, wie eine Legende behauptet, als atomkriegssicheres Kommandosystem, jedoch im Auftrag einer militärischen Behörde konzipiert. Der ging es in den 1970ern vor allem um die Vernetzung der für sie arbeitenden Forscher und die Teilung von Ressourcen, insbesondere von Großrechnern (Abbate 2000, Fischbach 2005, S. 90-112). Ziele wie Profit und dessen Steigerung spielten dabei keine Rolle: »The story of the Internet's origins departs from explanations of technical innovation that center on individual inventors or on the pull of markets. [...] The internet was not built in response to popular demand, real or imagined; its subsequent mass appeal had no part in the decisions made in 1973. Rather, the project reflected the command economy of military procurement,

where specialized performance is everything and money is no object, and the research ethos of the university, where experimental interest and technical elegance take precedence over commercial application. [...] Ironically, this unconventional approach produced a system that proved to have more appeal for potential ›customers‹ – people building networks – than did the overtly commercial alternatives that appeared soon after.« (Abbate 2000, S. 145)

Mit Feldern wie dem Internet, der Molekularbiologie und, seit wenigen Jahren, der Künstlichen Intelligenz (KI) verbindet sich die populäre Vorstellung, dass dort geniale Forscher und Erfinder, finanziert von wagemutigen Kapitalisten, großartige Innovationen vorantrieben. Dass die gerne zitierten Beispiele erfolgreicher, weithin bekannter Unternehmen in einem Umfeld staatlich geförderter Forschung entstanden sind, wird meist übersehen (Mazzucato 2013). Vor diesem Hintergrund ist die Haltung, solchen Unternehmen dominierende Positionen einzuräumen, zu hinterfragen. Notwendig wäre eine Fokussierung staatlicher Mittel auf die Schaffung einer öffentlichen Infrastruktur.

Einer kritischen Evaluation bedürfen in diesem Zusammenhang auch die gegenwärtig in Politik und Medien große, doch meist eher unkritische Aufmerksamkeit findenden Felder KI und Robotik. Roboter, die starr vorprogrammierte Operationen ausführen, befinden sich seit Jahrzehnten im industriellen Einsatz. Bekannte Beispiele sind die Schweiß- und Lackierroboter der Automobilindustrie. Eine neue Generation, die flexibel und zur Arbeit nicht im Käfig, sondern neben oder auch mit Menschen geeignet ist, wird jetzt verfügbar. Was ihren Einsatz bremst, ist das Problem, für diese auch brauchbare Konzepte auszuarbeiten. An solchen besteht weithin ein Mangel (Pfeiffer 2019a). Das geht nämlich nicht top-down vom Schreibtisch aus, sondern verlangt die Einbeziehung der Arbeiter – was viel Aufwand verursacht und die Abkehr von hierarchischen Automatisierungskonzepten erfordert.

Nicht minder hindernisreich ist die Verwandlung der KI aus einer »Distributivkraft« (Pfeiffer 2019b), also einer Technik, die, sieht man von ihrer militärischen Verwendung als Destruktivkraft ab, vor allem in der Werbung und im Online-Handel zum Einsatz kommt, in eine Produktivkraft. Der klassische Ansatz der Expertensysteme ist vor allem an der, wenn nicht unmöglichen, so doch unverhältnismäßigen Aufwand erzeugenden Aufgabe, intuitives, weitgehend implizites Wissen zu explizieren und zu formalisieren, größtenteils gescheitert. Mit den neuen, durch den Begriff *Maschinenlernen*

umschriebenen und vor allem auf Regression oder Mustererkennung mittels Statistik oder neuronalen Netzen beruhenden Ansätzen verbinden sich hochgespannte Erwartungen (Fischbach 2020). Doch deren tief hängenden Früchte sind zu einem großen Teil schon geerntet. Damit kann man z. B., was den Kern des Geschäfts der Internetplattformen ausmacht, die Streuverluste von Werbung entscheidend verringern, indem man aus den Verhaltensprofilen der Nutzer ableitet, mit welcher Wahrscheinlichkeit diese geneigt wären, bestimmte Produkte zu kaufen. Die Reduktion der Streuverluste von 99,9 % auf 60 % oder schon auf 90 % bringt für die Werbung einen gewaltigen Vorteil. Im technischen Bereich stellt dagegen ein Diagnose- oder Frühwarnsystem, das 50 % falsch-positive Ergebnisse liefert, keine große Hilfe dar, und eines mit 10 % falsch-negativen könnte zu einer Katastrophe führen. Nicht minder fragwürdig ist der Einsatz solcher Technik, wenn es um Leben oder auch nur um Lebenschancen geht. Der massenhafte Einsatz in Endbenutzersystemen, wie er in der Automatisierung des Individualverkehrs projiziert ist, verspricht keine Produktivitätsfortschritte, sondern gewaltige Skalierungsprobleme. Fortschritte, die zu praktisch einsetzbaren industriellen Systemen führen, sind möglich, doch verlangen sie, wie in der Robotik, großen Aufwand und mit der Einbeziehung der Träger von Erfahrungswissen ebenfalls eine Abkehr von hierarchischen Konzepten. Utopien, die sich von einer vollautomatischen Produktion die Überwindung des Kapitalismus versprechen, akzeptieren solche Konzepte nicht nur völlig unkritisch, sondern blähen sie, in völliger Ignoranz der Grundlagenprobleme wie auch der Abhängigkeit der IT-Systeme von ihrer gesellschaftlichen Einbettung, zur Totalen auf (Fischbach 2017). Noch zu erschließende Anwendungen liegen in der öffentlichen Infrastruktur für den Verkehr, für Reparatur und Wiederverwendung von Erzeugnissen, Komponenten und Materialien – Anwendungen, derer eine Gesellschaft bedarf, die ihren Naturstoffwechsel rationell regeln möchte. Ein öffentliches Informationsnetz mit Such- und Verzeichnisdiensten, die unabhängig von kommerziellen Interessen sind, stellt eine notwendige Ergänzung dazu dar. Die Investitionsschwäche der Unternehmen, die sich zu Nettosparern entwickelt haben, deutet darauf hin, dass diese sich aus der Rolle von Treibern der Innovationsdynamik, die sie phasenweise innegehabt haben, verabschieden. Für den Staat stellt sich damit, insbesondere hinsichtlich der Rekonfiguration des gesamten soziotechnischen Systems, unabweisbar die Forderung, diese Rolle zu übernehmen.

Das Verhältnis von technologischer Innovation zur Logik der Kapitalverwertung stellt sich aktuell wie schon historisch als weit komplizierter und, vor allem, spannungsreicher dar als es ein schlichtes instrumentelles Verständnis von Technik erwarten lässt. Entscheidend wird sein, die hier liegenden Brüche, Spannungsfelder und Potenziale zu identifizieren. Auch die Kapitalverwertung vermochte ihre Ziele nur zu erreichen, indem sie an einem Strom der technologischen Entwicklung zu partizipieren und diesen auch manchmal selektiv zu verstärken und in ihr genehme Richtungen zu lenken vermochte, ohne in der Lage zu sein, ihn selbst und seine Voraussetzungen zu erzeugen. Die große Herausforderung der Zukunft besteht in der Aneignung dieses Stroms und seiner Quellen durch die Menschheit, damit sie ihn auf menschliche Ziele hinlenke.

Technik gehört, neben der Sprache, zu dem, was die Menschheit ausmacht. Ihre Entwicklung geht der Entstehung des Kapitalismus Jahrtausende voraus. Die Kapitalverwertung konnte sich als dominanter gesellschaftlicher Prozess nur auf der Basis jener Entwicklung durchsetzen, ohne sie jemals vollständig treiben und determinieren zu können. Die Informationstechnik, die nicht erst mit der digital-elektronischen begann, ist beispielhaft für diese Inkongruenz. Kapitalverwertung selektiert und forciert bestimmte technische Entwicklungslinien, reibt sich aber oft genug an deren eigener Logik. Diese ist immer auch eine von Herrschaft über die äußere Natur wie über die innere des Menschen und zunehmend über den gesellschaftlichen Reproduktionsprozess. Informationstechnik basiert auf der vorausgehenden, auf stoffliche und energetische Prozesse gerichteten Technik, fügt dieser jedoch neue Dimensionen hinzu, indem sie Form und Inhalt von Kommunikation und Organisation, Forschung und Planung materiell repräsentiert und manipuliert, damit jedoch auch vertiefter Beherrschung zugänglich macht.

Literatur

- Abbate, J. (2000): *Inventing the Internet*. Cambridge MA: MIT Press.
- Abelshauer, W. (2003): *Kulturkampf: Der deutsche Weg in die neue Wirtschaft und die amerikanische Herausforderung*, Berlin
- Bauer, T. (2018): *Warum es kein islamisches Mittelalter gab: Das Erbe der Antike und der Orient*, München
- Bayerl, G. (Hg.) (1989): *Wind und Wasserkraft: Die Nutzung regenerierbarer Energiequellen in der Geschichte*. Düsseldorf

- Bayerl, G. (2013): Technik in Mittelalter und früher Neuzeit, Stuttgart
- Behringer, W. (2014): Kulturgeschichte des Klimas: Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung, 4. Aufl., München
- Braudel, F. (1985): Sozialgeschichte des 15.-18. Jahrhunderts: Der Alltag, München
- Brüggemeier, F.-J. (2018): Grubengold: Das Zeitalter der Kohle von 1750 bis heute, München
- Campbell, B. M. S. (2016): The Great Transition: Climate, Disease and Society in the Late-Medieval World. Cambridge: Cambridge University Press
- Cipola, C.M. (2011): Gezählte Zeit: Wie die mechanische Uhr das Leben veränderte, Berlin
- David-Sirocko, K., Sirocko, F. (2012): Bevölkerungswachstum und künstlerische Entfaltung zur Zeit des mittelalterlichen Wärmeoptimums, In: Sirocko 2012
- Dohrn-van Rossum, G. (1992): Die Geschichte der Stunde: Uhren und moderne Zeitordnung, München
- Fischbach, R. (2005): Mythos Netz: Kommunikation jenseits von Raum und Zeit? Zürich: Rotpunktverlag, www.academia.edu/40499993/Rainer_Fischbach_Mythos_Netz.
- Fischbach, R. (2016a): Mensch – Natur – Stoffwechsel: Versuche zur Politischen Technologie, Köln
- Fischbach, R. (2016b): Weshalb sind Softwareprojekte schwierig?, in: Fuchs-Kittowski, Kriesel, Informatik und Gesellschaft: Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski. Frankfurt a. M.
- Fischbach, R. (2017): Die schöne Utopie: Paul Mason, der Postkapitalismus und der Traum vom grenzenlosen Überfluss, Köln
- Fischbach, R. (2019): Digitale Revolution – oder digitale Scheinrevolution? in: Leibiger (2019), www.rainer-fischbach.info/fischbach_digitale_revolution_dd_2019.pdf
- Fischbach, R. (2020): Big data – big confusion: Weshalb es noch immer keine künstliche Intelligenz gibt. Berliner Debatte Initial, Heft 1
- Flamm, K. (1987): Targeting the Computer: Government Support and International Competition, Washington DC
- Flamm, Kenneth (1988): Creating the Computer: Government, Industry, and High Technology, Washington DC
- Fuchs-Kittowski, F., K., W. (2016): Informatik und Gesellschaft: Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, Frankfurt a. M.
- Füssel, S. (2004): Gutenberg und seine Wirkung. 2. Aufl., Frankfurt a. M.
- Gimpel, J. (1980): Die industrielle Revolution des Mittelalters, Zürich
- Gordon, R. J. (2016): The Rise and Fall of American Growth: The U.S. Standard of Living since the Civil War. Princeton NJ: Princeton University Press
- Haub, R. (2007): Die Geschichte der Jesuiten, Darmstadt
- Häufler, F. (2015): Wasserkraft in Augsburg, Augsburg
- Heßler, M. (2014): Die Halle 54 bei Volkswagen und die Grenzen der Automatisierung. Zeithistorische Forschungen/Studies in Contemporary History, 11, H. 1, 56-76, <https://zeithistorische-forschungen.de/1-2014/4996>, DOI: <https://doi.org/10.14765/zzf.dok-149>
- Hoffman, D. M., Weiss, D. M. (Hg.) (2001): Software Fundamentals: Collected Papers by David L. Parnas. Boston MA
- Hoffman, P.T. (2015): Why Did Europe Conquer the World? Princeton NJ: Princeton University Press
- Hounshell, D.A. (1984): From the American System to Mass Production, 1800-1932: The Development of Manufacturing Technology in the United States. Baltimore ML: Johns Hopkins University Press

- Jones, B. (1997): *Forcing the Factory of the Future: Cybernation and Societal Institutions*. Cambridge: Cambridge University Press
- Jones, N. (2018): How to stop data centres from gobbling up the world's electricity. *Nature*, 12. September, www.nature.com/articles/d41586-018-06610-y.
- Kapr, A. (1986): *Johannes Gutenberg: Persönlichkeit und Leistung*. Leipzig
- Kuhn, D. (2014): Ostasien bis 1800, in: *Neue Fischer Weltgeschichte*; Band 13, Frankfurt a. M.
- Leibiger, J. (Hg.) (2019): *Digitale Revolution und Gesellschaft: Was bringen die Roboter?* Leipzig: Rosa-Luxemburg-Stiftung Sachsen.
- Malm, A. (2016): *Fossil Capital: The Rise of Steam Power and the Roots of Global Warming*, London
- Marx, K. (1863): Brief an Engels, 28. Januar (In: Karl Marx, Friedrich Engels: *Ausgewählte Briefe*, Berlin
- Marx, K. (1890): *Das Kapital: Kritik der politischen Ökonomie*. Erster Band: *Der Produktionsprozeß des Kapitals*. 4. Aufl., Hamburg
- Marx, K. (1893): *Das Kapital: Kritik der politischen Ökonomie*. Zweiter Band: *Der Zirkulationsprozeß des Kapitals*. 2. Aufl., Hamburg
- Mazzucato, M. (2013): *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*, London
- Minchington, W. (1989): *The Energy Basis of the British Industrial Revolution*, in: Bayerl 1989
- Needham, J. (1979): *Wissenschaftlicher Universalismus: Über Bedeutung und Besonderheit der chinesischen Wissenschaft*. Frankfurt a. M.
- Noble, D. E. (1986): *Forces of Production: A Social History of Industrial Automation*. Oxford: Oxford University Press
- Nye, D. E. (2013): *America's Assembly Line*. Cambridge MA: MIT Press
- Parnas, D. L. (1994): *Software Aging*, in: Hoffman, Weiss 2001
- Pfeiffer, S. (2019a): *Produktivkraft konkret: Vom schweren Start der Leichtbauroboter*. Berlin: Rosa Luxemburg Stiftung, www.rosalux.de/publikation/id/41382/produktivkraft-konkret
- Pfeiffer, S. (2019b): *Produktiv- oder Destruktivkraft? Zum aktuellen KI-Einsatz in Unternehmen. Zukunft der Arbeit – soziotechnische Gestaltung der Arbeitswelt im Zeichen von »Digitalisierung« und »Künstlicher Intelligenz«*, Tagung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Berlin, 13. Dezember
- Pickl, O. (1986): *Die Steiermark als Gewerbe- und Industrielandschaft vom Spätmittelalter bis zur Gegenwart: Zur Entstehung moderner Industriereviere in alten Fortschrittsregionen*, in: Pohl 1986
- Pohl, H. (Hg.) (1986): *Gewerbe- und Industrielandschaften vom Spätmittelalter bis ins 20. Jahrhundert*, Stuttgart
- Roeck, B. (2017): *Der Morgen der Welt: Geschichte der Renaissance*, München
- Ruddiman, W. F. (2016): *Plows, Plagues, and Petroleum: How Humans Took Control of Climate*. 3. Aufl., Princeton NJ: Princeton University Press (Princeton Science Library)
- Schonberger, R. J. (1988): *Produktion auf Weltniveau: Wettbewerbsvorteile durch integrierte Fertigung*, Frankfurt a. M.
- Schumpeter, J. A. (1934): *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung: eine Untersuchung über Unternehmensgewinn, Kapital, Kredit, Zins und den Konjunkturzyklus*. 4. Aufl., Berlin
- Schumpeter, J. A. (1976): *Capitalism, Socialism and Democracy*, New York
- Sirocko, F. (Hg.) (2012): *Wetter, Klima, Menschheitsentwicklung: Von der Eiszeit bis ins 21. Jahrhundert*. 3. Aufl., Darmstadt

- Stromer von, W. (1986): Gewerebereviere und Protoindustrien in Spätmittelalter und Frühneuzeit, in: Pohl 1986
- Wittfogel, K. A. (1931): Wirtschaft und Gesellschaft Chinas: Versuch der wissenschaftlichen Analyse einer großen asiatischen Agrargesellschaft, Leipzig, Hirschfeld (Schriften des Instituts für Sozialforschung an der Universität Frankfurt a. M., Band 3)
- Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D. (1991): Die zweite Revolution in der Automobilindustrie. 2. Aufl., Frankfurt a. M.
- Zuse, K. (1993): Der Computer – Mein Lebenswerk. 3. Aufl., Berlin