

---

## Was für eine Revolution?

„Der Gradualismus“, so schrieb der Paläontologe Stephen J. Gould, „also die Vorstellung, aller Wandel müsse sanft, langsam und stetig verlaufen, hatte niemals eine empirische Grundlage. Es handelt sich hier um eine verbreitete, kulturell begründet verzerrte Sichtweise, die teilweise eine Reaktion des Liberalismus des 19. Jahrhunderts auf eine Welt voller Revolution war. Aber diese Sichtweise färbt noch immer unsere angeblich objektive Interpretation der Geschichte des Lebens. ... Aus meiner Sicht ist die Geschichte des Lebens eine Abfolge von stabilen Zuständen, die in seltenen Intervallen durch wesentliche Ereignisse unterbrochen wird. Diese verlaufen mit großer Geschwindigkeit und tragen dazu bei, die nächste Ära der Stabilität zu begründen.“<sup>1</sup> Mein Ausgangspunkt ist die Annahme, mit der ich nicht allein stehe,<sup>2</sup> dass wir am Ende des 20. Jahrhunderts eines dieser seltenen historischen Intervalle durchlebt haben. Dieses Intervall war bestimmt von der Transformation unserer „materiellen Kultur“<sup>3</sup> durch die Auswirkungen

---

1 Gould (1980: 226).

2 Melvin Kranzberg, einer der führenden Technologie-Historiker, schrieb: „Das Informationszeitalter hat die technischen Elemente der Industriegesellschaft wahrlich revolutioniert“ (1985: 42). Und zu den gesellschaftlichen Folgen: „Zwar mag dies evolutionär in dem Sinne sein, dass nicht alle Veränderungen und Gewinne über Nacht erkennbar sind, aber es wird in seinen Konsequenzen für unsere Gesellschaft revolutionär sein“ (1985: 52). Ähnlich argumentieren etwa auch Nora und Minc (1978); Dizard (1982); Perez (1983); Forester (1985); Darbon und Robin (1987); Stourdze (1987); Dosi u. a. (1988a); Bishop und Waldholz (1990); Salomon (1992); Petrella (1993); Ministerium für Post und Telekommunikation (Japan) (1995); Negroponte (1995).

3 S. zur Definition der Technologie als „materielle Kultur“, die ich für die angemessene soziologische Sichtweise halte, die Überlegungen in Fischer (1992: 1-32), bes.: „Technologie bedeutet hier etwas Ähnliches wie die Idee der materiellen Kultur.“

eines neuen technologischen Paradigmas, das um die Informationstechnologien herum organisiert ist.

Unter Technologie verstehe ich in unmittelbarem Anschluss an Harvey Brooks und Daniel Bell den „Einsatz wissenschaftlicher Kenntnisse zur Bestimmung der Mittel und Wege, etwas auf *wiederholbare* Weise zu tun“<sup>4</sup>. Unter Informationstechnologien fasse ich wie alle anderen die *konvergierende Gruppe* von Technologien in den Bereichen Mikroelektronik, Computer (Hardware und Software), Funk und Telekommunikation und elektronische Optik zusammen.<sup>5</sup> Zusätzlich schließe ich abweichend von manchen Analysten in den Bereich der Informationstechnologien auch die Gentechnik mit ihren expandierenden Entwicklungen und Anwendungen mit ein.<sup>6</sup> Der Grund liegt nicht nur darin, dass Gentechnik sich mit der Entschlüsselung, Manipulation und schließlich auch mit der Reprogrammierung der in lebendiger Materie enthaltenen Informationscodes befasst. Darüber hinaus scheinen die Biologie, die Elektronik und die Informatik in ihren Anwendungen, in ihren Materialien und grundsätzlich noch in ihrer konzeptionellen Herangehensweise sich einander anzunähern und zu interagieren.<sup>7</sup> Darauf wird in diesem Kapitel noch zurückzukommen sein.

Um diesen Kern von Informationstechnologien in dem hier definierten weiten Sinne ist es während der letzten beiden Jahrzehnte zu einer ganzen Konstellation von weitreichenden technologischen Durchbrüchen gekommen – u. a. bei den hochentwickelten Werkstoffen, bei der Energieerzeugung, bei medizinischen Anwendungen, Fertigungstechniken (aktuell oder, wie im Fall der Nanotechnologie, potenziell) und in der Transporttechnologie.<sup>8</sup> Außerdem expandiert der gegenwärtige Prozess der technologischen Transformation exponentiell aufgrund seiner Fähigkeit, durch digitale Sprache eine Schnittstelle zwischen technologischen Bereichen zu schaffen, in der Informationen erstellt, gespeichert, aufgerufen, verarbeitet und weitergeleitet werden können. Wir leben in einer Welt, die – wie Nicholas Negroponte es formuliert hat – digital geworden ist.<sup>9</sup>

---

4 Brooks (1971: 13), zit. nach einem unveröffentlichten Text unter Hinzufügung der Hervorhebung bei Bell (1976: 29).

5 Saxby (1990); Mulgan (1991).

6 Hall (1987); Marx (1989).

7 Eine stimulierende, informierte, wenn auch kontroverse Darstellung der Konvergenz zwischen der biologischen Revolution und der Revolution im weiteren Bereich der Informationstechnologie gibt Kelly (1995).

8 Forester (1988); Edquist und Jacobsson (1989); Herman (1990); Drexler und Peterson (1991); Lincoln und Essin (1993); Dromdero (1995); Lovins und Lovins (1995); Lyon und Gormer (1995).

9 Negroponte (1995).

Die prophetische Pose und die ideologische Manipulation, die für die meisten Diskurse über die Revolution in der Informationstechnologie charakteristisch sind, sollten uns nicht dazu verleiten, ihre wirklich grundlegende Bedeutung zu unterschätzen. Wie dieses Buch zu zeigen versucht, handelt es sich um ein historisches Ereignis, dessen Bedeutung mindestens so groß ist wie die der industriellen Revolution im 18. Jahrhundert. Sie bringt nämlich in die materiellen Grundlagen von Wirtschaft, Gesellschaft und Kultur ein Muster der Unstetigkeit ein. Die Geschichte der technologischen Revolutionen<sup>10</sup> zeigt, dass diese stets durch ihre *Durchgängigkeit* charakterisiert waren, d. h., dass sie sämtliche Bereiche menschlicher Tätigkeit durchdrangen, und zwar nicht als äußerlicher Wirkungsmechanismus, sondern als das Gefüge selbst, in das diese Tätigkeit eingebunden ist. Mit anderen Worten, *sie sind* – über das Erzeugen neuer Produkte hinaus – *prozessorientiert*. Andererseits bezieht sich – anders als bei jeder anderen Revolution – *der Kern* der Transformation, die wir in der aktuellen Revolution erleben, auf *Technologien der Informationsverarbeitung und der Kommunikation*.<sup>11</sup> Informationstechnologie ist

---

10 Kranzberg und Pursell (1967).

11 Ein vollständiges Verständnis der augenblicklichen technologischen Revolution würde die Untersuchung der Besonderheit der neuen Informationstechnologien im Vergleich zu ihren historischen Vorfahren mit ebenso revolutionärem Charakter erfordern, also der Entdeckung des Buchdrucks in China vermutlich im siebenten und in Europa im 15. Jahrhundert – ein klassisches Thema der kommunikationswissenschaftlichen Literatur. Ich kann mich im Rahmen dieses Buches, in dem es vor allem um die soziologische Dimension des technologischen Wandels geht, mit dieser Frage nicht auseinandersetzen, möchte aber einige Hinweise auf interessante Themenstellungen geben. Die Informationstechnologien auf elektronischer Grundlage (einschließlich des elektronischen Druckens) zeichnen sich durch unvergleichliche Speicherkapazität sowie durch die Geschwindigkeit aus, mit der Bits kombiniert und weitergeleitet werden können. Elektronischer Text erlaubt eine wesentlich höhere Flexibilität bei der Rückkopplung, Interaktion und Neukonfiguration von Texten, wie jeder bestätigen wird, der mit Textverarbeitung arbeitet. Das verändert den Prozess der Kommunikation selbst. Die Online-Kommunikation ermöglicht zusammen mit der Flexibilität des Textes die allgegenwärtige, asynchrone Programmierung in Raum und Zeit. Was die sozialen Auswirkungen der Informationstechnologien angeht, schlage ich die Hypothese vor, dass die Tiefe ihrer Wirkung eine Funktion der Durchdringung der gesamten Sozialstruktur mit Information ist. So hat der Buchdruck zwar die europäischen Gesellschaften in der Neuzeit wesentlich und in geringerem Maße auch das mittelalterliche China beeinflusst, doch waren seine Auswirkungen wegen des weit verbreiteten Analphabetentums in der Bevölkerung und wegen der geringen Intensität von Information in der produktiven Struktur relativ begrenzt. Deshalb hat die Industriegesellschaft, indem sie ihre Bürger ausgebildet und die Wirtschaft allmählich um Wissen und Information herum organisiert hat, den Boden für den Machtzuwachs des menschlichen Verstandes bereitet, der eintritt, als die neuen Informationstechnologien verfügbar wurden. Einen historischen

für diese Revolution, was neue Energiequellen für die verschiedenen industriellen Revolutionen waren – von der Dampfmaschine zur Elektrizität, zu fossilen Brennstoffen und bis zur Kernenergie –, denn die Erzeugung und Verteilung von Energie war das Schlüsselement, das der Industriegesellschaft zugrunde lag.

Aber diese Feststellung der überragenden Rolle der Informationstechnologie wird häufig dadurch verwässert, dass die gegenwärtige Revolution als grundlegend abhängig von neuem Wissen und Information verstanden wird. Das trifft zwar auf den augenblicklichen Prozess technologischen Wandels zu, gilt aber ebenso für frühere technologische Revolutionen, wie führende Technologiehistoriker, etwa Melvin Kranzberg und Joel Mokyr gezeigt haben.<sup>12</sup> Die erste industrielle Revolution beruhte, obwohl sie nicht wissenschaftsbasiert war, auf der extensiven Nutzung von Information sowie der Anwendung und Weiterentwicklung zuvor bestehenden Wissens. Und die zweite industrielle Revolution nach 1850 war charakterisiert durch die entscheidende Rolle der Wissenschaft bei der Anregung von Innovation. In der Tat entstanden die ersten Forschungs- und Entwicklungslabors während der letzten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts in der deutschen Chemieindustrie.<sup>13</sup>

Das Charakteristische der gegenwärtigen technologischen Revolution ist nicht die zentrale Bedeutung von Wissen und Information, sondern die Anwendung dieses Wissens und dieser Information zur Erzeugung neuen Wissens und zur Entwicklung von Geräten zur Informationsverarbeitung und zur Kommunikation, wobei es zu einer kumulativen Rückkopplungsspirale zwischen der Innovation und ihrem Einsatz kommt.<sup>14</sup> Hier eine Illustration dazu: Die Nutzung der neuen Telekommunikationstechnologien hat in den letzten beiden Jahrzehnten drei deutlich markierte Stadien durchlaufen: die Automatisierung von Arbeiten, das Experimentieren mit Nutzungsformen und eine Neukonfigurierung von Anwendungen.<sup>15</sup> Während der ersten beiden Stadien ist die technologische Innovation mittels Lernen *durch Anwenden* vorangekommen, um Rosenbergs Terminologie zu verwenden.<sup>16</sup> In der dritten Phase haben die Anwender die Technologie *durch Verwenden* gelernt, haben

---

Kommentar zu dieser älteren informationstechnologischen Revolution geben Boureau u. a. (1989). Zu einigen Elementen der Debatte über die technologische Besonderheit der elektronischen Kommunikation einschließlich der Perspektive von McLuhan s. Kap. 5.

12 M. Kranzberg, „Prerequisites for industrialization“, in Kranzberg und Pursell (1967: I, Kap. 13); Mokyr (1990).

13 Ashton (1948); Clow und Clow (1952); Landes (1969); Mokyr (1990: 112).

14 Dizard (1982); Forester (1985); Hall und Preston (1988); Saxby (1990).

15 Bar (1990).

16 Rosenberg (1982); Bar (1992).

am Ende die Systeme neu konfiguriert und neue Anwendungen herausgefunden. Unter dem neuen technologischen Paradigma dreht sich die Rückkopplungsspirale zwischen der Einführung einer neuen Technologie, ihrer Anwendung und ihrer Entwicklung für neue Bereiche viel schneller. Deshalb führt die Ausbreitung einer Technologie zu einer endlosen Verstärkung ihrer Macht, indem sie durch die Anwendung angeeignet und neu definiert wird. Die neuen Informationstechnologien sind nicht einfach Werkzeuge, die benutzt werden, sondern Prozesse, die entwickelt werden (müssen). Anwender könnten Entwickler werden. Also können Anwender die Kontrolle über die Technologie übernehmen, wie im Falle des Internet (s. weiter unten in diesem Kapitel und Kapitel 5). Es besteht daher eine enge Beziehung zwischen den sozialen Prozessen, in denen Symbole geschaffen und manipuliert werden – der Kultur einer Gesellschaft – und der Fähigkeit, Güter und Dienstleistungen zu produzieren und zu verteilen – den Produktivkräften. Zum ersten Mal in der Geschichte ist der menschliche Verstand eine unmittelbare Produktivkraft und nicht nur ein entscheidendes Element im Produktionssystem.

Demnach sind Computer, Kommunikationssysteme, die Entschlüsselung des genetischen Codes und seine Programmierung Verstärkungen und Erweiterungen des menschlichen Geistes. Was wir denken, wie wir denken, wird ausgedrückt in Gütern, Dienstleistungen, materiellem und intellektuellem Output, ob es sich nun um Nahrungsmittel, Wohnungen, Transport- und Kommunikationssysteme, Computer, Raketen, Gesundheit, Bildung oder Bilder handeln mag. Die zunehmende Integration zwischen Gehirnen und Maschinen einschließlich der DNA-Maschine hebt das auf, was Bruce Mazlish als die „vierte Diskontinuität“<sup>17</sup> bezeichnet, nämlich die zwischen Mensch und Maschine. Damit verändert sich fundamental die Art und Weise, wie wir geboren werden, wie wir leben, wie wir lernen, wie wir arbeiten, wie wir produzieren, wie wir konsumieren, wie wir träumen, wie wir kämpfen und wie wir sterben. Natürlich werden kulturell/institutionelle Kontexte und zielbewusstes soziales Handeln mit dem neuen technologischen System interagieren müssen, aber dieses System hat seine eigene inhärente Logik und ist durch die Fähigkeit, jeglichen Input in ein gemeinsames Informationssystem zu übersetzen und diese Information mit zunehmender Geschwindigkeit, mit zunehmender Macht und zu abnehmenden Kosten in einem potenziell allgegenwärtigen Verfügungs- und Verteilungsnetzwerk zu verarbeiten.

Es gibt noch ein weiteres Charakteristikum, das die Revolution in der Informationstechnologie im Vergleich zu ihren Vorläuferinnen auszeichnet. Mokyr<sup>18</sup> hat gezeigt, dass frühere technologische Revolutionen nur in wenigen Gesellschaften

---

17 Mazlish (1993).

18 Mokyr (1990: 209ff., 293).

stattfanden, sich auf ein relativ begrenztes geografisches Gebiet ausbreiteten und oft in gegenüber anderen Regionen des Planeten isolierten Räumen und Zeiten wirkten. So hat Europa zwar einige der Entdeckungen übernommen, die in China gemacht wurden, aber China und Japan haben viele Jahrhunderte lang europäische Technologie nur in sehr begrenztem Maße angenommen, hauptsächlich beschränkt auf militärische Anwendungen. Der Kontakt zwischen Zivilisationen auf unterschiedlichen technologischen Niveaus nahm oft die Form der Zerstörung der am geringsten Entwickelten oder derjenigen an, die ihr Wissen vorrangig auf nicht-militärische Technologie angewendet hatten wie im Fall der amerikanischen Zivilisationen, die von den spanischen Konquistadoren vernichtet wurden, manchmal durch zufällige biologische Kriegführung.<sup>19</sup> Die industrielle Revolution hat sich von ihrem Ursprung an den Küsten Westeuropas während der folgenden beiden Jahrhunderte in der Tat auf den größten Teil des Globus ausgebreitet. Aber ihre Ausbreitung erfolgte höchst selektiv und gemessen an den gegenwärtigen Standards technologischer Diffusion ziemlich langsam. Sogar in Großbritannien waren noch Mitte des 19. Jahrhunderts Wirtschaftsbereiche, die für die Mehrheit der Beschäftigung und mindestens für die Hälfte des Bruttosozialproduktes sorgten, von den neuen Technologien noch überhaupt nicht berührt.<sup>20</sup> Darüber hinaus nahm das weltweite Ausgreifen der industriellen Revolution in den folgenden Jahrzehnten in den meisten Fällen die Form kolonialer Herrschaft an, so in Indien unter dem Britischen Imperium, in Lateinamerika unter der kommerziell-industriellen Abhängigkeit von Großbritannien und den Vereinigten Staaten, in der Zerstückelung Afrikas nach dem Berliner Vertrag oder in der Öffnung Japans und Chinas für den ausländischen Handel durch die Kanonen westlicher Schiffe. Im Gegensatz dazu haben sich die neuen Informationstechnologien mit Blitzgeschwindigkeit innerhalb von weniger als zwei Jahrzehnten zwischen Mitte der 1970er und Mitte der 1990er Jahre über den gesamten Globus ausgebreitet. Das macht die Logik deutlich, die ich als charakteristisch für diese technologische Revolution betrachte: die unmittelbare Anwendung der Technologien, die sie hervorbringt, auf ihre eigene weitere Entwicklung in der Vernetzung der Welt mittels Informationstechnologie.<sup>21</sup> Sicherlich gibt es große Gebiete auf der Welt und beträchtliche Bevölkerungsteile, die von dem neuen technologischen System ausgeschlossen sind: Das genau ist eine der zentralen Thesen dieses Buches. Und die Geschwindigkeit der technologischen Diffusion verhält sich selektiv, und zwar sowohl gesellschaftlich wie funktional. Der Zeitverzug beim Zugang zur Macht über die Technologie für Menschen, Länder und

---

19 S. z. B. Thomas (1993).

20 Mokyr (1990: 83).

21 Pool (1990); Mulgan (1991).

Regionen ist eine entscheidende Quelle der Ungleichheit in unserer Gesellschaft. Die ausgeschlossenen Gebiete sind kulturell und räumlich ohne Zusammenhang: Sie liegen in den US-amerikanischen Innenstädten oder in den französischen *banlieues* ebenso wie in den *shantytowns* von Afrika oder in den unterentwickelten ländlichen Gebieten Chinas und Indiens. Aber die technisch dominanten, gesellschaftlichen Gruppen und Territorien sind zu Beginn des 21. Jahrhunderts quer über den Globus miteinander verbunden, innerhalb eines neuen technologischen Systems, das erst in den 1970er Jahren begonnen hat, Form anzunehmen.

Wie kam es zu dieser grundlegenden Transformation innerhalb eines Zeitraums, der nicht mehr ist als ein historischer Augenblick? Warum breitet sie sich in solch rasantem, wenn auch ungleichmäßigem Tempo über den ganzen Globus aus? Warum ist es eine „Revolution“? Da unsere Erfahrung des Neuen durch unsere jüngere Vergangenheit bestimmt ist, halte ich es für die Beantwortung dieser grundlegenden Fragen für hilfreich, wenn wir uns kurz an die Geschichte der industriellen Revolution erinnern, die noch immer in unseren Institutionen und damit auch in unserer Vorstellungswelt präsent ist.

---

## Lehren aus der industriellen Revolution

Die Geschichtswissenschaft hat gezeigt, dass es zumindest zwei industrielle Revolutionen gegeben hat: Die erste begann im letzten Drittel des 18. Jahrhunderts und war gekennzeichnet durch neue Technologien wie die Dampfmaschine, die *spinning jenny*, das Puddelverfahren in der Metallurgie und im weiteren Sinn durch die Ersetzung von Hand-Werkzeugen durch Maschinen. In der zweiten spielten etwa 100 Jahre später die Entwicklung der Elektrizität, der Verbrennungsmotor, effizienter Stahlguss und mit der Verbreitung des Telegrafen und der Erfindung des Telefons die Anfänge der Kommunikationstechnologien die herausragende Rolle. Zwischen beiden gibt es grundlegende Kontinuitäten und ebenso einige wesentliche Unterschiede. Der wichtigste ist die entscheidende Bedeutung naturwissenschaftlicher Kenntnisse für die Aufrechterhaltung und Richtungsgebung der technologischen Entwicklung nach 1850.<sup>22</sup> Gerade wegen ihrer Unterschiede

---

22 Singer u. a. (1958); Mokyr (1985). Jedoch gab es, wie Mokyr selbst bemerkt, auch in der ersten industriellen Revolution in Großbritannien eine Schnittstelle zwischen Naturwissenschaft und Technik. So hat Watt seine entscheidende Verbesserung der von Newcomen entworfenen Dampfmaschine in engem Austausch mit seinem Freund und Förderer Joseph Black erarbeitet, der Professor für Chemie an der Universität Glasgow war, wo Watt 1757 zum „Mathematical Instrument Maker to the University“ ernannt

können Eigenschaften, die beiden gemeinsam sind, wertvolle Hinweise für ein Verständnis der Logik technologischer Revolutionen liefern.

Vor allem anderen beobachten wir in beiden Fällen das, was Mokyr als nach historischen Maßstäben eine Periode „beschleunigten und nie dagewesenen technologischen Wandels“<sup>23</sup> bezeichnet. Eine Serie von Groß-Erfindungen bereitete den Boden für das Aufblühen von Mikro-Erfindungen in den Bereichen Landwirtschaft, Industrie und Kommunikation. In die materielle Basis der menschlichen Spezies wurde auf irreversible Weise eine grundlegende historische Diskontinuität hineingebracht. Dies erfolgte in einem pfadabhängigen Prozess, dessen innere, sequenzielle Logik von Paul David erforscht und von Brian Arthur theoretisch begründet worden ist.<sup>24</sup> Dies waren wirklich „Revolutionen“ in dem Sinne, dass eine plötzlich auftretende Welle technologischer Anwendungen die Prozesse der Produktion und Distribution transformierte, eine Flut neuer Produkte schuf und in entscheidender Weise die Orte von Reichtum und Macht auf dem Planeten verschob. Dieses geriet in den Zugriff von Ländern und Eliten, die in der Lage waren, das neue technologische System zu meistern. Die dunkle Seite dieses technologischen Abenteuers zeigt sich in seiner unlösbaren Verflechtung mit imperialistischen Bestrebungen und inter-imperialistischen Konflikten.

Aber das ist gerade eine Bestätigung für den revolutionären Charakter der neuen industriellen Technologien. Der historische Aufstieg des so genannten Westens, der in Wirklichkeit auf England und eine Handvoll Länder in Westeuropa sowie auf ihre nordamerikanischen und australischen Ableger beschränkt war, ist auf grundlegende Weise verbunden mit der technologischen Überlegenheit, die das Ergebnis der beiden industriellen Revolutionen war.<sup>25</sup> Nichts anderes in der kulturellen, wissenschaftlichen, politischen oder militärischen Geschichte der Welt vor der industriellen Revolution kann diese unleugbare „westliche“ (angelsächsisch/deutsche und eine Spur französische) Überlegenheit zwischen den 1750er und den 1940er Jahren erklären. China war für den größten Teil der Geschichte vor der Renaissance eine bei weitem überlegene Kultur; die muslimische Zivilisation – wenn ich mir die Freiheit nehmen darf, sie so zu nennen – beherrschte einen

---

wurde, und wo er an einem Modell der Newcomen-Maschine eigene Experimente durchführte, s. Dickinson (1958). Ubbelohde (1958: 673) berichtet sogar, dass „Watts Entwicklung eines Dampfkondensators, der von dem Zylinder getrennt war, in dem sich der Kolben bewegte, eng mit den naturwissenschaftlichen Forschungen von Joseph Black (1728-1799), des Professors für Chemie an der Universität Glasgow, verbunden und durch sie inspiriert war“.

23 Mokyr (1990: 82).

24 David (1975); David und Bunn (1988); Arthur (1989).

25 Rosenberg und Birdzell (1986).



großen Teil des Mittelmeerraumes und übte während der gesamten Neuzeit bedeutsamen Einfluss auf Afrika und Asien aus. Asien und Afrika waren im Großen und Ganzen die gesamte Zeit hindurch um autonome kulturelle und politische Zentren herum organisiert; Russland herrschte in seiner *splendid isolation* über eine riesige Weite, die quer durch Osteuropa und Asien reichte. Und das spanische Imperium, die Nachzügler-Kultur im Europa der industriellen Revolution, war nach 1492 für mehr als zwei Jahrhunderte die größte Weltmacht. Erst die Technologie als Ausdruck spezifischer sozialer Bedingungen führte in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts auf einen neuen historischen Pfad.

Dieser Pfad ging von Großbritannien aus, obwohl sich seine intellektuellen Wurzeln über ganz Europa hinweg auf den Entdeckungsgeist der Renaissance zurückverfolgen lassen.<sup>26</sup> Tatsächlich betonen manche Historiker, das notwendige Wissen für die industrielle Revolution sei schon 100 Jahre zuvor vorhanden gewesen, bereit, unter dafür reifen gesellschaftlichen Bedingungen genutzt zu werden; oder es hat, wie andere meinen, auf die technische Genialität solcher autodidaktischer Erfinder wie Newcomen, Watt, Crompton oder Arkwright gewartet, die es vermochten, die vorhandenen Kenntnisse mit handwerklicher Fertigkeit zu kombinieren und in die entscheidenden neuen industriellen Technologien zu übersetzen.<sup>27</sup> Doch die zweite industrielle Revolution, die stärker von neuem naturwissenschaftlichem Wissen abhängig war, verlagerte ihr Gravitationszentrum nach Deutschland und in die Vereinigten Staaten, wo die wichtigsten Entwicklungen in Chemie, Elektrizität und Fernsprechwesen stattfanden.<sup>28</sup> Die Historiker haben mit großer Sorgfalt die gesellschaftlichen Bedingungen der wechselhaften Geografie technischer Innovation herauspräpariert, wobei oft die Charakteristika des Bildungs- und Wissenschaftssystems oder die Institutionalisierung von Patentrechten ins Blickfeld rückten. Kontexterklärungen für den ungleichmäßigen Entwicklungspfad technologischer Innovation scheinen jedoch extrem offen für alternative Interpretationen zu sein. Hall und Preston zeigen in ihrer Analyse der wechselnden Geografie technologischer Innovation zwischen 1846 und 2003 die Bedeutung *lokaler* Pflanzstätten der Innovation, unter denen Berlin, New York und Boston zu „hochtechnologischen Industriezentren der Welt“ zwischen 1840 und 1914 gekrönt werden, während „London in dieser Periode nur ein matter Schatten Berlins war“.<sup>29</sup> Der Grund liegt in der territorialen Basis für das Ineinandewirken von Systemen technologischer

---

26 Singer u. a. (1957).

27 Rostow (1975); s. Jewkes u. a. (1969) für dieselbe Überlegung und Singer u. a. (1958) für historische Belege.

28 Mokyr (1990).

29 Hall und Preston (1988: 123).

Entdeckungen und ihre Anwendungen, also in den synergetischen Eigenschaften dessen, was in der Literatur als „Innovationsmilieus“ bezeichnet wird.<sup>30</sup>

Die technologischen Durchbrüche sind in Clustern von Innovationen aufgetreten, die in einem Prozess zunehmender Gewinnhäufigkeit ineinandergriffen. Welche Bedingungen auch immer zu solchen Clustern geführt haben, so besteht doch die hier festzuhaltende Schlüssellektion darin, dass *technologische Innovation kein isoliertes Ereignis ist*.<sup>31</sup> Sie ist Ausdruck eines gegebenen Wissensstandes, einer bestimmten institutionellen und industriellen Umwelt, einer gewissen Verfügbarkeit von Fertigkeiten, ein technologisches Problem zu definieren und zu lösen, einer ökonomischen Mentalität, solche Anwendungen gewinnbringend einzusetzen, und eines Netzwerkes von Produzenten und Nutzern, die ihre Erfahrungen kumulativ miteinander austauschen können und dabei durch Benutzung und Veränderung lernen: Eliten lernen durch Veränderung, indem sie die Anwendung einer Technologie modifizieren, während die meisten Leute durch das Anwenden lernen und so innerhalb der Beschränkungen einer gegebenen Anwendung verbleiben. Das Zusammenwirken von Systemen technologischer Innovation und ihre Abhängigkeit von bestimmten „Milieus“, in denen ein Austausch über Ideen, Probleme und Lösungen stattfindet, sind kritische Merkmale, die aus der Erfahrung früherer Revolutionen für die gegenwärtige verallgemeinert werden können.<sup>32</sup>

Die positiven Auswirkungen der neuen industriellen Technologien auf das Wirtschaftswachstum, auf den Lebensstandard und auf den Triumph des Menschen über eine feindliche Natur sind abzulesen aus der dramatischen Verlängerung der Lebenserwartung, die sich vor dem 18. Jahrhundert nicht stetig verbessert hatte. Aber sie kamen trotz Verbreitung von Dampfmaschine und neuen Maschinen nicht rasch. Mokyr erinnert daran, dass „der Pro-Kopf-Verbrauch und der Lebensstandard anfangs [Ende des 18. Jahrhunderts] wenig anstiegen, [dass] aber in vielen Industrien und Sektoren sich die Produktionstechnologien dramatisch veränderten und

---

30 Der Ursprung des Begriffs des „Innovationsmilieus“ lässt sich auf Aydalot (1985) zurück verfolgen. Das Konzept war auch in Andersons Werk (1985) sowie in den Ausführungen von Arthur (1985) implizit vorhanden. Um diese Zeit haben Peter Hall und ich in Berkeley, Roberto Camagni in Mailand und Denis Maillat in Lausanne, für eine kurze Zeit gemeinsam mit Philippe Aydalot – kurz vor dessen Tod – begonnen, empirische Analysen von Innovationsmilieus zu erarbeiten. Dieses Thema hat in den 1990er Jahren zurecht breiteste Aufmerksamkeit gefunden.

31 Die historischen Bedingungen für das Zusammentreffen technologischer Innovationen können im Rahmen dieses Kapitels nicht eigens untersucht werden. Nützliche Überlegungen dazu sind zu finden in Gille (1978) und Mokyr (1990); s. auch Mokyr (1990: 298).

32 Rosenberg (1976, 1982); Dosi (1988).

so den Weg bereiteten für ein nachhaltiges Wachstum im Schumpeterschen Sinn, das in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eintrat, als sich der technologische Fortschritt auf zuvor nicht davon erfasste Industrien ausdehnte<sup>33</sup>. Diese kritische Einschätzung zwingt uns, die tatsächlichen Auswirkungen der großen technologischen Veränderungen im Licht des zeitlichen Abstandes zwischen Ursache und Wirkung zu bewerten, der abhängig ist von den je spezifischen Bedingungen in der Gesellschaft. Die geschichtliche Erfahrung scheint jedoch darauf hinzuweisen, dass, allgemein gesprochen, die Transformation von Gesellschaften desto schneller vonstattengeht, je enger die Beziehung zwischen den Orten der Innovation, Produktion und Anwendung neuer Technologien ist. Desto stärker ist auch die positive Rückkopplung der sozialen Verhältnisse auf die allgemeinen Bedingungen weiterer Innovation. So breitete sich in Spanien die industrielle Revolution bereits im späten 18. Jahrhundert schnell in Katalonien aus, folgte aber im Rest des Landes und vor allem in Madrid und dem Süden einem viel langsameren Tempo; Ende des 19. Jahrhunderts hatten sich lediglich das Baskenland und Asturien dem Industrialisierungsprozess angeschlossen.<sup>34</sup> Die Grenzen der industriellen Innovation fielen in hohem Maße zusammen mit denen von Gebieten, denen es etwa zwei Jahrhunderte lang verboten war, mit den spanischen Kolonien in Amerika Handel zu treiben: Während die andalusischen und kastilischen Eliten ebenso wie die Krone von ihren amerikanischen Renten leben konnten, mussten die Katalanen durch ihren eigenen Handel und Einfallsreichtum für sich selbst sorgen, während sie zugleich dem Druck des zentralistischen Staates ausgesetzt waren. Auch als Folge dieses historischen Entwicklungsweges waren Katalonien und das Baskenland bis in die 1950er Jahre die einzigen vollständig industrialisierten Regionen und die wichtigsten Pflanzstätten für Unternehmergeist und Innovation. Dies stand in krassem Gegensatz zu den Tendenzen im übrigen Spanien. Demnach fördern spezifische gesellschaftliche Bedingungen technologische Innovation, die ihrerseits auf den Pfad wirtschaftlicher Entwicklung und weiterer Innovation führt. Aber die Reproduktion solcher Bedingungen ist ebenso sehr kulturell und institutionell wie ökonomisch und technologisch. Die Transformation der gesellschaftlichen und institutionellen Umwelt kann Tempo und Geografie der technologischen Entwicklung verändern, wie etwa in Japan nach der Meiji-Restauration oder in Russland während der kurzen Regierungszeit von Stolypin. Dennoch enthält die Geschichte ein beträchtliches Trägheitsmoment.

Eine letzte und wesentliche Lehre aus den industriellen Revolutionen, die ich für die vorliegende Analyse für bedeutsam halte, ist kontrovers: Zwar haben beide

---

33 Mokyry (1990: 83).

34 Fontana (1988); Nadal und Carreras (1990).

eine ganze Flut von neuen Technologien hervorgebracht, die das industrielle System tatsächlich in sukzessiven Stadien geformt und umgeformt haben; aber in ihrem Kern ging es um grundlegende Innovation bei der Erzeugung und Verteilung von Energie. R.J. Forbes, ein klassischer Technologiehistoriker, betont, dass „die Erfindung der Dampfmaschine die zentrale Tatsache der industriellen Revolution ist“, gefolgt von der Einführung neuer Primärantriebe und vom mobilen Primärtrieb, wodurch „die Energie der Dampfmaschine in dem jeweils gewünschten Ausmaß dort geschaffen werden konnte, wo sie gebraucht wurde“.<sup>35</sup> Und wenn Mokyr auch auf dem vielgestaltigen Charakter der industriellen Revolution besteht, so meint er doch auch, dass „ungeachtet der Einwände mancher Wirtschaftshistoriker die Dampfmaschine noch immer als die zentrale und wesentliche Erfindung der industriellen Revolution gilt“.<sup>36</sup> Die Elektrizität war die zentrale Kraft der zweiten Revolution, trotz anderer außerordentlicher Entwicklungen in den Bereichen Chemie und Stahl, des Verbrennungsmotors, der Telegrafie und des Fernsprechwesens. Denn allein durch die Erzeugung und Verteilung von Elektrizität waren alle anderen Bereiche in der Lage, ihre Anwendungen zu entwickeln und miteinander zu verbinden. Ein gutes Beispiel ist der elektrische Telegraf, der in den 1790er Jahren erstmals experimentell benutzt wurde und seit 1837 weit verbreitet war. Er konnte sich erst dann zu einem Kommunikationsnetzwerk auswachsen, das die Welt in großem Maßstab miteinander verband, als er auf die Verbreitung der Elektrizität zurückgreifen konnte. Die weit verbreitete Nutzung der Elektrizität veränderte seit den 1870er Jahren Transport, Telegrafie, Beleuchtung und nicht zuletzt die Fabrikarbeit durch die Diffusion von Energie in Gestalt des Elektromotors. Denn Fabriken waren zwar mit der ersten industriellen Revolution verbunden, doch waren sie für nahezu ein Jahrhundert nicht gleichbedeutend mit dem Einsatz der Dampfmaschine. Sie wurde verbreitet in Handwerksbetrieben eingesetzt, während viele große Fabriken weiterhin verbesserte Quellen der Wasserkraft einsetzten (und aus diesem Grunde auch lange als Zeit als „Mühlen“ bezeichnet wurden). Es war der Elektromotor, der die Arbeitsorganisation in der industriellen Fabrik in großem Stil sowohl ermöglichte als auch einleitete.<sup>37</sup> Wie R.J. Forbes 1958 schrieb:

---

35 Forbes (1958: 150).

36 Mokyr (1990: 84).

37 Jarvis (1958); Canby (1962); Hall und Preston (1988). Eine der ersten detaillierten Beschreibungen eines elektrischen Telegrafen ist in einem mit C.M. unterzeichneten Brief enthalten, der 1753 im *Scots Magazine* erschien. Eines der ersten praktischen Experimente mit einem elektrischen System wurde 1795 von dem Katalanen Francisco de Salva vorgeschlagen. Es gibt unbestätigte Berichte, dass tatsächlich 1798 ein eindrahziger Telegraf unter Benutzung des Planes von Salva zwischen Madrid und Aranjuez (44 km) gebaut wurde. Aber erst in den 1830er Jahren wurde der elektrische Telegraf eingeführt

Während der letzten 250 Jahre haben fünf wichtige Primärantriebe das hervorgebracht, was oft als Maschinenzeitalter bezeichnet wird. Das 18. Jahrhundert brachte die Dampfmaschine; das 19. Jahrhundert die Wasserturbine, den Verbrennungsmotor und die Dampfturbine; und das 20. die Gasturbine. Die Historiker haben oft Schlagworte geprägt, um geschichtliche Bewegungen oder Strömungen zu benennen. Dazu gehört die „Industrielle Revolution“ als Titel für eine Entwicklung, deren Anfang oft ins frühe 18. Jahrhundert verlegt wird und die sich durch einen Großteil des 19. Jahrhunderts hindurch zieht. Es war eine langsame Bewegung, aber sie bewirkte Veränderungen, die in ihrer Kombination von materiellem Fortschritt und sozialer Verwerfung so tiefgreifend waren, dass sie zusammen genommen sehr wohl als revolutionär bezeichnet werden können, wenn wir diese extremen Daten in Betracht ziehen.<sup>38</sup>

Durch ihre Einwirkungen auf den Prozess, der den Kern aller Prozesse bildet – also die notwendige Energie zum Produzieren, Verteilen und Kommunizieren – haben sich die beiden industriellen Revolutionen durch das gesamte Wirtschaftssystem ausgebreitet und das gesamte Sozialgefüge durchdrungen. Billige, zugängliche, bewegliche Energiequellen erweiterten und erhöhten die Kraft des menschlichen Körpers und schufen dabei die materielle Grundlage für die historische Fortsetzung einer ähnlichen Bewegung zur Erweiterung des menschlichen Verstandes.

---

## Der historische Ablauf der informationstechnologischen Revolution

Die kurze, aber intensive Geschichte der informationstechnologischen Revolution ist in den letzten Jahren schon so oft erzählt worden, dass es unnötig ist, hier eine vollständige Darstellung zu geben.<sup>39</sup> Zudem wäre angesichts der Beschleunigung des Tempos dieser Revolution jede solche Darstellung sogleich wieder überholt –

---

(William Cooke in England, Samuel Morse in Amerika), und 1851 wurde das erste Unterseekabel zwischen Dover und Calais gelegt (Garraat 1958); s. auch Sharlin (1967); Mokyr (1990).

38 Forbes (1958: 148).

39 Eine gute Geschichte der Anfänge der informationstechnologischen Revolution, die natürlich durch die Entwicklungen seit den 1980er Jahren inzwischen überholt ist, enthält Braun und Macdonald (1982). Der systematischste Versuch, die Entwicklungen der frühen Revolution in der Informationstechnologie zusammenzufassen, wurde von Tom Forester in einer Reihe von Büchern unternommen (1980, 1985, 1987, 1989, 1993). Gute Darstellungen der Ursprünge der Gentechnologie finden sich in Elkington (1985) und Russell (1988). Eine zuverlässige Geschichte der Computertechnologie bietet Ceruzzi (1998). Zur Geschichte des Internet s. Abbate (1999) und Naughton (1999).

zwischen dem Zeitpunkt, zu dem ich dies schreibe und Sie dies lesen, wird sich die Leistung von Mikrochips zu einem gegebenen Preis nach dem allgemein anerkannten „Mooreschen Gesetz“ verdoppelt haben.<sup>40</sup> Dennoch halte ich es für analytisch nützlich, die Hauptachsen der technologischen Transformation in der Erzeugung/Verarbeitung/Verbreitung von Information in Erinnerung zu rufen und sie in der Sequenz zu platzieren, die auf die Herausbildung eines neuen sozio-technischen Paradigmas zugetrieben ist.<sup>41</sup> Diese kurze Zusammenfassung erlaubt es mir später, auf Hinweise zu technologischen Einzelheiten zu verzichten, wenn ich ihr spezifisches Zusammenwirken mit Wirtschaft, Kultur und Gesellschaft im Verlauf der gesamten intellektuellen Wegstrecke dieses Buches behandle – außer da, wo neue Informationselemente notwendig sind.

## Mikro-Technik und Makro-Wandel: Elektronik und Information

Die wissenschaftlichen und industriellen Vorläufer der auf Elektronik aufbauenden Informationstechnologien lassen sich zwar Jahrzehnte vor den 1940er Jahren ausfindig machen,<sup>42</sup> wobei nicht die unwichtigsten die Erfindung des Telefons 1876 durch Bell, des Radios 1898 durch Marconi und der Vakuumröhre 1906 durch De Forest sind; aber zu den großen technologischen Durchbrüchen im Bereich der Elektronik kam es während des Zweiten Weltkrieges und der unmittelbaren Nachkriegszeit: der erste programmierbare Computer und der Transistor, Quelle der Mikroelektronik, das wahre Herz der informationstechnologischen Revolution im 20. Jahrhundert.<sup>43</sup> Aber ich behaupte, dass sich die neuen Informationstech-

---

40 Ein anerkanntes „Gesetz“ in der Elektronik-Industrie, das von Gordon Moore stammt, dem Vorsitzenden von Intel, der legendären Neugründung aus dem Silicon Valley und heute die weltweit größte und eine der profitabelsten Mikroelektronik-Firmen.

41 Die in diesem Kapitel enthaltene Information ist weithin zugänglich in Zeitungen und Zeitschriften. Ich habe sie aus meiner Lektüre von *Business Week*, *The Economist*, *Wired*, *Scientific American*, der *New York Times*, *El País* und des *San Francisco Chronicle* gewonnen, die meine alltägliche und -wöchentliche Grundversorgung ausmachen. Hinzu kommen gelegentliche Unterhaltungen mit Kollegen und Freunden in Berkeley und Stanford, die sich in Elektronik und Biologie auskennen und mit industriellen Quellen vertraut sind. Ich halte es nicht für erforderlich, detaillierte Belege für Daten einer so allgemeinen Art zu geben, außer da, wo eine bestimmte Zahl oder ein Zitat schwer zu finden ist.

42 S. Hall und Preston (1988); Mazlish (1993).

43 Ich nehme an, dass es wie im Fall der industriellen Revolutionen auch mehrere informationstechnologische Revolutionen geben wird, von denen diejenige, die in den 1970er Jahren eingeleitet wurde, nur die erste ist. Wahrscheinlich wird die zweite

nologien erst in den 1970er Jahren ernsthaft ausgebreitet haben, indem sich ihre synergetische Entwicklung ständig beschleunigte, bis sie zum neuen Paradigma konvergierten. Rekapitulieren wir die Stadien der Innovation in den drei wesentlichen technologischen Bereichen, die eng aufeinander bezogen, die Geschichte der elektronik-basierten Technologien ausmachen: Mikroelektronik, Computer und Telekommunikation.

Der Transistor wurde 1947 in den Bell Laboratories in Murray Hill, New Jersey, von den drei Physikern Bardeen, Brattain und Shockley erfunden, die für diese Entdeckung den Nobelpreis erhielten. Der Transistor ermöglichte die Verarbeitung elektrischer Impulse in schnellem Tempo in einem binären Code von Unterbrechung und Verstärkung. Dadurch wurde die logische Codierung und die Kommunikation mit und zwischen Maschinen möglich: Wir nennen diese Bauelemente Halbleiter oder einfach Chips (die heute aus Millionen von Transistoren bestehen). Der erste Schritt zur Verbreitung des Transistors wurde 1951 mit der Erfindung des Flächentransistors durch Shockley gemacht. Doch seine Herstellung und seine Anwendung in großem Maßstab erforderten neue Fertigungstechniken und den Einsatz eines geeigneten Werkstoffs. Den Übergang zum Silikon, mit dem die neue Revolution buchstäblich auf Sand gebaut wurde, vollzog erstmals 1954 Texas Instruments in Dallas (erleichtert durch die Anstellung von Gordon Teal 1953, eines weiteren führenden Wissenschaftlers von Bell Laboratories). Die Erfindung der Planartechnik durch Fairchild Semiconductors im Silicon Valley 1959 eröffnete die Möglichkeit zur Integration miniaturisierter Komponenten mit Präzisionsfertigung.

Der entscheidende Schritt in der Mikroelektronik war jedoch 1957 erfolgt: Der integrierte Schaltkreis (*integrated circuit*; IC) wurde gemeinsam von Jack Kilby, einem Ingenieur von Texas Instruments, der auch das Patent beantragte, und Bob Noyce erfunden, einem der Gründer von Fairchild. Noyce war der erste, der ICs unter Einsatz der Planartechnik herstellte. Das löste eine technologische Explosion aus: In nur drei Jahren, zwischen 1959 und 1962, fielen die Preise für Halbleiter um 85 % und in den folgenden zehn Jahren stieg die Produktion auf das Zwanzigfache. 50 % davon ging in militärische Anwendungen.<sup>44</sup> (Zieht man einen historischen Vergleich, so dauerte es 70 Jahre (1780-1850), bis der Preis für Baumwollstoffe in Großbritannien während der industriellen Revolution um 85 % fiel.<sup>45</sup>) In den 1960er Jahren beschleunigte sich die Entwicklung weiter: Verbesserte Fertigungstechnik und eine bessere Konstruktion von Chips wurden durch Computer unterstützt, die

---

im frühen 21. Jahrhundert der biologischen Revolution in engem Zusammenspiel mit neuen Computertechnologien einen größeren Stellenwert geben.

44 Braun und Macdonald (1982).

45 Mokyr (1990: 111).

schnellere und stärkere mikroelektronische Komponenten enthielten. Der Durchschnittspreis eines integrierten Schaltkreises fiel von US\$ 50 1962 auf US\$ 1 1971.

Der gigantische Sprung vorwärts zum Eindringen der Mikroelektronik in alle Maschinen kam 1971, als der Intel-Ingenieur Ted Hoff (ebenfalls in Silicon Valley) den Mikroprozessor erfand, also den Computer auf einem Chip. Damit konnte Datenverarbeitung überall installiert werden. Das Rennen um die stetig zunehmende Integrationskapazität von Schaltkreisen auf einem einzigen Chip war eröffnet. Dabei überschritt die Technologie von Konstruktion und Herstellung beständig die Grenzen der Integration, die zuvor für physisch absolut gehalten wurden, ohne dass die Verwendung des Silikons als Material aufgegeben wurde. Mitte der 1990er Jahre nahmen technische Einschätzungen für Schaltkreise auf Silikonbasis noch immer eine Lebenserwartung von gut 10-20 Jahren an, obwohl die Forschung mit alternativen Materialien intensiviert wurde. Das Niveau der Integration ist während der letzten beiden Jahrzehnte unglaublich angestiegen. Wenn auch technische Details in diesem Buch fehl am Platze wären, so ist es doch von analytischer Bedeutung, auf Rasanzen und Ausmaß dieses technologischen Wandels hinzuweisen.

Bekanntlich wird die Leistungsfähigkeit eines Chips durch die Kombination von drei Charakteristika bewertet: seine Integrationskapazität, nach der gemessenen kleinsten Breite der Linien auf dem Chip in Mikrons (1 Mikron = 1 Millionstel Meter); seine Speicherkapazität, gemessen in Bits, nach Tausenden (k) und Millionen (Megabits); und die Geschwindigkeit des Mikroprozessors, gemessen in Megahertz. So war der erste Prozessor von 1971 in Linien von etwa 6,5 Mikrons ausgelegt; 1980 wurden 4 Mikrons erreicht; 1987 1 Mikron; 1995 wies der Pentium von Intel eine Größe im Bereich von 0,35 Mikron auf, und Prognosen schätzten etwa 0,25 Mikron bis 1999. Während also 1971 2.300 Transistoren auf einen Chip von der Größe eines Reißnagels gepackt wurden, waren es 1993 35 Millionen Transistoren. Die Speicherkapazität, die als DRAM (*dynamic random access memory*) angegeben wird, betrug 1971 1.024 Bits, 1980 64.000, 1987 1.024.000, 1993 16.384.000, und für 1999 wurden 256.000.000 erwartet. Was Geschwindigkeit anlangt, so waren Mitte der 1990er Jahre Mikroprozessoren mit 64 Bit 550 mal so schnell wie der erste Intel-Chip von 1972; und die MPU verdoppeln sich alle 18 Monate. Die Prognosen für 2002 sagen eine Beschleunigung der mikroelektronischen Technologie im Bereich der Integration (Chips mit 0,18 Mikron), in DRAM-Kapazität (1.024 Megabits) und in der Geschwindigkeit der Mikroprozessoren über 500 Megahertz verglichen mit 150 1993) voraus. Zusammen mit den atemberaubenden Entwicklungen bei der parallelen elektronischen Datenverarbeitung unter Verwendung mehrerer Mikroprozessoren, einschließlich der künftigen Verbindung von vielfachen Mikroprozessoren auf einem einzigen Chip, scheint es, dass die Macht der Mikroelektronik erst noch dabei ist, entfesselt zu werden, und dass so die Computer-Kapazität unaufhörlich



erhöht wird. Außerdem machen es die stetige Miniaturisierung, die weitergehende Spezialisierung und die fallenden Preise immer leistungsfähigerer Chips möglich, sie in jede Maschine unseres Alltagslebens einzubauen, vom Geschirrspüler bis zum Mikrowellenherd und zu Autos, deren Elektronik in den Standardmodellen der 1990er Jahre bereits wertvoller war als der verwendete Stahl.

Empfangen wurden die Computer auch von der Mutter aller Technologien, dem Zweiten Weltkrieg, aber geboren wurden sie erst 1946 in Philadelphia, wenn wir die kriegsbezogenen Instrumente des britischen Colossus von 1943 ausnehmen, der feindliche Geheimcodes zu entschlüsseln hatte, sowie den deutschen Z-3, der 1941 hergestellt worden sein soll, um Flugzeugberechnungen zu unterstützen.<sup>46</sup> Die meisten Aktivitäten der Alliierten im Bereich der Elektronik waren im Forschungsprogramm am MIT konzentriert, und die eigentlichen Experimente zur Erkundung der Rechner-Leistungsfähigkeit fanden im Auftrag der US-Armee an der University of Pennsylvania statt. Hier stellten Mauchly und Eckert 1946 den ersten Computer für allgemeine Anwendungen her, den ENIAC (*electronic numerical integrator and calculator*). Die Historiker wissen, dass dieses Gerät 30 Tonnen wog, aus drei Meter hohen Metallmodulen bestand, 70.000 Widerstände und 18.000 Vakuumröhren enthielt und die Fläche einer Turnhalle einnahm. Wenn es eingeschaltet wurde, war sein Stromverbrauch so hoch, dass in Philadelphia das Licht flackerte.<sup>47</sup>

Die erste kommerzielle Version dieser primitiven Maschine, der 1951 von demselben Team, jetzt unter dem Markennamen Remington hergestellte UNIVAC-1, war äußerst erfolgreich bei der Arbeit an der US-Volkszählung von 1950. IBM, ebenfalls durch Militäraufträge unterstützt und auf MIT-Forschung basierend, überwand seine anfänglichen Zweifel am Computer-Zeitalter und trat 1953 mit einer Maschine in das Rennen ein, die 701 Vakuumröhren besaß. 1958, als Sperry Rand mit einem Computer der zweiten Generation einen Großrechner einführte, folgte IBM sogleich mit seinem Modell 7090. Aber erst 1964 gelangte IBM mit seinem 360/370-Großrechner zur Herrschaft über die Computerindustrie, die von neuen (Control Data, Digital) und alten (Sperry, Honeywell, Burroughs, NCR) Büromaschinenherstellern bevölkert wurde. In den 1990er Jahren waren die meisten dieser Firmen bereits Not leidend oder verschwunden: So schnell verlief die „schöpferische Zerstörung“ Schumpeters in der Elektronikindustrie. In jenen grauen Vorzeiten, also 30 Jahre vor der Niederschrift dieses Buches, organisierte sich die Industrie in eine klar definierte Hierarchie von Großrechnern, Mikrocomputern (in Wirklichkeit ziemlich klobige Maschinen) und Terminals. Einige Informatik-Spezialitäten wurden der esoterischen Welt der Supercomputer überlassen (eine wechselseitige

---

46 Hall und Preston (1988).

47 S. die Beschreibung von Forester (1987).

Befruchtung von Wettervorhersage und Kriegsspielen), in denen eine Zeitlang der Einfallsreichtum von Seymour Cray trotz seines Mangels an technologischer Voraussicht das Zepter schwang.

Die Mikroelektronik hat all das verändert und eine „Revolution innerhalb der Revolution“ herbeigeführt. Das Aufkommen des Mikroprozessors 1971 machte es möglich, einen Computer auf einem Chip unterzubringen, und stellte damit die Welt der Elektronik und sogar die Welt selber auf den Kopf. 1975 baute Ed Roberts, ein Ingenieur, der in Albuquerque, New Mexico, eine kleine Rechner-Firma namens MITS gegründet hatte, einen Kisten-Computer mit dem exotischen Namen Altair (nach einer Figur in der amerikanischen Fernseh-Serie Star Trek (Raumschiff Enterprise), die Gegenstand der Bewunderung der kleinen Tochter des Erfinders war). Die Maschine war ein primitives Ding, aber es war ein kleinformatiger, um einen Mikroprozessor herum gebauter Computer. Es war die Grundlage für die Konstruktion von Apple I, dann Apple II, den ersten im Handel erfolgreichen Mikrocomputer. Er wurde von zwei jungen Schulabbrechern, Steve Wozniak und Steve Jobs in der elterlichen Garage in Menlo Park, Silicon Valley realisiert. Diese wahrlich außerordentliche Geschichte ist inzwischen zur Gründungslegende des Informationszeitalters geworden. Apple Computers startete 1976 mit drei Partnern und 91.000 US\$ Kapital. 1982 wurde ein Umsatz von 583 Mio. US\$ erreicht und damit das Zeitalter der Massenverbreitung des Computers eingeläutet. IBM reagierte schnell und führte 1981 seine eigene Version des Mikrocomputers ein, die den brillanten Namen „Personal Computer“ (PC) trug. Der wurde bald zur allgemeinen Bezeichnung für Mikrocomputer. Weil der PC jedoch nicht auf IBM-eigener Technologie, sondern auf Technologie basierte, die von anderen für IBM entwickelt worden war, war er anfällig für Klone, die bald in Massen vor allem in Asien hergestellt wurden. Zwar hat diese Tatsache schließlich die Monopolisierung des Geschäftes durch IBM verhindert, doch wurde so zugleich der Einsatz von IBM-Klonen auf der ganzen Welt und damit – trotz der Überlegenheit der Apple-Maschinen – auch ein allgemeiner Standard verbreitet. Der Apple Macintosh, der 1984 auf den Markt kam, war der erste Schritt hin zu benutzerfreundlichen Computern. Mit ihm wurde die Benutzeroberfläche mit Icons eingeführt, die ursprünglich im Palo Alto Research Center von Xerox entwickelt worden war.

Eine grundlegende Bedingung für die Verbreitung der Mikrocomputer lag in der Entwicklung einer neuen Software, die an deren Arbeitsweise angepasst war.<sup>48</sup> PC-Software entstand auch Mitte der 1970er Jahre aus dem Enthusiasmus, den der Altair hervorgebracht hatte. Zwei junge Harvard-Abbrecher, Bill Gates und Paul Allen, passten 1976 BASIC so an, dass die Altair-Maschine damit betrieben

---

48 Egan (1995).

werden konnte. Nachdem ihnen deren Potenzial klar geworden war, schritten sie zur Gründung von Microsoft (erst in Albuquerque, zwei Jahre später zogen sie nach Seattle um, wo Bill Gates' Eltern wohnten). Der heutige Software-Gigant setzte seine Vorherrschaft bei den Betriebssystemen um in die Vorherrschaft bei der Software für den gesamten, exponentiell wachsenden Mikrocomputer-Markt.

Während der letzten 20 Jahre des 20. Jahrhunderts führte die zunehmende Leistungsfähigkeit der Chips zu einer dramatischen Steigerung der Möglichkeiten des Mikrocomputers. Anfang der 1990er Jahre hatten Mikrocomputer mit einem einzigen Chip die Leistungsstärke von IBM-Rechnern fünf Jahre zuvor. Außerdem kann man seit Mitte der 1980er Jahre nicht mehr von Mikrocomputern als isolierten Apparaten sprechen: Sie funktionieren in Netzwerken und mit zunehmender Mobilität als tragbare Computer. Diese außerordentliche Vielseitigkeit und die Möglichkeit, Speicher- und Arbeitskapazität zusätzlich durch Anschluss an ein elektronisches Netzwerk zu erhöhen, führte in den 1990er Jahren zu der entscheidenden Verlagerung von zentraler Datenspeicherung und -verarbeitung hin zu vernetzter, interaktiver, gemeinsamer Computernutzung. Damit veränderte sich nicht nur das gesamte technologische System, sondern zugleich auch seine sozialen und organisatorischen Interaktionsformen. So fielen die Durchschnittskosten für Informationsverarbeitung von etwa 75 US\$, die eine Million Operationen 1960 gekostet hatte, auf weniger als ein Hundertstel amerikanischen Cent 1990.

Die Fähigkeit zum Aufbau von Netzwerken setzte natürlich die Entwicklungen voraus, die in den 1970er Jahren sowohl in der Telekommunikations- wie in der Computertechnologie stattgefunden hatten. Aber zugleich waren derartige Veränderungen nur möglich durch neue mikro-elektronische Geräte und leistungsfähigere Computer – eine überzeugende Illustration der synergetischen Beziehungen innerhalb der Revolution in der Informationstechnologie.

Die Telekommunikation wurde durch die Verbindung von „Knoten“-Technologien (elektronische Schaltungen und Vermittlungsknoten) und neuen Verbindungsformen (Transmissionstechnologien) revolutioniert. Der erste industriell produzierte elektronische Schalter, der ESS-1, wurde 1969 von den Bell Laboratories eingeführt. Mitte der 1970er Jahre hatte der technologische Fortschritt bei integrierten Schaltkreisen den digitalen Schalter möglich gemacht. Das bedeutete eine Steigerung von Geschwindigkeit, Leistungsstärke und Flexibilität bei gleichzeitiger Einsparung von Platz, Energie und menschlicher Arbeit gegenüber analogen Vorrichtungen. Zwar war ATT, die Muttergesellschaft von Bell Labs, anfangs zögerlich mit der Markteinführung, weil sich erst bereits gelaufene Investitionen in analoge Ausrüstungen zu amortisieren hatten; doch als 1977 Canada Northern Telecom durch ihren Vorsprung bei digitalen Schaltungen einen Teil des US-Marktes eroberte,

stiegen die Bell-Gesellschaften in das Rennen ein und lösten damit eine ähnliche Bewegung weltweit aus.

Wesentliche Fortschritte im Bereich der Opto-Elektronik wie Glasfaser-Optik und Laserverbindungen sowie die Technologie der gebündelten Digitalübertragung (*digital packet transmission*) haben die Übertragungskapazitäten der Leitungen dramatisch gesteigert. Die integrierten Breitband-Netzwerke (IBN), die in den 1990er Jahren konzipiert wurden, könnten erheblich die revolutionären Vorschläge der 1970er Jahre für ein digitales integriertes Service-Netzwerk (*integrated services digital network*, ISDN) übertreffen: Während die Übertragungskapazität für ISDN auf Kupferkabel auf 144.000 Bits geschätzt wurde, würden die mit Glasfaser arbeitenden IBN der 1990er Jahre, falls sie realisiert werden sollten, eine Billion Bits ( $10^{15}$ ) übertragen, freilich zu hohen Kosten. Um das Tempo der Veränderung zu ermessen, sollten wir uns daran erinnern, dass 1956 das erste transatlantische Telefonkabel 50 komprimierte Sprechverbindungen transportierte; 1995 konnten Glasfaserkabel 85.000 solcher Verbindungen aufnehmen. Diese auf der Opto-Elektronik beruhende Übertragungskapazität bildet zusammen mit den fortgeschrittenen Schaltungs- und Routing-Architekturen wie etwa dem Asynchronen Transmissions-Modus (ATM) und dem Transmissions-Kontroll-Protokoll/Interkonnektions-Protokoll (TCP/IP) die Grundlage des Internet.

Unterschiedliche Nutzungsformen des Möglichkeitsspektrums des Radios (traditioneller Rundfunk, direkter Satellitenfunk, Mikrowellen, digitale Zellular-Telefontechnik) sowie Koaxialkabel und Glasfaseroptik bieten eine Flexibilität und Vielseitigkeit an Transmissionstechnologien, die auf ein weites Spektrum von Nutzungsmöglichkeiten zugeschnitten werden und eine allgegenwärtige Kommunikation zwischen mobilen Nutzern ermöglichen. So hat sich die Zellular-Telefonie während der 1990er Jahre machtvoll über die ganze Welt ausgebreitet. Asien wurde buchstäblich mit simplen Pagern und Lateinamerika mit Status-symbolträchtigen Handys gepflastert. 2000 gab es bereits Technologien für ein universelles Gerät zur persönlichen Kommunikation, es fehlte nur noch die Klärung einiger technischer, rechtlicher und geschäftlicher Fragen vor der Markteinführung. Jeder Satz in der sprunghaften Entwicklung eines technologischen Feldes vervielfacht die Möglichkeiten benachbarter Informationstechnologien. Das Zusammenkommen all dieser elektronischen Technologien auf dem Feld der interaktiven Kommunikation hat zur Schaffung des Internet geführt, das vielleicht das revolutionärste technologische Medium des Informationszeitalters ist.

## Die Entstehung des Internet

Die Entstehung und Entwicklung des Internet während der letzten drei Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts war das Ergebnis einer einzigartigen Legierung militärischer Strategie, umfassender wissenschaftlicher Kooperation, technologischen Unternehmertums und gegenkultureller Innovation.<sup>49</sup> Die Ursprünge des Internet gehen auf die Arbeit einer der innovativsten Forschungseinrichtungen der Welt zurück: der Advanced Research Projects Agency (ARPA) des US-Verteidigungsministeriums. Als Ende der 1950er Jahre der Start des „Sputnik“ das amerikanische Hightech-Militär-Establishment alarmierte, startete ARPA eine Reihe kühner Entwicklungen, von denen Einige die Geschichte der Technologie verändert und das Informationszeitalter eingeleitet haben. Eine dieser Entwicklungen, konzipiert von Paul Baran von der Rand Corporation 1960-64, bestand in der Konstruktion eines Kommunikationssystems, das gegenüber nuklearen Angriffen unempfindlich sein sollte.

Kommunikationstechnologie der Paketvermittlung machte das System des Netzwerkes unabhängig von Kommando- und Kontroll-Zentralen. Auf diese Weise würden Nachrichteneinheiten selbst ihre Routen durch das Netzwerk finden. An jedem Punkt innerhalb des Netzwerkes könnten sie neu zu sinnvollen Botschaften zusammengesetzt werden.

Als später die Digitaltechnik die Zusammenfassung aller Arten von Botschaften erlaubte, also von Tönen, Bildern und Daten, war ein Netzwerk entstanden, das in der Lage war, seine Knoten ohne Einsatz von Kontrollzentren kommunizieren zu lassen. Der universale Charakter der digitalen Sprache und die reine Netzwerklogik des Kommunikationssystems schufen die technologischen Bedingungen für horizontale, globale Kommunikation.

Das erste Computer-Netzwerk wurde nach seinem mächtigen Sponsor ARPANET getauft und ging am 1. September 1969 online. Die ersten vier Knoten des Netzwerkes wurden an der University of California, Los Angeles, am Stanford Research Institute, an der University of California, Santa Barbara und an der University of Utah eingerichtet. Es wurde für Forschungszentren geöffnet, die mit dem US-Verteidigungsministerium zusammenarbeiteten, aber die Wissenschaftler begannen, es für ihre eigenen Kommunikationszwecke zu benutzen. Dazu gehörte auch das Nachrichtennetzwerk von Science Fiction-Fans. Irgendwann wurde es schwierig, die militärisch orientierte Forschung von der wissenschaftlichen

---

49 Ausgezeichnete Darstellungen der Geschichte des Internet bieten Abbate (1999) und Naughton (1999). S. auch Hart u. a. (1992). Zum Beitrag der „Hacker“-Kultur zur Entwicklung des Internet s. Hafner und Markoff (1991); Naughton (1999); Himannen (2001).

Kommunikation und dem persönlichen Schwatz zu trennen. Also erhielten Wissenschaftler aller Disziplinen Zugang zum Netzwerk, und 1983 kam es zu einer Aufteilung zwischen dem ARPANET, das wissenschaftlichen Zwecken diente und dem MILNET, das direkt auf militärische Anwendungen orientiert war. Während der 1980er Jahre war die National Science Foundation (NSF) an der Schaffung eines weiteren wissenschaftlichen Netzwerks, CSNET, beteiligt und in Zusammenarbeit mit IBM an einem weiteren Netzwerk für Nicht-Naturwissenschaftler, BITNET. Aber alle diese Netzwerke benutzten ARPANET als das Rückgrat ihres Kommunikationssystems. Das Netzwerk der Netzwerke, das sich während der 1980er Jahre herausbildete, hieß ARPA-INTERNET und dann INTERNET. Es wurde noch immer vom US-Verteidigungsministerium gefördert und von der National Science Foundation betrieben. Weil es nach über 20 Dienstjahren technologisch überholt war, wurde ARPANET am 28. Februar 1990 geschlossen. Danach wurde das von der National Science Foundation betriebene NSFNET zum Rückgrat des Internet. Kommerzieller Druck, das Wachstum der Netzwerke privater Konzerne und auch von gemeinnützigen kooperativen Netzwerken führten im April 1995 zur Schließung dieser letzten von der Regierung betriebenen Basis des Internet. Damit war die vollständige Privatisierung des Internet eingeleitet. Eine Anzahl kommerzieller Ableger der regionalen Netzwerke der NSF taten sich zusammen, um kooperative Regelungen zwischen den privaten Netzwerken abzusprechen. Einmal privatisiert, hatte das Internet keine wirkliche Aufsichtsbehörde mehr. Eine Anzahl von Ad-hoc-Institutionen und -Mechanismen, die im Verlauf der Entwicklung des Internet entstanden waren, übernahmen eine Art informeller Verantwortung für die Koordination der technischen Konfigurationen und für die Aushandlung von Abkommen über die Zuteilung von Internetadressen. Im Januar 1992 erhielt auf eine Initiative der National Science Foundation hin die Internet Society, eine gemeinnützige Organisation, die Verantwortung für die zuvor bestehenden Koordinationsinstanzen, den Internet Activities Board und die Internet Engineering Task Force. Auf internationaler Ebene besteht nach wie vor die hauptsächliche Koordinierungsinstanz in den multilateralen Abkommen über die Zuteilung der Domain-Adressen auf der ganzen Welt – eine sehr umstrittene Angelegenheit.<sup>50</sup> Obwohl 1998 eine neue Regelungsinstanz mit Sitz in Amerika gebildet wurde (IANA/ICANN), bestand 1999 weder in den USA noch sonst in der Welt eine unbestrittene, klare Verfügungsmöglichkeit über das Internet – ein Zeichen für den ungebundenen Charakter des neuen Mediums sowohl in technologischer wie in kultureller Hinsicht.

---

50 Conseil d'Etat (1998).

Damit das Netzwerk sein exponentielles Wachstum des Kommunikationsumfangs beibehalten konnte, musste die Übertragungstechnologie weiter verbessert werden. In den 1970er Jahren hatte das ARPANET Verbindungen benutzt, die 56.000 Bits pro Sekunde übertrugen. 1987 übertrugen die Leitungen des Netzwerkes 1,5 Mio. Bits pro Sekunde. 1992 arbeitete das NSFNET, das Rückgrat des Internet, mit Übertragungsgeschwindigkeiten von 45 Mio. Bits pro Sekunde. Das ist eine Kapazität, mit der 5.000 Seiten pro Sekunde verschickt werden können. 1995 befand sich eine Gigabit-Übertragungstechnologie im Prototyp-Stadium mit einer Kapazität, die ausreichen würde, um die gesamte Library of Congress in einer Minute zu übermitteln.

Aber die Übertragungskapazität allein genügte nicht, um ein weltweites Kommunikationsnetz zu schaffen. Die Computer mussten in der Lage sein, miteinander zu reden. Der erste Schritt in dieser Richtung bestand in der Schaffung eines Kommunikationsprotokolls, das von allen Arten von Netzwerken benutzt werden konnte, Anfang der 1970er Jahre eine anscheinend unlösbare Aufgabe. Im Sommer 1973 entwickelten Vinton Cerf und Robert Kahn, Computerwissenschaftler, die am ARPA forschten, die grundlegende Architektur des Internet. Sie schlossen dabei an Forschungsarbeiten an, die Kahn bei seiner Firma, BBN, durchgeführt hatte. Sie beriefen eine Tagung in Stanford ein, an der Leute von ARPA sowie von verschiedenen Universitäten und Forschungszentren teilnahmen, u. a. von PARC/Xerox, wo Robert Metcalfe an einer Technologie zur Paket-Kommunikation arbeitete, die schließlich zur Schaffung von lokalen Netzwerken (local area network, LAN) führte. Die technologische Zusammenarbeit erstreckte sich auch auf verschiedene Gruppen in Europa, vor allem französische Forscher, die am Cyclades-Programm beteiligt waren. Cerf, Metcalfe und Gerard Leclann von Cyclades entwickelten auf der Grundlage dieses Seminars in Stanford ein Übertragungs-Kontrollprotokoll, das den Wünschen verschiedener Forschergruppen und verschiedener bestehender Netzwerke Rechnung tragen sollte. 1978 teilten es Cerf, Postel (von der University of California, Los Angeles) und Cohen (von der University of Southern California) in zwei Teile auf: *host-to-host* (TCP) und *internetworks protocol* (IP). Daraus ergab sich das TCP/IP-Protokoll, das bis 1980 zum Standard der Computer-Kommunikation in den USA wurde. Seine Flexibilität machte eine vielschichtige Verbindungsstruktur zwischen Computernetzwerken möglich und erwies seine Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Kommunikationssysteme und an eine Vielzahl von Codes. Als 1980 Telekommunikationsanbieter vor allem in Europa ein anderes Kommunikationsprotokoll (das x.25) zum internationalen Standard bestimmten, stand die Welt kurz davor, in nicht-kommunizierfähige Computer-Netzwerke gespalten zu werden. Doch am Ende setzte sich die Fähigkeit von TCP/IP, Vielfalt bewältigen zu können, durch. Mit einigen Anpassungen (x.25

und TCP/IP wurden unterschiedliche Ebenen des Kommunikationsnetzwerkes zugeordnet, dann wurden Verknüpfungen zwischen den Ebenen entwickelt, so dass sich die beiden Protokolle schließlich gegenseitig ergänzten). Damit wurde TCP/IP zum allgemeinen Standard für Computer-Kommunikationsprotokolle. Von da an konnten Computer füreinander Datenpakete kodieren und dekodieren, die mit hoher Geschwindigkeit durch das Internet-Netzwerk geschickt wurden. Zu leisten war dann noch die Anpassung von TCP/IP an UNIX, das Betriebssystem, das den Zugang von Computer zu Computer ermöglicht. Das UNIX-System wurde von den Bell Laboratorien 1969 erfunden, aber es fand erst nach 1983 Verbreitung, als in Berkeley – wieder unterstützt durch Mittel der ARPA – das TCP/IP-Protokoll an UNIX angepasst wurde. Weil die neue UNIX-Version öffentlich gefördert worden war, wurde die Software zu Selbstkosten verbreitet. Netzwerke in großem Maßstab entstanden, als lokale Netzwerke und regionale Netzwerke sich miteinander verknüpften und angingen, sich überallhin auszubreiten, wo es Telefonleitungen und mit Modems ausgerüstete Computer gab.

Hinter der Entwicklung des Internet standen die wissenschaftlichen, institutionellen und persönlichen Netzwerke, die quer durch das US-Verteidigungsministerium, die National Science Foundation, die großen Forschungsuniversitäten (insbesondere MIT, UCLA, Stanford, University of Southern California, Harvard, University of California in Santa Barbara und University of California in Berkeley) und spezialisierte technologische Denkfabriken wie das Lincoln Laboratory von MIT, SRI (früher: Stanford Research Institute), Palo Alto Research Corporation (finanziert von Xerox), Bell Laboratories von ATT, die Rand Corporation und BBN (Bolt, Beranek& Newman) verliefen. Technologische Schlüsselpersonen waren während der 1960er und 1970er Jahre unter anderen J.C.R. Licklider, Paul Baran, Douglas Engelbart (der Erfinder der Maus), Robert Taylor, Ivan Sutherland, Lawrence Roberts, Alex McKenzie, Robert Kahn, Alan Kay, Robert Thomas, Robert Metcalfe und der brillante Informatik-Theoretiker Leonhard Kleinrock sowie seine Gruppe von herausragenden, postgraduierten Schülern an der UCLA. Aus dieser Gruppe sollten einige der wichtigsten Köpfe für Entwurf und Entwicklung des Internet hervorgehen: u. a. Vinton Cerf, Stephen Crocker, Jon Postel. Viele dieser Computer-Wissenschaftler bewegten sich zwischen den unterschiedlichen Institutionen hin und her und schufen so ein innovatives Netzwerk-Milieu, dessen Dynamik und Zielsetzungen weitgehend unabhängig wurden von den speziellen Zwecken von Militärstrategie oder der Verknüpfung von Supercomputern. Sie waren technologische Kreuzfahrer, überzeugt davon, dass sie die Welt veränderten – was sie auch taten.

Viele der Anwendungen des Internet ergaben sich aus unverhofften Erfindungen seiner frühen User. Sie leiteten so eine Praxis und eine technologische Entwicklungsrichtung ein, die zu den wesentlichen Merkmalen des Internet werden sollten.



So war der Grund für die Verknüpfung von Computern in den frühen Stadien des ARPANET die Möglichkeit, durch die Nutzung entfernter Computer Rechenzeit zu gewinnen und so verstreute Computer-Ressourcen Online vollständig zu nutzen. Aber die meisten User brauchten keine derart hohe Computerleistung, oder sie waren nicht bereit, ihre Systeme entsprechend den Erfordernissen dieser Kommunikation neu einzurichten. Was aber die Sache wirklich ins Rollen brachte, war die E-Mail-Kommunikation unter den Netzwerk-Teilnehmern. Diese Anwendung wurde von Ray Tomlinson bei BBN geschaffen, und sie ist auch heute noch die weltweit populärste Nutzungsform der Computerkommunikation.

Aber dies ist nur eine Seite der Geschichte. Parallel zu den Anstrengungen des Pentagon und der großen Wissenschaftsunternehmen, ein universales Computernetzwerk mit Normen akzeptabler Nutzung einzurichten, trat in den Vereinigten Staaten eine breit wuchernde Computer-Gegenkultur in Erscheinung. Sie hatte intellektuell oft mit den Nachbeben der Bewegungen der 1960er Jahre in ihren stärksten libertär-utopistischen Ausprägungen zu tun. Ein wichtiges Element dieses Systems, das Modem, war einer der technologischen Durchbrüche, die von den Pionieren dieser Gegenkultur ausgingen, die ursprünglich als „Hacker“ bezeichnet wurden, bevor dies einen schlechten Beigeschmack bekam. Das Modem für PCs wurde 1978 von zwei Studenten, Ward Christensen und Randy Suess, in Chicago erfunden als sie versuchten, ein System zu finden, sich gegenseitig Computer-Programme übers Telefon zu schicken, anstatt weite Wege durch das Chicagoeer Winterwetter zurück legen zu müssen. 1979 verbreiteten sie das XModem-Protokoll, das es Computern ermöglichte, Daten direkt zu übertragen, ohne erst ein host-System passieren zu müssen. Und sie verbreiteten die Technologie kostenlos, um diese Kommunikationsfähigkeit so weit wie möglich zu verteilen. So fanden Computer-Netzwerke, die aus dem ARPANET – das in seinen frühen Stadien ja für naturwissenschaftliche Elite-Universitäten reserviert war – ausgeschlossen waren, eine Möglichkeit, unabhängig miteinander zu kommunizieren. 1979 entwickelten drei Studenten der Duke University und der University of North Carolina, die keinen Zugang zum ARPANET hatten, eine abgewandelte Version des UNIX-Protokolls, die es ermöglichte, Computer über eine normale Telefonleitung miteinander zu verbinden. Sie benutzten es, um ein Forum für Online-Computerdiskussionen zu haben, Usenet, das schnell zu einem der verbreitetsten elektronischen Konversationssysteme wurde. Die Erfinder der Usenet News verbreiteten auch ihre Software frei über ein digitales Flugblatt, das auf der Usenet-Benutzerkonferenz verteilt wurde. 1983 konstruierte Tom Jennings ein System, um Schwarze Bretter auf PCs zu installieren, indem er ein Modem und spezielle Software konfigurierte, die es anderen Computern ermöglichte, sich an einen mit dieser Schnittstellentechnologie ausgerüsteten PC anzudocken. Das war

der Anfang eines der originellsten Basis-Netzwerke, des Fidonet, das 1990 in den USA 2.500 Computer miteinander verband. Weil es billig, offen und kooperativ war, war Fidonet in armen Ländern auf der ganzen Welt besonders erfolgreich. Das galt etwa für Russland, besonders unter alternativen Gruppen,<sup>51</sup> bis technologische Beschränkungen dieses Systems zusammen mit der Entwicklung des Internet die meisten seiner User in das gemeinsame *world wide web* brachten. Konferenzsysteme wie „Well“ in der Bucht von San Francisco führten Computernutzer in Netzwerken Gleichgesinnter zusammen.

Ironischerweise hatte dieser gegenkulturelle technologische Ansatz ähnliche Folgen wie die militärisch motivierte Strategie des horizontalen Netzwerkes: Er machte die neuen Techniken allen zugänglich, die nur über das nötige technische Wissen und einen Rechner, den PC, verfügten. Für diesen begann damit rasch ein spektakulärer Prozess zunehmender Leistungssteigerung und gleichzeitiger Verbilligung. Die Verbreitung von PCs und die Kommunikationsmöglichkeiten der Netzwerke beschleunigten die Entwicklung von *bulletin board systems* (BBS), zunächst in den Vereinigten Staaten und dann weltweit. Die *bulletin board systems* benötigten keine komplizierten Computer-Netzwerke, einfach nur PCs, Modems und Telefonleitungen. So entwickelten sich daraus elektronische Anschlagtafeln für alle möglichen Anliegen und Interessengemeinschaften und ließen das entstehen, was Howard Rheingold „virtuelle Gemeinschaften“ genannt hat.<sup>52</sup> Ende der 1980er Jahre benutzten mehrere Millionen Computer-Anwender die computervermittelte Kommunikation im Rahmen von kooperativen oder kommerziellen Netzwerken, die nicht Teil des Internet waren. Häufig benutzten diese Netzwerke Protokolle, die nicht kompatibel waren, und wechselten deshalb auf Internet-Protokolle. Dieser Schritt garantierte in den 1990er Jahren ihre Integration in das Internet und damit die Expansion des Internet selbst.

Aber bis 1990 war das Internet für Nicht-Eingeweihte noch immer schwierig zu benutzen. Es gab nur begrenzte grafische Übertragungskapazität, und es war äußerst schwierig, Informationen zu finden und zu nutzen. Ein neuerlicher technologischer Sprung erlaubte die Ausweitung des Internet in die breite Masse der Gesellschaft: die Konstruktion einer neuen Anwendung, des *world wide web*. Es organisierte den Inhalt der Internet-Seiten nicht mehr nach Orten sondern nach Inhalten, und stellte den Usern einfache Suchmöglichkeiten zur Verfügung, um die gewünschten Informationen ausfindig zu machen. Das *world wide web* (*www*) wurde 1990 in Europa entwickelt, am Centre Européen pour Recherche Nucleaire (CERN) in Genf, einem der führenden Physik-Forschungszentren der Welt. Das

---

51 Rohozinski (1998).

52 Rheingold (1993).

Web wurde von einer Forschergruppe am CERN unter Führung von Tim Berners-Lee und Robert Cailliau erfunden. Sie bauten ihre Forschung nicht auf der ARPANET-Tradition auf, sondern auf dem Beitrag der Hacker-Kultur der 1970er Jahre. Besonders stützten sie sich auf die Arbeit von Ted Nelson, der 1974 in seiner Broschüre *Computer Lib* die Leute aufgefordert hatte, sich die Macht der Computer anzueignen und sie für das eigene Wohl zu nutzen. Nelson stellte sich ein neues System der Informationsorganisation vor, das er „hypertext“ nannte und das auf horizontalen Informationsverknüpfungen aufbauen sollte. Dieser bahnbrechenden Einsicht fügten Berners-Lee und seine Mitarbeiter neue Technologien hinzu, die aus der Multimedia-Welt adaptiert wurden, um für ihre Anwendung eine audiovisuelle Sprache zu schaffen. Das CERN-Team schuf ein Format für Hypertext-Dokumente, das sie *hypertext markup language* (HTML) nannten. Es war an der Internet-Tradition von Flexibilität orientiert, so dass einzelne Computer ihre jeweiligen Sprachen innerhalb dieses gemeinsamen Formates anpassen und diese Formatierung dem TCP/IP hinzufügen konnten. Sie schrieben auch ein *hypertext transfer protocol* (HTTP), um die Kommunikation zwischen den Web-Browsern und den Web-Servern zu leiten, und sie schufen eine Standardadresse, den *uniform resource locator* (URL), der Informationen über das Anwendungsprotokoll und die Computer-Adresse zusammenfasst, an der sich die angeforderte Information befindet. Auch URL konnte sich wieder auf eine Vielzahl von Übermittlungsprotokollen, nicht nur auf HTTP, beziehen und erleichterte so die allgemeine Schnittstellen-Kommunikation. CERN verbreitete die www-Software kostenlos über das Internet, und die ersten *Web Sites* wurden von großen Forschungszentren auf der ganzen Welt eingerichtet. Eines dieser Zentren war das National Center for Supercomputer Applications (NCSA) an der University of Illinois, eines der ältesten Supercomputer-Zentren der NSF. Wegen des Rückgangs der Nutzungsmöglichkeiten für diese Maschinen waren die NCSA-Forscher wie in den meisten anderen Supercomputer-Zentren auf der Suche nach neuen Aufgaben. Das ging auch ein paar Angestellten so, zu denen Marc Andreessen gehörte, ein College-Student, der am Zentrum für 6,85 US\$ pro Stunde teilzeitbeschäftigt war. „Ende 1992 beschloss Marc, der technisch kompetent war und sich ‚tierisch langweilte‘, es würde Spaß machen, mal einen loszumachen und dem Web das grafische, medien-reiche Gesicht zu verpassen, das ihm so fehlte.“<sup>53</sup> Das Ergebnis war ein Web-Browser namens Mosaic, konstruiert zur Implementierung auf Personalcomputern. Marc Andreessen und sein Mitautor Eric Bina stellten Mosaic im November 1993 kostenlos ins NCSA-Web, und bis zum Frühjahr 1994 wurden mehrere Millionen Exemplare benutzt. Marc Andreessen und sein Team wurden dann von Jim Clark angesprochen, einem der legendären

---

53 Reid (1997: 6).

Unternehmer aus dem Silicon Valley, der anfangs sich mit der Firma Silicon Graphics zu langweilte, die er mit großem Erfolg gegründet hatte. Zusammen gründeten sie eine neue Firma, Netscape, die den ersten zuverlässigen Internet-Browser herstellte und kommerziell verwertete, den Netscape Navigator, der im Oktober 1994 auf den Markt kam.<sup>54</sup> Neue Browser oder Suchmaschinen wurden jetzt schnell entwickelt, und die ganze Welt machte sich das Internet zu eigen. So entstand buchstäblich ein *world wide web*, ein weltweites „Web“.

## Netzwerktechnologien und allgegenwärtige Computer-Anwendung

Ende der 1990er Jahre führten die Kommunikationsmöglichkeiten des Internet zusammen mit neuen Entwicklungen in der Telekommunikation und im Computerbereich zu einer weiteren großen technologischen Veränderung, vom Einsatz dezentralisierter, einzelner Computer und Großrechner zum Zugriff auf über das Netz angebundene Datenverarbeitungsanlagen, die in vielfältigen Kombinationen zur Verfügung stehen. Bei dieser neuen Technik wird Computerleistung mittels üblicher Internet-Protokolle von Web-Servern geladen, gewöhnlich unterschieden nach Datenbank- und Anwendungsservern.

Zwar befand sich das neue System zur Zeit der Niederschrift dieses Buches noch in der Entstehung, doch konnten die Anwender bereits von einer ganzen Bandbreite von auf Einzelaufgaben spezialisierten Geräten aus auf das Netzwerk zugreifen – in allen Lebens- und Tätigkeitsbereichen, zu Hause, am Arbeitsplatz, beim Einkaufen, an Vergnügungstätten, in Verkehrsmitteln und schließlich überall. Diese Geräte, auch tragbare, können untereinander ohne eigenes Betriebssystem kommunizieren. Computerleistung, Anwendungen und Daten sind auf den Netzwerk-Servern gespeichert, und die Computer-Intelligenz befindet sich im Netzwerk selbst: Web Sites kommunizieren miteinander und bieten die notwendige Software, um jedes Gerät an das universale Computer-Netzwerk anzuschließen. Neue Software-Programme wie Java (1995) und Jini (1999), von Bill Joy bei Sun Microsystems entwickelt, haben es dem Netzwerk ermöglicht, zum eigentlichen Informationsverarbeitungssystem zu werden. Die Netzwerklogik, verkörpert durch das Internet, ist nun auf jeden Tätigkeitsbereich anwendbar, auf jeden Zusammenhang, an jedem Ort, der elektronisch angeschlossen werden kann. Der Aufstieg des mobilen Telefonierens, angeführt von Nokia (Finnland), Ericsson (Schweden) und Motorola (Amerika), hat die Möglichkeit geschaffen, mit mobilen Geräten Zugang zum Internet zu

---

54 Lewis (2000).

erhalten. Die dritte Handy-Generation, die Nokia und Ericsson 1997 vorstellten, konnten Daten mit einer Geschwindigkeit von 384 Kilobits pro Sekunde im Freien und von 2 Megabits in Gebäuden übertragen, während ein Kupferdraht nur 64 Kilobit Daten pro Sekunde schafft.

Ferner hat die außerordentliche Steigerung der Übertragungskapazität mittels Breitbandkommunikation die Chance geboten, das Internet oder verwandte Kommunikationstechnologien zu benutzen, um durch Paketvermittlung Stimmen ebenso wie Daten zu übertragen und so die Telekommunikation zu revolutionieren – und die Telekommunikationsindustrie. In den Worten von Vinton Cerf: „Heute benutzt man eine Kreisschaltung, um eine Paketvermittlung zu bekommen. Morgen wird man eine Paketvermittlung benutzen, um eine Kreisschaltung zu erhalten.“<sup>55</sup>

Mit einer weiteren technologischen Vision behauptete Cerf, dass es „in der zweiten Hälfte des nächsten Jahrzehnts – das heißt zwischen 2005 und 2010 – eine neue (technologische) Triebkraft geben wird: Milliarden von Geräten, die an das Internet angeschlossen sind“.<sup>56</sup> Also wird schließlich das Kommunikationsnetzwerk paketvermittelt sein, und die Datenübertragung wird für den überwältigend größten Anteil sorgen, während die Stimmübertragung nur eine der spezialisierten Dienstleistungen sein wird. Dieser Umfang an Kommunikationsverkehr wird transatlantisch ebenso wie auf lokaler Ebene eine gigantische Kapazitätsausweitung erfordern. Zur Jahrhundertwende war die Entwicklung einer neuen globalen Infrastruktur für Telekommunikation auf der Grundlage von Glasfaser und digitaler Übertragung bereits in vollem Gang. Die transatlantische Übertragungskapazität durch Glasfaserkabel erreichte 2000 nahezu 110 Gigabits pro Sekunde, verglichen mit etwa 5 Gigabits 1993.

Als Grenzbereich der informationstechnologischen Entwicklung zeichnete sich zur Jahrtausendwende die Anwendung eines nanotechnologischen Ansatzes bei der Chip-Herstellung auf chemischer und/oder biologischer Grundlage ab. Im Juli 1999 veröffentlichte die Zeitschrift *Science* die Ergebnisse von Experimenten des Computerwissenschaftlers Phil Kuekes vom Hewlett-Packard-Labor in Palo Alto und des Chemikers James Heath von UCLA. Sie fanden eine Methode zur Herstellung elektronischer Schalterelemente, die chemische Prozesse anstelle von Licht benutzen. Die Schalter lassen sich so auf die Größe eines Moleküls schrumpfen. Diese ultra-kleinen elektronischen Komponenten sind noch ein gutes Stück – mindestens ein Jahrzehnt – von ihrer praktischen Anwendung entfernt. Aber dieses und andere Forschungsprogramme scheinen darauf hinzuweisen, dass die molekulare Elektronik ein möglicher Weg ist, um die physikalischen Beschrän-

---

55 Cerf (1999).

56 Zit. in *The Economist* (1997: 33).

kungen der zunehmenden Dichte auf Silikon-Chips zu überwinden. Das würde eine Ära von Computern einleiten, die 100 Milliarden Mal so schnell wären wie ein Pentium-Mikroprozessor: Damit wäre es möglich, die Computerleistung von hundert Workstations des Standards von 1999 in einen Raum von der Größe eines Salzkornes zu packen. Auf der Grundlage dieser Technologien sehen Computerwissenschaftler die Möglichkeit von Computer-Umwelten voraus, in denen Milliarden mikroskopischer Informationsverarbeitungsgeräte überall verteilt sein werden „wie Farbpigmente an der Wand“. Wenn es so kommt, dann werden Computernetzwerke im wahrsten Sinn des Wortes der Stoff unseres Lebens sein.<sup>57</sup>

## Die technologische Wende in den 1970er Jahren

Dieses technologische System, das uns zu Beginn des 21. Jahrhunderts vollständig umfängt, hat sich während der 1970er Jahre aus seinen Einzelkomponenten zusammengesetzt. Wegen der Bedeutung spezifischer historischer Zusammenhänge für technologische Entwicklungsbahnen und für die genaue Form der Interaktion zwischen Technologie und Gesellschaft ist es wichtig, sich ein paar Daten in Erinnerung zu rufen, die sich mit wesentlichen Entdeckungen in den Informationstechnologien verbinden. Sie alle haben etwas Wesentliches gemeinsam: Zwar bauten sie in der Hauptsache auf bereits vorhandenem Wissen auf und entwickelten sich als Fortführung der Schlüsseltechnologien, aber sie bedeuteten doch einen qualitativen Sprung für die weitere Verbreitung der Technologie, ermöglicht durch ihre Verfügbarkeit bei abnehmenden Kosten und steigender Qualität in kommerziellen und zivilen Anwendungen. So wurde 1971 der Mikroprozessor, das Schlüsselement für die Ausbreitung der Mikroelektronik, erfunden und fand ab Mitte der 1970er Jahre weite Verbreitung. Der Mikrocomputer wurde 1975 erfunden, und das erste kommerziell erfolgreiche Produkt, der Apple II, wurde im April 1977 eingeführt, etwa zur gleichen Zeit, als Microsoft damit anfang, Betriebssysteme für Mikrocomputer zu produzieren. Der Xerox Alto, die Mutter vieler Software-Technologien für die Personalcomputer der 1990er Jahre, wurde 1973 in den PARC-Labors in Palo Alto entwickelt. Der erste industrielle elektronische Schalter wurde 1969 gefertigt, digitale Schaltungen wurden Mitte der 1970er Jahre entwickelt und ab 1977 verbreitet. Glasfaser wurde erstmals von Corning Glass Anfang der 1970er Jahre hergestellt. Ebenfalls Mitte der 1970er Jahre begann Sony mit der kommerziellen Produktion von Videorecordern, und zwar auf der Grundlage von Entdeckungen, die in den 1960er Jahren in Amerika und England gemacht worden waren, aber

---

57 Hall (1999a); Markoff (1999a, b).

nie das Stadium der Massenproduktion erreicht hatten. Und nicht zuletzt richtete 1969 die Advanced Research Projects Agency (ARPA) des US-Verteidigungsministeriums ein neues, revolutionäres Kommunikationsnetzwerk ein, das während der 1970er Jahre wachsen und schließlich zum heutigen Internet werden sollte. Es wurde in hohem Maße durch die Erfindung des TCP/IP durch Cerf und Kahn 1973 vorangebracht, also des Protokolls zur Verknüpfung von Netzwerken, das die Entwicklung der „Gateway“-Technologie einleitete. Damit war es möglich, unterschiedliche Typen von Netzwerken miteinander zu verbinden. Ich denke, man kann ohne Übertreibung sagen, dass die Revolution in der Informationstechnologie als wirkliche Revolution in den 1970er Jahren stattfand. Das gilt vor allem dann, wenn wir dabei die parallele Entwicklung und Verbreitung der Gentechnologie ungefähr zur gleichen Zeit und an den gleichen Orten mit einschließen. Diese Entwicklung verdient zumindest einige Zeilen der Aufmerksamkeit.

## Technologien des Lebens

Die Biotechnologie kann bis auf eine um das Jahr 6000 v. Chr. datierte babylonische Tontafel über das Bierbrauen zurückverfolgt werden. Die Revolution in der Mikrobiologie begann 1953 mit der wissenschaftlichen Entdeckung der Grundstruktur des Lebens der Doppelhelix der DNA durch Francis Crick und James Watson an der Universität Cambridge. Aber erst Anfang der 1970er Jahre war es mit der Isolierung von Nukleinsäureabschnitten und der Rekombination von DNA, der technischen Grundlage der Gentechnologie, möglich, die angesammelten Kenntnisse auch anzuwenden. Stanley Cohen von Stanford und Herbert Boyer von der University of California in San Francisco wird gewöhnlich das Verdienst zugeschrieben, 1973 das Klonen von Genen entdeckt zu haben. Freilich bauten ihre Arbeiten auf den Forschungen des Nobelpreisträgers Paul Berg (Stanford) auf. 1975 isolierten Forscher in Harvard das erste Säugetier-Gen aus Kaninchen-Hämoglobin, und 1977 wurde das erste menschliche Gen geklont.

Was folgte, war die hektische Gründung kommerzieller Unternehmen, meist als Ableger der großen Universitäten und klinischen Forschungszentren. Solche Firmen entstanden in den USA konzentriert im nördlichen Kalifornien, in Neuengland, Maryland, Virginia, North Carolina und San Diego. Journalisten, Investoren und Politiker waren gleichermaßen beeindruckt von den gewaltigen Chancen, die sich aus der potenziellen Fähigkeit ergaben, Leben einschließlich menschlichen Lebens technisch herzustellen. Genentech im Süden San Franciscos, Cetus in Berkeley und Biogen in Cambridge, Massachusetts, gehörten zu den ersten um Nobelpreisträger herum organisierten Firmen, die Gentechnologie für medizinische Anwendun-

gen einsetzten. Bald folgte die Landwirtschaft; Mikroorganismen, die teilweise genmodifiziert waren, erhielten eine wachsende Zahl von Aufgaben, zu denen nicht zuletzt die Behebung von Umweltverschmutzungen gehörte (von denselben Firmen und Einrichtungen verursacht, die jetzt diese Superbakterien verkauften). Wissenschaftliche Probleme, technische Schwierigkeiten und handfeste rechtliche Hindernisse, die sich aus berechtigten ethischen Bedenken und Ängsten ergaben, verlangsamten während der 1980er Jahre die viel gerühmte biotechnologische Revolution. Beträchtliche Beträge an Risikokapital gingen verloren, und einige der innovativsten Firmen, zu denen auch Genentech gehörte, wurden von Riesen der Pharmaindustrie (Hoffmann-La Roche, Merck) geschluckt. Diese verstanden besser als andere, dass sie die kostspielige Arroganz nicht nachahmen durften, die die etablierten Computerfirmen gegenüber den innovativen Neugründungen an den Tag gelegt hatten: Der Aufkauf kleiner, innovativer Firmen mitsamt ihrem wissenschaftlichen Personal wurde zu einer wichtigen Absicherungspolitik für multinationale Konzerne im Pharma- und Chemie-Bereich. Auf diese Weise verinnahmten sie den kommerziellen Nutzen der biologischen Revolution und waren zugleich in der Lage, deren Tempo zu kontrollieren. Zumindest in der Ausweitung von Anwendungen kam es zu einer Verlangsamung.

Aber Ende der 1980er und in den 1990er Jahren wurde die Biotechnologie durch einen neuen größeren wissenschaftlichen Schub und durch eine neue Generation von wagemutigen Unternehmern aus dem Wissenschaftsbereich neu belebt. Der Schwerpunkt lag eindeutig auf der Gentechnik, der wahrhaft revolutionären Technologie in diesem Bereich. Das genetische Klonen trat in ein neues Stadium ein, als Harvard 1988 offiziell eine genetisch veränderte Maus patentierte. Damit waren Gott und Natur das Copyright für das Leben genommen. Während der nächsten sieben Jahre wurden sieben weitere Mäuse ebenfalls als neu geschaffene Lebensformen patentiert und als Eigentum der Ingenieure identifiziert, die sie geschaffen hatten. Im August 1989 entdeckten Forscher von der University of Michigan und aus Toronto das Gen, das für Mukoviszidose verantwortlich ist, und eröffneten so der Gentherapie den Weg. Im Februar 1997 gaben Wilmut und seine Mitarbeiter am Roslin Institute in Edinburgh das erfolgreiche Klonen eines Schafes bekannt, das sie Dolly nannten und das aus der DNA eines erwachsenen Schafes erschaffen worden war. Im Juli 1998 veröffentlichte die Zeitschrift *Nature* die Ergebnisse eines potenziell noch bedeutsameren Experimentes: Die Forschung zweier Biologen an der University of Hawaii, Yanagimachi und Wakayama, die insgesamt 22 Mäuse geklont hatten, davon sieben Klone von Klonen. Damit war die Möglichkeit der sequenziellen Produktion von Klonen unter schwierigeren Bedingungen als beim Klonen von Schafen nachgewiesen, weil Mäuse-Embryonen sich sehr viel schneller entwickeln als Schaf-Embryonen. Ebenfalls 1998 gelang Wissenschaftlern an der



Portland State University das Klonen erwachsener Affen, wenngleich sie nicht in der Lage waren, die Bedingungen ihres Experimentes zu reproduzieren.

Trotz allen Medienrummels und der Gruselgeschichten denkt niemand ernsthaft an das Klonen von Menschen. Streng genommen ist es physisch eigentlich unmöglich, weil lebende Wesen ihre Persönlichkeit und ihren Organismus in Auseinandersetzung mit der Umwelt ausformen. Das Klonen von Tieren ist wirtschaftlich ineffizient, weil es, im großen Maßstab praktiziert, im Fall einer Infektion die Möglichkeit der völligen Vernichtung der Bestände bedeuten würde – denn alle Tiere einer bestimmten Art wären durch denselben tödlichen Gegner verwundbar. Aber andere Möglichkeiten lassen sich absehen, vor allem in der medizinischen Forschung: das Klonen menschlicher Organe und das Klonen von genmodifizierten Tieren in großem Maßstab für experimentelle Zwecke und zum Ersatz menschlicher Organe. Außerdem zielt die neue biologische Forschung mit ihren weitreichenden medizinischen und kommerziellen Konsequenzen darauf ab, statt des Ersetzens von Organen durch Transplantation Menschen Fähigkeiten zur Selbst-Regeneration einzupflanzen. Eine Übersichtsstudie zu möglichen Anwendungen, zu denen Ende der 1990er Jahre geforscht wurde, ergab die folgenden Projekte, die alle zwischen 2000 und 2010 einsatzbereit sein sollten und die alle mit der Anregung selbst-regenerativen Wachstums von Organen, Gewebe oder Knochen im menschlichen Körper durch biologische Manipulation zu tun haben: Blase, Projekt der Firma Reprogenesis; Harnleiter, Integra Life Services; Oberkieferknochen, Osiris Therapeutics; Insulin produzierende Zellen zur Ersetzung der Pankreas-Funktion, BioHybrid Technologies; Knorpel, ReGen Biologics; Zähne, eine Reihe von Gesellschaften; Rückenmarksnerven, Acorda; Brustgewebe, Reprogenesis; ein vollständiges menschliches Herz auf der Grundlage manipulierter Proteine, deren Fähigkeit zur Hervorbringung von Blutgefäßen bereits getestet ist, Genentech; und Leber-Regeneration auf der Grundlage von Gewebe, dem Leberzellen eingepflanzt werden, Human Organ Sciences.

Das wichtigste Neuland der biologischen Forschung und Anwendung sind heute Gentherapie und breite genetische Vorsorge. Mit getragen wird diese potenzielle Entwicklung von der 1990 gestarteten Regierungsinitiative eines mit 3 Mrd. US\$ ausgestatteten und auf 15 Jahre angelegten Programmes: Koordiniert von James Watson arbeiten einige der avanciertesten Forschungsteams aus der Mikrobiologie daran, das menschliche Genom zu dechiffrieren – also die 60-80.000 Gene zu identifizieren und zu lokalisieren, die das Alphabet der menschlichen Spezies ausmachen.<sup>58</sup> Man erwartete, dass diese Dekodierung 2001, also vor der geplanten

---

58 Zur frühen Entwicklung von Bio- und Gentechnologie s. z. B. Hall (1987); Teitelman (1989); Bishop und Waldholz (1990); US Congress, Office of Technology Assessment

Zeit abgeschlossen sein würde. Im April 2000 stellten die Teams der University of California in einem Forschungszentrum in Walnut Creek die Sequenz von drei der 23 menschlichen Chromosomen zusammen. Durch diese und andere Unternehmungen werden immer mehr menschliche Gene identifiziert, die mit unterschiedlichen Krankheiten zu tun haben. Das hat verbreitet Bedenken und Kritik aus ethischen, religiösen und rechtlichen Gründen hervorgerufen. Aber während Wissenschaftler, Regulierungsbeamte und Ethiker über die humanitären Implikationen der Gentechnik debattierten, nahmen Forscher, die zu Geschäftsleuten geworden waren, eine Abkürzung und entwickelten Verfahren zur rechtlichen und finanziellen Kontrolle über das Wissen vom menschlichen Genom. Der waghalsigste Versuch in dieser Richtung war das Projekt, das 1990 in Rockville, Maryland von zwei Wissenschaftlern begonnen wurde, J. Craig Venter, der damals am Nationalen Gesundheits-Institut arbeitete und William Haseltine, damals in Harvard. Unter Einsatz von Supercomputern erarbeiteten sie in nur fünf Jahren etwa 85 % der Sequenzen aller menschlicher Gene und schufen so eine gigantische genetische Datenbank.<sup>59</sup> Später trennten sie sich und gründeten zwei Firmen. Eine dieser Firmen, Venters Celera Genomics, beschleunigte das Human Genome Project, um die Sequenzierung noch im Jahr 2000 abzuschließen. Das Problem ist, dass sie nicht wissen, welches Stück von welchen Genen stammt und wo dies lokalisiert ist, und dass sie das auch noch für einige Zeit nicht wissen werden: Ihre Datenbank umfasst Hunderttausende von Gen-Fragmenten mit unbekannten Funktionen. Was ist dann Sinn und Zweck des Ganzen? Einmal kann gezielte Forschung über bestimmte Gene sich die Daten zunutze machen, die in solchen Sequenzen enthalten sind, und sie tut das auch. Wichtiger ist aber die Hauptbegründung des gesamten Projektes: Craig und Haseltine haben dafür gesorgt, dass alle ihre Daten patentiert worden sind. Das bedeutet, dass sie eines Tages vielleicht Eigentümer der formellen Rechte über einen Großteil der Kenntnisse sind, die zur Manipulation des menschlichen Genoms benötigt werden. Die Drohung, die von einer solchen Entwicklung ausging, war ernst genug, dass sie einerseits Dutzende von Millionen Dollar von Investoren erhielten, dass aber andererseits der große Pharmakonzern Merck 1994 der Washington University erhebliche Finanzmittel gab, um gleichfalls mit der blinden Sequenzierung fortzufahren, aber die Daten öffentlich zu machen. Damit würde es keine private Kontrolle über einzelne Kenntnisse geben, die die Entwicklung von Produkten auf der Grundlage künftigen systematischen Wissens über das menschliche Genom blockieren könnte. Und das öffentlich finanzierte Human Genome Project veröffentlichte seine Ergebnisse, um Privateigentum an

---

(1991).

59 S. *Business Week* (1995e).

genetischem Wissen zu verhindern. Die soziologische Lehre aus solchen wirtschaftlichen Kämpfen besteht nicht einfach in der Einsicht in einen weiteren Fall menschlicher Habgier. Vielmehr zeigt sie die Beschleunigung der Ausweitung und Vertiefung der genetischen Revolution.

Die Entwicklung der Gentechnologie schafft die Möglichkeit, auf Gene einzuwirken. Die Menschheit wird so instand gesetzt, nicht nur einige Krankheiten zu kontrollieren, sondern biologische Anlagen zu erkennen, in solche Anlagen einzugreifen und so potenziell das genetische Schicksal zu verändern. 1990 waren Wissenschaftler in der Lage, genau die Defekte einzelner menschlicher Gene als Ursache spezifischer Erkrankungen zu benennen. Das hat zur Expansion des anscheinend vielversprechendsten Bereiches medizinischer Forschung geführt, der Gentherapie.<sup>60</sup> Aber die experimentelle Forschung lief gegen eine Wand: Wie soll man ein modifiziertes Gen mit der Anweisung, ein fehlerhaftes Gen zu reparieren, an den richtigen Platz im Körper bringen, selbst wenn man weiß, wo das Zielgebiet liegt. In der Forschung wurden im Allgemeinen Viren oder künstliche Chromosomen benutzt, aber die Erfolgsrate war äußerst gering. Also begannen die Forscher mit anderen Werkzeugen zu experimentieren, etwa winzigen Fettmolekülen, die so angelegt waren, dass sie Antitumor-Gene direkt in Krebsgeschwüre einbrachten. Diese Technologie wurde von Firmen wie Valentis und Transgene eingesetzt. Manche Biologen meinen, dass diese technizistische Einstellung – ein Ziel, ein Botschafter, eine Wirkung – an der Komplexität biologischen Ineinanderwirkens vorbei geht, weil lebendige Organismen sich an unterschiedliche Umwelten anpassen, und ihr erwartetes Verhalten ändern können.<sup>61</sup>

Denn sobald die Gentherapie Ergebnisse liefert, wird das eigentliche Ziel der auf Genetik aufbauenden medizinischen Therapie die Prävention sein. Es wird also darum gehen, genetische Defekte in menschlichem Sperma und menschlichen Eizellen zu erkennen und auf die menschlichen Träger einzuwirken, bevor die programmierte Krankheit ausbricht. Damit würde der genetische Fehler bei ihnen und bei ihren Nachkommen ausgeschaltet, solange noch Zeit ist. Diese Perspektive birgt natürlich ebenso viele Chancen wie Gefahren. Lyon und Gerner beschließen ihren ausgewogenen Überblick über die Entwicklungen im Bereich der auf Menschen bezogenen Gentechnik mit einer Voraussage und einer Mahnung:

Wir könnten innerhalb von ein paar Generationen vielleicht bestimmte Geisteskrankheiten überwinden, oder Diabetes oder Bluthochdruck oder fast alle Leiden, die wir uns auswählen. Das Wesentliche, was es im Auge zu behalten gilt, ist, die

---

60 *Business Week* (1999a: 94-104).

61 Capra (1999a); Sapolsky (2000).

Qualität der Entscheidungsfindung, die diktiert, ob die Auswahl, die dann getroffen wird, weise und gerecht sein wird ... Die ziemlich unrühmliche Art und Weise, in der die Wissenschafts- und Verwaltungselite die frühen Früchte der Genterapie behandelt, lässt Schlimmes ahnen ... Wir Menschen sind intellektuell bis zu einem Punkt vorangeschritten, wo wir relativ bald in der Lage sein werden, Zusammensetzung, Funktionsweise und Dynamik des Genoms in einem Großteil seiner beeindruckenden Komplexität zu verstehen. Aber emotional sind wir immer noch Affen mit all dem Verhaltensballast, den das mit sich bringt. Vielleicht würde die höchste Form der Genterapie darin bestehen, dass unsere Spezies sich über die niedrigeren Teile ihres Erbes erhebt und lernt, ihr neues Wissen weise und gütig anzuwenden.<sup>62</sup>

Alles weist darauf hin, dass die Gentechnologie und ihre Anwendungen in den Anfangsjahren des neuen Jahrtausends zu voller Blüte gelangen werden. Das wird eine grundsätzliche Debatte über die bereits verschwimmende Grenze zwischen Natur und Gesellschaft auslösen.

## **Der gesellschaftliche Zusammenhang und die Dynamik des technologischen Wandels**

Warum fanden die Entdeckungen in den neuen Informationstechnologien konzentriert in den 1970er Jahren und in erster Linie in den Vereinigten Staaten statt? Und was sind die Konsequenzen dieser Zusammenballung in Zeit und Raum für ihre künftige Entwicklung und für ihre Interaktion mit anderen Gesellschaften? Es wäre verführerisch, die Herausbildung dieses technologischen Paradigmas unmittelbar mit den Charakteristika seines sozialen Entstehungszusammenhangs in Verbindung zu bringen. Das gilt erst recht, wenn wir uns daran erinnern, dass die Vereinigten Staaten und die kapitalistische Welt Mitte der 1970er Jahre von einer schweren Wirtschaftskrise erschüttert wurden. Diese Krise wurde symbolisiert, aber nicht verursacht durch den Ölschock von 1973/74. Sie bewirkte eine dramatische Umstrukturierung des kapitalistischen Systems von globalem Ausmaß. Damit entstand wirklich ein neues Akkumulationsmodell, das mit dem Kapitalismus der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg brach, wie ich es im Prolog zu diesem Buch formuliert habe. War das neue technologische Paradigma nun eine Reaktion des kapitalistischen Systems, das seine inneren Widersprüche überwinden wollte? Oder war dies vielmehr eine Möglichkeit, die eigene militärische Überlegenheit über den sowjetischen Todfeind zu garantieren, als Antwort auf dessen technologische Herausforderung beim Wettrennen in der Raumfahrt und bei den Kernwaffen?

---

62 Lyon und Gerner (1995: 567).

Keine dieser Erklärungen scheint überzeugend. Es gibt allerdings ein historisches Zusammentreffen zwischen dem gehäuften Auftreten der neuen Technologien und der Wirtschaftskrise der 1970er Jahre, aber die zeitliche Aufeinanderfolge war zu eng, die technologische Lösung wäre allzu schnell gekommen und allzu mechanisch gewesen. Und wir wissen ja aus der industriellen Revolution und aus anderen historischen Prozessen technologischen Wandels, dass wirtschaftliche, industrielle und technologische Entwicklungspfade zwar miteinander zu tun haben, aber ihr Zusammenwirken stockend und nicht reibungslos vonstattengeht. Was das militärische Argument angeht, so wurde der Sputnik-Schock von 1957-60 mit gleicher Münze mit der massiven technologischen Expansion der 1960er Jahre heimgezahlt, nicht der der 1970er Jahre. Und der wesentliche neue Schub in der amerikanischen Militärtechnologie kam 1983 im Zusammenhang mit dem „Krieg der Sterne“-Programm, das wiederum die Technologien benutzte und weiter vorantrieb, die in dem vorhergehenden so erstaunlichen Jahrzehnt entwickelt worden waren. Und während das Internet aus Forschungen hervorging, die vom US-Verteidigungsministerium gefördert wurden, wurde es in Wirklichkeit erst viel später auch für militärische Zwecke eingesetzt, etwa zur selben Zeit, als es begann, sich in die gegenkulturellen Netzwerke auszubreiten.

Es scheint also, dass wir das Auftreten eines neuen technologischen Systems in den 1970er Jahren auf die autonome Dynamik der technologischen Entdeckung und Verbreitung zurückführen müssen, einschließlich der Synergie-Effekte zwischen unterschiedlichen Schlüsseltechnologien. So machte der Mikroprozessor den Mikrocomputer möglich; Fortschritte in der Telekommunikation setzten, wie oben dargestellt, Mikrocomputer instand, in Netzwerken zu arbeiten und so ihre Leistungsstärke und Flexibilität zu erhöhen. Anwendungen dieser Technologien in der Elektronikindustrie verbesserten die Spielräume für neue Konstruktionen und Fertigungstechnologien in der Halbleiterproduktion. Neue Software wurde durch das schnelle Wachstum des Mikrocomputer-Marktes angeregt, der auf der Grundlage neuer Anwendungen und benutzerfreundlicher Technologien erst recht aufblühte. Die Computer-Netzwerke konnten sich ausbreiten, weil sie Software einsetzten, die das benutzerorientierte *world wide web* möglich machten. Und so weiter.

Der starke, militärisch verursachte technologische Anstoß der 1960er Jahre hatte die amerikanische Technologie auf den Sprung nach vorne vorbereitet.

Aber Ted Hoffs Erfindung des Mikroprozessors – während der Arbeit am Auftrag einer japanischen Taschenrechner-Firma – kam aus dem Wissen und der Seriosität, die sich bei Intel in enger Beziehung zum seit den 50er Jahren in Silicon Valley entstandenen Innovationsmilieu entwickelt hatte und war – mit anderen Worten – die erste informationstechnologische Revolution, konzentriert auf Amerika und auf Kalifornien. Sie baute auf Entwicklungen der vorangegangenen beiden Jahrzehnte

auf und erfolgte unter dem Einfluss diverser institutioneller, wirtschaftlicher und kultureller Faktoren. Aber sie entstand nicht aus irgendeiner vorher festgelegten Notwendigkeit: Sie war technologisch veranlasst und nicht gesellschaftlich determiniert. Aber nach dem sie einmal auf der Grundlage der beschriebenen Zusammenballung zustande gekommen war, wurden ihre Entwicklung und ihre Anwendungen und letztlich auch ihr Inhalt entscheidend durch den historischen Kontext geprägt, in dem sie sich ausbreitete. In der Tat führte der Kapitalismus – genauer die Großkonzerne und die Regierungen des Clubs der G7-Länder – in den 1980er Jahren einen umfangreichen Prozess wirtschaftlicher und organisatorischer Restrukturierung durch. Dabei spielte die Informationstechnologie eine grundlegende Rolle und wurde ihrerseits durch die Rolle, die sie spielte, entscheidend geprägt. Zum Beispiel war die von der Wirtschaft angeführte Bewegung zur Deregulierung und Liberalisierung in den 1980er Jahren entscheidend wichtig für die Reorganisation und das Wachstum der Telekommunikation, am deutlichsten nach der Aufteilung von ATT 1984. Umgekehrt bereitete die Verfügbarkeit der neuen Telekommunikationsnetzwerke und Informationssysteme den Boden für die globale Integration der Finanzmärkte und die Verknüpfung von Produktion und Handel auf der ganzen Welt, die ich in Kapitel 2 untersuche.

Was sich in den 1970er Jahren an neuen Technologien zu einem System verdichtet hatte, war die entscheidende Grundlage für den Prozess sozioökonomischer Restrukturierung in den 1980er Jahren. Wie diese Technologien in den 1980er Jahren genutzt wurden, beeinflusste ihre Nutzungsweisen und Entwicklungsbahnen in den 1990er Jahren wesentlich. Der Aufstieg der Netzwerkgesellschaft, die ich in den folgenden Kapiteln dieses Bandes zu analysieren versuche, lässt sich nicht ohne die Interaktion dieser relativ autonomen Tendenzen verstehen: der Entwicklung neuer Informationstechnologien und des Versuchs der alten Gesellschaft, sich mit neuen Werkzeugen auszurüsten, indem sie die Macht der Technologie einsetzte, um der Technologie der Macht zu dienen. Jedoch ist das historische Ergebnis einer solchen halbbewussten Strategie weitgehend unbestimmt. Denn die Interaktion zwischen Technologie und Gesellschaft ist abhängig von stochastischen Beziehungen einer übergroßen Anzahl von quasi-unabhängigen Variablen. Ohne dass man zwangsläufig vor dem historischen Relativismus kapitulieren muss, lässt sich doch sagen, dass die informationstechnologische Revolution kulturell, historisch und räumlich von sehr spezifischen Umständen abhängig war, deren Charakteristika ihre künftige Evolution vorzeichneten.

## Modelle, Akteure und Orte der informationstechnologischen Revolution

War die erste industrielle Revolution britisch, so war die erste informationstechnologische Revolution amerikanisch mit kalifornischer Schlagseite. In beiden Fällen spielten Wissenschaftler und Industrielle aus anderen Ländern eine wichtige Rolle, sowohl für die Entdeckung wie für die Verbreitung der neuen Technologien. Frankreich und Deutschland waren während der industriellen Revolution unverzichtbare Quellen von Talenten und Anwendungen. Wissenschaftliche Entdeckungen, die am Anfang neuer Technologien in der Elektronik und in der Biologie standen, gingen von England, Frankreich, Deutschland und Italien aus. Der Einfallsreichtum japanischer Firmen war entscheidend für die Verbesserung der Fertigungsprozesse in der Elektronik und für das Eindringen der Informationstechnologien in das Alltagsleben auf der ganzen Welt durch eine Welle innovativer Produkte, angefangen von Video- und Fax-Geräten bis hin zu Videospielen und Pägern.<sup>63</sup> Schließlich gelang es japanischen Firmen in den 1980er Jahren, in der Halbleiterproduktion die Vorherrschaft auf dem Weltmarkt zu erringen, wenn auch amerikanische Firmen Mitte der 1990er Jahre im Großen und Ganzen die Nase im Wettbewerb wieder vorne hatten. Der gesamte Industriezweig entwickelte sich hin zu wechselseitiger Durchdringung, strategischen Allianzen und Netzwerkbeziehungen zwischen Firmen aus unterschiedlichen Ländern, was in Kapitel 3 analysiert wird. Damit wurde die Unterscheidung nach nationaler Herkunft etwas weniger bedeutsam. Aber die Innovatoren aus den USA, die Unternehmen und Institutionen gingen nicht nur zu der Revolution in den 1970er Jahren voran, sondern sie spielten auch danach eine führende Rolle bei ihrer Ausbreitung. Es ist anzunehmen, dass sie diese Rolle im 21. Jahrhundert beibehalten werden, auch wenn wir zweifellos eine zunehmende Präsenz von japanischen, chinesischen, koreanischen und indischen Firmen erleben werden, ebenso wie wichtige europäische Beiträge in den Bereichen Biotechnologie, Chemie, Software und Telekommunikation.

Um die gesellschaftlichen Wurzeln der amerikanischen informationstechnologischen Revolution jenseits der Mythen, die sie umgeben, besser zu verstehen, rufe ich kurz in Erinnerung, wie Silicon Valley, als bekannteste Pflanzstätte von Innovation entstanden ist. Es war hier, wo neben anderen Schlüsseltechnologien der integrierte Schaltkreis, der Mikroprozessor, der Mikrocomputer entwickelt wurden und wo vier Jahrzehnte lang das Herz der Innovation im Bereich der Elektronik schlug, unterstützt von einer Viertelmillion Beschäftigten der Informa-

---

63 Forester (1993).

tionstechnologie.<sup>64</sup> Zudem stand die Region der San Francisco Bay – zu der weitere Innovationszentren wie Berkeley, Emeryville, Marin County und San Francisco selbst gehören – auch am Ursprung der Gentechnologie, und sie ist zu Beginn des neuen Jahrhunderts eines der weltweit führenden Zentren für fortgeschrittene Software, für Gentechnologie, für Internet-Design und -entwicklung sowie für multimediales Computerdesign.

Silicon Valley – Santa Clara County, etwa 50 km südlich von San Francisco zwischen Stanford und San Jose – konnte zum Innovationsmilieu werden, weil verschiedene Faktoren einerseits neues technologisches Wissen, ein großes Reservoir qualifizierter Ingenieure und Wissenschaftler von den großen Universitäten der Region, großzügige Finanzierung auf einem vom US-Verteidigungsministerium garantierten Markt, die Entwicklung eines effizienten Netzwerkes von Risikokapital-Firmen und andererseits in einer sehr frühen Phase auch die institutionelle Führungsrolle der Stanford University zusammen kamen. Denn die etwas *erstaunliche* Platzierung der Elektronik-Industrie in einer idyllischen, beinahe ländlichen Gegend im nördlichen Kalifornien lässt sich darauf zurück führen, dass 1951 der weitsichtige Dekan und Vorstand der ingenieurwissenschaftlichen Fakultät Frederick Terman den Stanford Industrial Park gründete. Er hatte 1938 selbst zwei seiner Absolventen, William Hewlett und David Packard, dabei unterstützt, eine Elektronikfirma aufzubauen. Der Zweite Weltkrieg erwies sich für Hewlett Packard und andere neu gegründete Elektronikfirmen als Goldgrube. Also waren sie natürlich die ersten Siedler an einem neuen, privilegierten Standort, wo nur solche Firmen, die von Stanford als innovativ eingestuft wurden, von einer eher symbolischen Miete profitieren konnten. Weil der Stanford Industrial Park sich schnell füllte, begannen neue Elektronikfirmen sich am Freeway 101 in Richtung San Jose anzusiedeln.

Das entscheidende Ereignis war der Umzug William Shockleys, des Erfinders des Transistors, nach Palo Alto 1955. Hier handelte es sich um eine zufällige Entwicklung, wenn auch zugleich um einen Hinweis auf die historische Unfähigkeit etablierter Elektronikfirmen, sich die revolutionäre Technologie der Mikroelektronik zu sichern. Shockley hatte sich um die Unterstützung von Großfirmen an der Ostküste wie RCA und Raytheon bemüht, um seine Entdeckung zur industriellen Produktionsreife zu bringen. Als er abgewiesen wurde, nahm er einen Job in Silicon Valley bei einem Tochterunternehmen von Beckman Instruments an – hauptsächlich deshalb, weil seine Mutter in Palo Alto lebte. Mit Unterstützung von Beckman Instruments beschloss er dort 1956, seine eigene Firma aufzubauen, Shockley Transistors. Er

---

64 Zur Entstehungsgeschichte des Silicon Valley verweise ich auf zwei nützliche und lesbare Bücher: Rogers und Larsen (1984) und Malone (1985).



rekrutierte acht brillante junge Techniker vor allem von den Bell Laboratorien, die von der Aussicht angezogen waren, mit Shockley arbeiten zu können; einer davon war Bob Noyce, der allerdings gerade nicht von den Bell Laboratorien kam. Sie wurden bald enttäuscht. Sie lernten zwar von Shockley die Grundlagen der avanciertesten Mikroelektronik, aber sie fühlten sich abgestoßen von seiner autoritären Art und seiner Sturheit, die die Firma in eine Sackgasse führten. Vor allem wollten sie gegen seinen Willen Silikon als den vielversprechendsten Weg erforschen, um eine größere Integration von Transistoren zu erreichen. Deshalb verließen sie Shockley – dessen Firma zusammenbrach – bereits nach einem Jahr. Die Acht gründeten mit Hilfe von Fairchild Cameras die Firma Fairchild Semiconductors, wo während der folgenden beiden Jahre die Planartechnologie und der integrierte Schaltkreis erfunden wurden. Während sich Shockley nach wiederholten geschäftlichen Fehlschlägen schließlich 1963 auf eine Stanford-Professur flüchtete, verließen die „Fairchild Eight“, sobald sie die technologischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten ihres Wissens erkannt hatten, einer nach dem anderen Fairchild und gründeten eigene Firmen. Und die Leute, die sie selbst wiederum angeheuert hatten, taten nach einiger Zeit dasselbe. So lässt sich die Hälfte der 85 größten amerikanischen Halbleiterfirmen einschließlich der heute führenden wie Intel, Advanced Micro Devices, National Semiconductors, Signetics usw. auf diese Ableger von Fairchild zurück verfolgen.

Eben dieser Technologietransfer von Shockley zu Fairchild und dann zu einem Netzwerk von Ableger-Firmen bildete die anfängliche Quelle der Innovation in Silicon Valley und die Grundlage der Revolution in der Mikroelektronik. Schließlich waren Stanford und Berkeley Mitte der 1950er Jahre noch nicht die führenden Zentren in der Mikroelektronik; das war das MIT, und das äußerte sich im ursprünglichen Standort der Mikroelektronik-Industrie in Neuengland, im Nordosten der USA. Aber mit dem Wissenstransfer nach Silicon Valley wurde es durch die Dynamik seiner Industriestruktur und die laufende Gründung neuer Firmen Anfang der 1970er Jahre zum weltweit führenden Zentrum für Mikroelektronik. Anna Saxenian hat die Entwicklung der Elektronik-Zentren in den beiden Regionen – Route 128 in Boston und Silicon Valley – miteinander verglichen und ist zu dem Schluss gekommen, dass die entscheidende Rolle der sozialen und industriellen Organisation der Firmen zukam, die Innovation entweder förderte oder abwürgte.<sup>65</sup> Während also die großen, fest etablierten Firmen im Osten zu unbeweglich (und zu arrogant) waren, um sich ständig neu für das Überschreiten technologischer Grenzen auszurüsten, produzierte Silicon Valley neue Firmen am laufenden Band, die sich gegenseitig befruchteten und durch Jobwechsel und neue Ableger Wissen diffundierten. Gespräche spät am Abend in „Walker’s Wagon Wheel

---

65 Saxenian (1994).

Bar and Grill“ in Mountain View haben mehr zur Verbreitung technologischer Innovation beigetragen als die meisten akademischen Veranstaltungen in Stanford.

Wie ich an anderer Stelle ausführlich dargestellt habe,<sup>66</sup> war ein weiterer Faktor bei der Entstehung von Silicon Valley die frühzeitige Existenz eines Netzwerkes von Risikokapital-Firmen.<sup>67</sup> Der wesentliche Faktor dabei war, dass die meisten der frühen Investoren aus der Elektronikindustrie kamen und sich daher mit den technologischen und geschäftlichen Vorhaben auskannten, auf die sie setzten. So war Gene Kleinert von Kleinert, Perkins and Partners, eine der wichtigsten Risikokapital-Firmen der 1960er Jahre, einer der „Fairchild Eight“ gewesen. 1988 konnte man schätzen, dass „Risikokapital etwa die Hälfte der Investitionen in neue Produkte und Dienstleistungen ausmachte, die mit der Informations- und Kommunikationsindustrie zusammenhingen“<sup>68</sup>.

Die besondere Atmosphäre von Silicon Valley wirkte auch bei der Entwicklung des Mikrocomputers mit, der eine historische Wende bei der Nutzung der neuen Informationstechnologie einleitete.<sup>69</sup> Mitte der 1970er Jahre hatte Silicon Valley Zehntausende heller junger Köpfe aus der ganzen Welt angezogen, die auf der Suche nach den Glücksbringern Erfindung und Geld in das aufregende neue technologische Mekka strömten. Sie sammelten sich zum Austausch von Ideen und Informationen über die neuesten Entwicklungen in lockeren Gruppen. Ein solcher Treffpunkt war der „Home Brew Computer Club“, zu dessen jungen Visionären Bill Gates, Steve Jobs und Steve Wozniak gehörten. Sie sollten in den folgenden Jahren an die 22 Firmen gründen, u. a. Microsoft, Apple, Comenco und North Star. Als der Club in *Popular Electronics* einen Artikel über die Altair-Maschine von Ed Roberts las, inspirierte dies Steve Wozniak im Sommer 1976 zur Konstruktion eines Mikrocomputers, des Apple I, in seiner Garage in Menlo Park. Steve Jobs erkannte die darin enthaltenen Möglichkeiten, und sie gründeten gemeinsam Apple. Der Intel-Direktor Mike Markkula gab ihnen ein Darlehen von 91.000 US\$ und trat als Partner mit ein. Etwa zur selben Zeit gründete Bill Gates Microsoft, um das Betriebssystem für Mikrocomputer bereitzustellen, wenngleich er die Firma 1978 nach Seattle verlegte, um die gesellschaftlichen Verbindungen seiner Familie zu nutzen.

---

66 Castells (1989b: Kap. 2).

67 Zook (2000c).

68 Kay (1990: 173).

69 Levy (1984); Egan (1995). Vgl. die interessante Fallstudie über das komplexe Zusammenspiel zwischen technologischer Kreativität und Geschäftsstrategien von Hitzlik (1999) zur Entwicklung eines der wichtigsten Innovationszentren in Silicon Valley, Xerox-PARC.

Eine parallel verlaufende Geschichte ließe sich über das Wachstum der Gentechnologie berichten. Hier schlugen führende Wissenschaftler von der Stanford University of California in San Francisco und Berkeley Brücken zu Firmen, die zunächst in der Region San Francisco angesiedelt waren. Sie sollten gleichfalls den Prozess häufiger Ausgliederungen durchlaufen, wobei enge Verbindungen mit den Mutterinstitutionen erhalten blieben.<sup>70</sup> Vergleichbare Prozesse gab es in der Region Boston/Cambridge um Harvard-MIT herum, im Forschungsdreieck um die Duke University in Nord Carolina und vor allem in Maryland im Umkreis der großen Krankenhäuser, der nationalen Gesundheitsforschungsinstitute und der Johns Hopkins University.

Aus diesen schillernden Geschichten sind zwei Folgerungen zu ziehen. Erstens: Die Entwicklung der Informationstechnologie hat zur Herausbildung der Innovationsmilieus beigetragen, in denen Entdeckungen und Anwendungen in einem wiederkehrenden Prozess von Versuch und Irrtum, von *Lernen durch Anwenden*, sich wechselseitig beeinflussten und getestet werden konnten; diese Prozesse benötigten – und benötigen selbst im frühen 21. Jahrhundert den Online-Netzwerken zum Trotz – die räumliche Konzentration von Forschungszentren, von höheren Bildungseinrichtungen, von Firmen der Spitzentechnologie, eines Netzwerkes von unterstützenden Zulieferern von Gütern und Dienstleistungen und von geschäftlichen Netzwerken von Risikokapitalfirmen, die bereit sind, Neugründungen zu finanzieren.

Zweitens: Ist ein solches Milieu erst einmal konsolidiert, wie Silicon Valley Anfang der 1970er Jahre, so tendiert es dazu, seine eigene Dynamik zu entfalten und Wissen, Investitionen und Talent aus der ganzen Welt an sich zu ziehen. So hat Silicon Valley in den 1990er Jahren von der heftigen Ausbreitung japanischer, taiwanesischer, koreanischer, indischer und europäischer Firmen profitiert, und dem Zustrom Tausender Ingenieure und Computer-Experten, vor allem aus Indien und China, für die eine aktive Präsenz im Valley die produktivste Verbindung mit den Quellen der neuen Technologie und wertvolles Unternehmerwissen bedeutet.<sup>71</sup> Weiter war die Region San Francisco wegen ihrer Positionierung im Netz der technologischen Innovationen und wegen ihres natürlichen Verständnisses für die Geschäftsregeln der neuen Informationswirtschaft in der Lage, in jede neue Entwicklung einzusteigen. Als in den 1990er Jahren das Internet privatisiert wurde und sich in eine kommerzielle Technik verwandelte, war Silicon Valley in der Lage, sich des neuen Industriezweiges zu bemächtigen. Führende Firmen für Internet-Ausrüstungen wie Cisco Systems, Firmen für Computernetzwerke wie Sun Microsystems,

---

70 Blakeley u. a. (1988); Hall u. a. (1988).

71 Saxenian (1999).

Software-Firmen wie Oracle und Internet-Portale wie Yahoo! wurden in Silicon Valley gestartet.<sup>72</sup> Außerdem ballten sich auch die meisten der Neugründungen, die den e-Commerce einführten und das Geschäftsleben revolutionierten – etwa Ebay – im Silicon Valley zusammen. Das Aufkommen von Multimedia Mitte der 1990er Jahre rief ein Netzwerk von technologischen und geschäftlichen Verknüpfungen ins Leben zwischen Kapazitäten im Computer-Design, von Firmen in Silicon Valley und Bilder produzierenden Studios in Hollywood, was sofort als „Siliwood“-Industrie bezeichnet wurde. Und in einem heruntergekommenen Viertel von San Francisco, South of the Market, kamen Künstler, Grafik-Designer und Software-Ingenieure im so genannten „Multimedia Gulch“ zusammen, der droht, unsere Wohnzimmer mit Bildern zu überschwemmen, die den Fieberträumen dieser Leute entspringen. Und dabei entstand das dynamischste Zentrum für Multimedia-Design der Welt.<sup>73</sup>

Kann dieses gesellschaftliche, kulturelle und räumliche Innovationsmuster in die ganze Welt extrapoliert werden? Um diese Frage zu beantworten, begannen mein Kollege Peter Hall und ich 1988 eine mehrjährige, weltweite Reise. Sie ermöglichte es uns, einige der wichtigsten wissenschaftlich-technologischen Zentren dieses Planeten zu besuchen und zu analysieren, von Kalifornien bis Japan, von Neuengland bis zum alten England, von Paris-Sud bis Xinzhu auf Taiwan, von Sophia-Antipolis bis Akademgorodok, von Zelenograd bis Daeduck, von München bis Seoul. Unsere Schlussfolgerungen<sup>74</sup> bestätigen die entscheidende Rolle von Innovationsmilieus bei der Entwicklung der informationstechnologischen Revolution: Zusammenballungen von naturwissenschaftlichem/ technischem Wissen, von entsprechenden Institutionen, Firmen und qualifizierter Arbeitskraft sind die Schmelztiegel der Innovation im Informationszeitalter. Aber sie brauchen nicht die kulturelle, räumliche, institutionelle und industrielle Struktur von Silicon Valley zu kopieren und auch nicht die anderer amerikanischer Zentren technologischer Innovation wie Süd-Kalifornien, Boston, Seattle oder Austin.

Unsere erstaunlichste Entdeckung besteht darin, dass die größten der alten metropoliten Zentren der industrialisierten Welt auch die wichtigsten Innovations- und Produktionszentren der Informationstechnologie außerhalb der Vereinigten Staaten sind. In Europa hat Paris-Sud die höchste Konzentration hochtechnologischer Produktion und Forschung; und der M4-Korridor Londons ist der führende Elektronik-Standort Großbritanniens, in historischer Kontinuität mit Firmen, die schon im 19. Jahrhundert für die Krone gearbeitet hatten. Die Verdrängung von Berlin durch München hatte offenkundig mit der Niederlage

---

72 Reid (1997); Bronson (1999); Kaplan (1999); Lewis (2000); Zook (2000c).

73 Rosen u. a. (1999).

74 Castells und Hall (1994).

Deutschlands im Zweiten Weltkrieg zu tun, als Siemens zielstrebig von Berlin nach München umzog, weil man hoffte, dass diese Region unter amerikanische Besatzung kommen würde. Tokyo-Yokohama ist weiterhin das technologische Herz der japanischen informationstechnologischen Industrie, ungeachtet der Dezentralisierung von Zweigbetrieben im Rahmen des Technopolis-Programms. Moskau-Zelenograd und St. Petersburg waren und sind immer noch die Zentren des sowjetischen und russischen technologischen Wissens und der entsprechenden Produktion, nachdem der sibirische Traum Chruschtschows zerplatzt war. Xinzhu ist im Grunde eine Satellitenstadt von Taipei. Daeduck spielte gegenüber Seoul-Inchon nie eine bedeutende Rolle, obwohl es die Heimatprovinz des Diktators Park war; und Beijing und Shanghai sind und bleiben die Herzstücke der technologischen Entwicklung in China. Und das gilt auch für Mexico City in Mexiko, für São Paulo-Campinas in Brasilien und für Buenos Aires in Argentinien. In diesem Sinne ist das technologische Verblassen der alten amerikanischen Metropolen – New York/New Jersey trotz seiner herausragenden Rolle bis in die 1960er Jahre, Chicago, Detroit, Philadelphia – eine Ausnahme auf internationaler Ebene. Sie hat zu tun mit der amerikanischen Besonderheit des Pioniergeistes und mit der endlosen Tendenz zur Flucht oder zum Eskapismus aus den Widersprüchen fertig gebauter Städte und festgefügtter Gesellschaften. Andererseits wäre es spannend, die Beziehung zwischen dieser amerikanischen Besonderheit und der unbestreitbaren amerikanischen Vorherrschaft in einer technologischen Revolution herauszufinden, die gekennzeichnet ist durch die Notwendigkeit, gefestigte geistige Formen zu durchbrechen, um die Kreativität anzuspornen.

Dennoch scheint der metropolitane Charakter der meisten Standorte der informationstechnologischen Revolution rund um die Welt darauf hinzudeuten, dass bei ihrer Entwicklung die kritische Komponente nicht die Neuheit der institutionellen und kulturellen Umgebung ist. Es geht vielmehr um die Fähigkeit dieser Umgebung, Synergieeffekte auf der Grundlage von Wissen und Information hervorzubringen, die in direkter Beziehung zur industriellen Produktion und ihrer kommerziellen Verwertung stehen. Die Metropole mag alt oder neu sein – letztendlich ist die Region San Francisco mit etwa 6,5 Mio. Menschen eine Metropole. Ihre kulturelle und wirtschaftliche Stärke macht sie zur privilegierten Umwelt dieser neuen technologischen Revolution. Damit wird in der Tat die Vorstellung von der Ortlosigkeit der Innovation im Informationszeitalter entmystifiziert.

In ähnlicher Weise scheint das unternehmerische Modell der informationstechnologischen Revolution von Ideologie überschattet zu sein. Nicht nur sind das japanische, europäische und chinesische Modell technologischer Innovation von der amerikanischen Erfahrung ziemlich verschieden, auch diese Erfahrung selbst wird oft missverstanden. Man nimmt allgemein an, dass in Japan die Rolle

des Staates entscheidend war, wo die großen Konzerne lange Zeit bis weit in die 1980er Jahre hinein vom Ministerium für Internationalen Handel und Industrie (MITI) angeleitet und unterstützt wurden. Es handelte sich um eine Serie engagierter technologischer Programme, von denen einige, wie etwa der Computer der fünften Generation, fehlgeschlagen sind, die meisten aber dazu beigetragen haben, Japan in gerade einmal 20 Jahren in eine technologische Supermacht zu verwandeln, wie dies Michael Borrus nachgewiesen hat.<sup>75</sup> In der japanischen Erfahrung lassen sich keine innovativen Neugründungen und nur eine kleine Rolle der Universitäten ausmachen. Die strategische Planung des MITI und der ständige Austausch zwischen den *keiratsu* und der Regierung sind die Schlüsselemente zur Erklärung der japanischen Stärke, die Europa überwältigt und die USA in einigen Segmenten der informationstechnologischen Industrie überholt hat. Ähnliches kann man von Südkorea und Taiwan sagen, wenn auch im letzteren Fall multinationale Konzerne eine größere Rolle gespielt haben. Die starken technologischen Basen von Indien und China stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit ihrem jeweiligen militärisch-industriellen Komplex und werden vom Staat finanziert und angeleitet.

Das galt bis zu den 1980er Jahren auch für die britische und die französische Elektronikindustrie.<sup>76</sup> Im letzten Viertel des 20. Jahrhunderts legte die Europäische Union eine Reihe von Technologieprogrammen auf, um im internationalen Wettbewerb Schritt zu halten und unterstützte systematisch die „nationalen Champions“, selbst mit Verlusten und ohne große Ergebnisse. Vielmehr bestand die einzige Möglichkeit des technologischen Überlebens für die europäischen Firmen der Informationstechnologie darin, ihre beträchtlichen Ressourcen – von denen ein bedeutender Anteil aus Regierungsmitteln stammt – zum Abschluss von Allianzen mit japanischen und amerikanischen Firmen zu nutzen, die zunehmend zu ihrer wichtigsten Quelle von Know-how in den Spitzenpositionen der Informationstechnologie wurden.<sup>77</sup>

Selbst in den USA spielten bekanntlich Militäraufträge und technologische Initiativen des Verteidigungsministeriums eine entscheidende Rolle in der Anfangsphase der informationstechnologischen Revolution, also zwischen den 1940er und 1970er Jahren. Auch die wichtigste Quelle elektronischer Entdeckungen, Bell Laboratories, waren ein nationales Labor: Ihre Muttergesellschaft, ATT, spielte die Rolle eines staatlich erzwungenen Monopolisten im Telekommunikationsbereich; ein bedeutender Teil ihrer Forschungsgelder kam von der US-Regierung; und ATT wurde zudem 1956 von der Regierung gezwungen, als Gegenleistung für sein Mo-

---

75 Borrus (1988).

76 Hall u. a. (1987).

77 Castells u. a. (1991); Freeman u. a. (1991).

nopol auf öffentliche Telekommunikation seine technologischen Entdeckungen an die Öffentlichkeit weiterzugeben.<sup>78</sup> MIT, Harvard, Stanford, Berkeley, UCLA, die University of Chicago, Johns Hopkins und nationale Militärlaboratorien wie Livermore, Los Alamos, Sandia und Lincoln arbeiteten gemeinsam mit oder für Abteilungen des Verteidigungsministeriums an Vorhaben, die zu grundlegenden Durchbrüchen führten, von den Computern der 1940er bis zu den Technologien im Bereich der Opto-Elektronik und der künstlichen Intelligenz im Rahmen der „Krieg der Sterne“-Programme der 1980er Jahre. DARPA, die außerordentlich innovative Forschungsagentur des Verteidigungsministeriums, spielte in den USA eine Rolle, die sich nicht allzu sehr von der unterschied, die MITI bei der technologischen Entwicklung in Japan innehatte. Dazu gehörten die Konstruktion und die anfängliche Finanzierung des Internet.<sup>79</sup> Und sogar in den 1980er Jahren, als die Reagan-Administration einen Kurs des *ultra-laissez faire* verfolgte, reagierte sie doch auf den Druck der japanischen Konkurrenz mit der Finanzierung von SEMATECH durch das Verteidigungsministerium. Es handelte sich um ein Konsortium amerikanischer Elektronikfirmen zur Unterstützung kostspieliger F&E-Programme in der elektronischen Fertigung für Zwecke der nationalen Sicherheit. Und die Bundesregierung half auch bei den Anstrengungen großer Firmen zur Kooperation im Bereich der Mikroelektronik, indem sie das MCC ins Leben rief. SEMATECH ebenso wie MCC haben ihren Standort in Austin, Texas.<sup>80</sup> Auch während der entscheidenden 1950er und 1960er Jahre waren Militäraufträge und das Raumfahrtprogramm unverzichtbare Märkte für die Elektronikindustrie. Das galt sowohl für die gigantischen Militärauftragnehmer im südlichen Kalifornien wie für die innovativen Neugründungen im Silicon Valley und in Neuengland.<sup>81</sup> Sie hätten nicht überleben können ohne die großzügige Finanzierung und die abgeschirmten Märkte einer US-Regierung, die angestrengt bemüht war, die technologische Überlegenheit gegenüber der Sowjetunion wiederzuerlangen. Und diese Strategie machte sich am Ende bezahlt. Die Gentechnologie entwickelte sich aus den großen Forschungsuniversitäten, Krankenhäusern und Instituten der Gesundheitsforschung und wurde weitgehend mit Regierungsgeldern finanziert und gefördert.<sup>82</sup> Demnach war in Amerika wie überall auf der Welt der Staat der

---

78 Bar (1990).

79 Tirman (1984); Broad (1985); Stowsky (1992).

80 Borrus (1988); Gibson und Rogers (1994).

81 Roberts (1991).

82 Kenney (1986).

Initiator der informationstechnologischen Revolution und nicht der innovative Unternehmer in seiner Garage.<sup>83</sup>

Und dennoch hätte ohne diese innovativen Unternehmer, wie die, die am Anfang von Silicon Valley oder der PC-Klonierung in Taiwan standen, die Revolution in der Informationstechnologie einen anderen Charakter gehabt. Es ist vor allem unwahrscheinlich, dass sie sich in die Richtung jener dezentralisierten, flexiblen technologischen Anwendungen entwickelt hätte, die sich in alle Bereiche menschlicher Tätigkeit ausbreiten. De facto ist die technologische Innovation seit den frühen 1970er Jahren im Wesentlichen vom Markt angetrieben worden:<sup>84</sup> Innovative Leute stehen zwar vor allem in Japan und Europa noch immer im Dienst von Großkonzernen, aber sie sind in Amerika und zunehmend auch weltweit weiter dabei, ihre eigenen Unternehmen zu gründen. Das fördert das Tempo der technologischen Innovation und ihre schnellere Verbreitung, weil ingeniöse Persönlichkeiten mit Leidenschaft und Eifer ständig nach Marktnischen für Produkte und Prozesse suchen. *Die Blüte der neuen Informationstechnologien ist zustande gekommen gerade durch diesen Austausch zwischen Großforschungsprogrammen und großen, staatlich entwickelten Märkten einerseits und dezentralisierter Innovation andererseits, die durch eine Kultur technologischer Kreativität und das Wunschbild schnellen persönlichen Erfolges stimuliert wurde.* So bildeten sich die Konglomerate um Netzwerke von Firmen, Organisationen und Institutionen herum und brachten ein neues soziotechnisches Paradigma hervor.

---

## Das Paradigma der Informationstechnologie

Wie Christopher Freeman schreibt, ist ein technisch-ökonomisches Paradigma definiert als ein Komplex von miteinander verbundenen technischen, organisatorischen und Management-Innovationen, dessen Vorteile nicht allein in neuen Systemen und Produktlinien liegen, sondern darin, wie seine Kostenstruktur in einer bestimmten Dynamik auf verschiedene Produktionsfaktoren reagiert. In jedem neuen Paradigma gibt es einen bestimmten Faktor oder ein Faktorenbündel als „Schlüsselfaktor“, charakterisiert durch fallende Kosten und allgemeine Verfügbarkeit. So kann der augenblickliche Paradigmenwechsel verstanden werden als der Übergang von einer Technologie auf der Grundlage des Einsatzes billiger Energie zu

---

83 S. die Analysen, die in Castells (1988b) zusammengestellt sind.

84 Banegas (1993).



einer, die vorwiegend auf dem Einsatz kostengünstiger Informationen beruht und aus Fortschritten in der Mikroelektronik und Telekommunikation hergeleitet ist.<sup>85</sup>

Das Konzept des technologischen Paradigmas wurde von Carlota Perez, Christopher Freeman und Giovanni Dosi ausgehend von der klassischen Analyse wissenschaftlicher Revolutionen durch Kuhn erarbeitet. Es ist hilfreich, wenn man zum Kern der gegenwärtigen technologischen Transformation und zu ihren Beziehungen zu Wirtschaft und Gesellschaft vordringen will.<sup>86</sup> Anstatt nun die Definition in dem Sinne weiter zu entwickeln, dass sie auch gesellschaftliche Prozesse jenseits der Ökonomie einbezieht, halte ich es eher für nützlich, einen Leitfaden für unsere bevorstehende Reise entlang den Pfaden sozialer Transformation dadurch zu gewinnen, dass wir diejenigen Merkmale exakt festlegen, die das Herzstück des informationstechnologischen Paradigmas ausmachen. Zusammengefasst sind dies dann die materiellen Grundlagen der Netzwerkgesellschaft.

Das erste Merkmal des neuen Paradigmas besteht in der Tatsache, dass Information sein Rohstoff ist. Es geht um *Technologien, die Informationen bearbeiten*, und nicht um Informationen, mit denen Technologie bearbeitet wird wie bei den früheren technologischen Revolutionen.

Das zweite Merkmal besteht in der *universellen Wirkung der neuen Technologien*. Weil Information integraler Bestandteil jedweder menschlicher Tätigkeit ist, werden alle Prozesse unserer individuellen und kollektiven Existenz direkt durch das neue technische Medium geprägt, wenn auch sicherlich nicht determiniert.

Das dritte Merkmal leitet sich ab aus der *Netzwerklogik* eines jeden Systems und jedes Beziehungskomplexes, die diese neuen Informationstechnologien nutzen. Die Gestalt des Netzwerks scheint gut geeignet zu sein für die erhöhte Komplexität von Interaktion und für die nicht vorhersagbaren Entwicklungsmuster, die sich aus der kreativen Kraft dieser Interaktion ergeben.<sup>87</sup> Diese topologische Konfiguration – das

---

85 C. Freeman, „Vorwort zu Teil II,“ in Dosi u. a. (1988a: 10).

86 Kuhn (1962); Perez (1983); Dosi u. a. (1988a).

87 Kelly (1995: 25-27) entwickelt die Eigenschaften der Netzwerklogik in ein paar aufschlussreichen Absätzen: „Das Atom ist passé. Das Symbol der Wissenschaft für das nächste Jahrhundert ist das dynamische Netz. ... Während das Atom die reine Einfachheit repräsentiert, kanalisiert das Netz die ungeordnete Macht der Komplexität ... Die einzige Organisationsform, die zu Wachstum ohne vorgefassten Plan bzw. zum Lernen ohne Anleitung in der Lage ist, ist ein Netzwerk. Alle anderen Gestalten schränken ein, was passieren kann. Ein *Netzwerk-Muster* besteht aus lauter Übergängen und ist deshalb an jeder Stelle zugänglich, an der man ankommt. Das Netzwerk ist die am wenigsten strukturierte Organisation, von der sich sagen lässt, sie habe überhaupt eine Struktur ... In der Tat kann eine Mehrzahl wirklich divergierender Komponenten nur innerhalb eines Netzwerkes einen Zusammenhang bewahren. Kein anderes Arrangement – Kette, Pyramide, Baum, Zirkel, Knoten – kann wirkliche Vielfalt enthalten und zugleich als

Netzwerk – kann jetzt für alle möglichen Prozesse und Organisationsformen durch die neu verfügbaren Informationstechnologien materiell verwirklicht werden. Ohne sie wäre die Vernetzungslogik zu mühsam zu handhaben. Diese Netzwerklogik ist notwendig, um das Unstrukturierte zu strukturieren und zugleich Flexibilität zu bewahren, weil das Unstrukturierte die treibende Kraft der Innovation menschlichen Tuns ist. Wenn Netzwerke sich ausdehnen, wird ihr Wachstum wegen der größeren Anzahl von Verbindungen exponentiell und der Nutzen aus der Teilhabe am Netzwerk ebenfalls, während die Kosten nur linear ansteigen. Umgekehrt vergrößert sich mit dem Wachstum des Netzwerkes der Nachteil, nicht darin zu sein, weil die Chancen sich vermindern, andere Elemente außerhalb des Netzwerkes zu erreichen. Der Begründer der Technologie lokaler Netzwerke, Robert Metcalfe, gab 1973 mit einer einfachen mathematischen Formel an, wie der Wert eines Netzwerkes im Quadrat der Anzahl seiner Knoten zunimmt. Die Formel lautet  $V=n^{(n-1)}$ , wobei  $n$  die Anzahl der Knoten im Netzwerk ist.

Viertens basiert das Paradigma der Informationstechnologie auf *Flexibilität*. Das hat mit der Vernetzung zu tun, ist aber ein deutlich davon zu unterscheidendes Merkmal. Nicht nur sind Prozesse umkehrbar, sondern Organisationen und Institutionen können durch ein Rearrangement ihrer Komponenten modifiziert oder sogar grundlegend verändert werden. Was die Konfiguration des neuen technologischen Paradigmas auszeichnet, ist seine Fähigkeit zur Rekonfiguration, und das ist eine entscheidende Eigenschaft in einer Gesellschaft, die durch beständigen Wandel und organisatorische Mobilität gekennzeichnet ist. Es ist real möglich geworden, die Regeln auf den Kopf zu stellen, ohne die Organisation zu zerstören; denn die materielle Basis der Organisation kann umprogrammiert und anders ausgestattet werden.<sup>88</sup> Allerdings müssen wir uns mit einer Bewertung dieser technischen Eigenschaft zurückhalten. Denn Flexibilität kann eine befreiende Kraft sein, aber auch eine repressive Tendenz, wenn nämlich diejenigen, die die Regeln neu schreiben immer die alten Mächte sind. Wie Mulgan schrieb: „Netzwerke werden nicht eingerichtet, um einfach nur zu kommunizieren, sondern um eine Position zu erringen, von der aus andere von der Kommunikation ausgeschlossen werden können.“<sup>89</sup> Wesentlich ist also, die Bewertung neuer durch die Technologieentwicklung ermöglichter sozialer

---

Ganzes funktionieren.“ Physiker und Mathematiker werden sich vielleicht an einigen dieser Thesen stoßen, aber Kellys zentrale Botschaft ist von Interesse: Es geht um die Konvergenz zwischen der evolutionären Gestalt von lebendiger Materie, der offenen Natur einer zunehmend komplexer werdenden Gesellschaft und der interaktiven Logik der neuen Informationstechnologien.

88 Tuomi (1999).

89 Mulgan (1991: 21).

Formen und Prozesse auseinanderzuhalten von der Extrapolation der möglichen Konsequenzen einer solchen Entwicklung für die Gesellschaft und die Menschen. Nur spezifizierte Analysen und empirische Beobachtungen können bestimmen, welche Ergebnisse das Zusammenwirken zwischen den neuen Technologien und den neu entstehenden sozialen Formen bringt. Aber es ist ebenso wesentlich, die Logik herauszuarbeiten, die in dem neuen technologischen Paradigma wirkt.

Sodann besteht ein fünftes Merkmal dieser technologischen Revolution in der zunehmenden *Konvergenz spezifischer Technologien zu einem hochgradig integrierten System*. In ihm werden die alten, gegeneinander abgegrenzten technologischen Entwicklungsbahnen buchstäblich ununterscheidbar voneinander. So sind inzwischen Mikroelektronik, Telekommunikation, Opto-Elektronik und Computer sämtlich in Informationssysteme integriert. Es gibt immer noch einen gewissen kaufmännischen Unterschied etwa zwischen Chip-Herstellern und Software-Ingenieuren, und das wird auch noch für einige Zeit so bleiben. Aber auch diese Unterscheidung verschwimmt durch die zunehmende Integration von Firmen in strategische Allianzen und kooperative Projekte und natürlich auch wegen des Einbaus von Software-Programmen in die Chip-Hardware. Zudem ist innerhalb eines technischen Systems ein Element ohne das andere unvorstellbar: Computer werden weitgehend durch die Leistungsstärke der Chips determiniert, und die Konstruktion ebenso wie die parallele Funktion von Mikrocomputern ist abhängig von der Computer-Architektur. Die Telekommunikation ist heute nur eine Form der Informationsverarbeitung; Übertragungs- und Verknüpfungstechnologien werden zu gleicher Zeit zunehmend diversifiziert und in dasselbe, von Computern betriebene Netzwerk integriert.<sup>90</sup> Wie ich oben gezeigt habe *kehrt das Internet die Beziehung zwischen Kreislaufschaltung und Paketschaltung in den Kommunikationstechnologien um, so dass Datenübertragung zur vorherrschenden, universalen Form der Kommunikation wird. Und Datenübertragung beruht auf Software-Befehlen zum Kodieren und Dekodieren.*

Die technologische Konvergenz führt auch zu einer wachsenden, materiellen ebenso wie methodologischen Verflechtung zwischen der biologischen und der mikroelektronischen Revolution. So sind entscheidende Fortschritte in der biologischen Forschung wie die Identifikation menschlicher Gene oder von Segmenten der menschlichen DNA nur möglich aufgrund der gigantischen Rechenkapazität von Computern.<sup>91</sup> Nanotechnologie könnte es ermöglichen, winzige Mikroprozessoren in die Systeme lebender Organismen einschließlich der von Menschen

---

90 Williams (1991).

91 Bishop und Waldholz (1990); *Business Week* (1995c, 1999b).

einzuschleusen.<sup>92</sup> Umgekehrt experimentierte man bereits Ende der 1990er Jahre mit dem Einsatz von biologischem Material in der Mikroelektronik, wenn auch noch weit entfernt von einer allgemeinen Anwendung. 1995 veranlasste Leonard Adleman, Computerwissenschaftler an der University of Southern California, synthetische DNA-Moleküle mit Hilfe einer chemischen Reaktion dazu, auf der Grundlage der Kombinationslogik der DNA, als materielle Basis für Datenverarbeitung zu funktionieren.<sup>93</sup> Wenn die Erforschung der materiellen Integration von Biologie und Elektronik auch noch einen weiten Weg vor sich hat, so wird doch die Logik der Biologie – nämlich die Fähigkeit, aus sich selbst zuvor nicht programmierte, zusammenhängende Sequenzen hervorzubringen – zunehmend in elektronische Maschinen eingeführt.<sup>94</sup> 1999 versuchten es Harold Abelson und seine Kollegen am computerwissenschaftlichen Labor vom MIT, die *E. coli*-Bakterie zum elektronischen Schaltkreis umzufunktionieren, und zwar aufgrund seiner Fähigkeit, sich selbst zu reproduzieren. Sie experimentierten mit „amorpher EDV“, d. h., sie schleusten den Schaltkreis in das biologische Material ein. Weil biologische Zellen nur solange Daten verarbeiten können, wie sie am Leben sind, würde diese Technologie molekularer Elektronik, bei der Millionen und Milliarden dieser auf biologischer Grundlage beruhenden Schalter in winzig kleine Räume gezwängt werden, kombiniert mit der potenziellen Anwendung der Produktion „intelligenter Materialien“ (*smart materials*) aller Art.<sup>95</sup>

Bei Experimenten zur Interaktion Mensch-Computer wurden adaptive Gehirnschnittstellen verwendet, die gemäß einer Theorie künstlicher neuronaler Netzwerke Gehirnzustände aufgrund von Signalen erkennen, wie sie spontan beim Elektroenzephalogramm (EEG) entstehen. So konnten der Computerwissenschaftler Jose Millan und seine Kollegen am Gemeinsamen Forschungszentrum der EU im italienischen Ispra folgendes Experiment vorführen: Menschen, die einen kompakten EEG-Helm trugen, konnten durch die bewusste Kontrolle ihrer Gedanken kommunizieren.<sup>96</sup> Dies beruhte auf einem wechselseitigen Lernprozess, bei dem Benutzer und Gehirnschnittstelle miteinander verbunden sind und sich aneinander anpassen. Dabei lernt ein neuronales Netzwerk benutzerspezifische

---

92 Hall (1999b).

93 Allen (1995).

94 S. für eine Analyse von Tendenzen Kelly (1995); eine historische Perspektive zur Konvergenz von Verstand und Maschinen entwickelt Mazlish (1993); eine theoretische Reflexion bietet Levy (1994).

95 Markoff (1999b).

96 Millan u. a. (2000).

EEG-Muster, während die Subjekte auf eine Weise zu denken lernen, die von der persönlichen Schnittstelle besser verstanden werden kann.

Diese fortschreitende Konvergenz zwischen verschiedenen technologischen Bereichen innerhalb des Informationsparadigmas leitet sich her aus ihrer gemeinsamen Logik der Informationserzeugung. Diese Logik zeigt sich am offenkundigsten in der Funktionsweise der DNA und in der natürlichen Evolution. Sie wird in zunehmendem Maße in den fortgeschrittensten Informationssystemen nachgeahmt, während Chips, Rechner und Software neue Grenzen von Geschwindigkeit, Speicherkapazität und flexibler Verarbeitung von Informationen aus multiplen Quellen erreichen. Wenn auch die Nachbildung des menschlichen Gehirns mit seinen Milliarden von Schaltkreisen und seiner unübertrefflichen Kombinationskapazität strikt der Science Fiction zuzurechnen ist, werden doch Leistungsgrenzen der heutigen Computer Monat für Monat von neuem überschritten.<sup>97</sup>

Die Beobachtung solcher außergewöhnlicher Veränderungen unserer Technik und unseres Wissens vom Leben führt mit Hilfe dieser Technik und dieses Wissens zu einer noch tiefergehenden technologischen Transformation: zu den Kategorien, mit denen wir alle diese Prozesse *denken*. Der Technologie-Historiker Bruce Mazlish meint, dass es nötig sei

anzuerkennen, dass die menschliche biologische Evolution, die jetzt am besten kulturell zu verstehen ist, der Menschheit – uns – das Bewusstsein aufzwingt, dass Werkzeuge und Maschinen untrennbar sind von der in Evolution begriffenen menschlichen Natur. Damit müssen wir auch einsehen, dass die Entwicklung von Maschinen, die im Computer gipfelt, die Erkenntnis unausweichlich macht, dass dieselben Theorien, die nützlich sind, um die Funktionsweise mechanischer Vorrichtungen zu erklären auch nützlich sind, um das menschliche Tier zu verstehen – und umgekehrt, denn das Verständnis des menschlichen Gehirns vermittelt Einsichten über die Natur der künstlichen Intelligenz.<sup>98</sup>

Aus einer anderen Perspektive kam auf der Grundlage der in den 1980er Jahren modernen Diskurse über „Chaos-Theorie“ in den 1990er Jahren ein Netzwerk von Wissenschaftlern und Forschern auf einen gemeinsamen epistemologischen Ansatz, mit dem Schlüsselbegriff „Komplexität“. Dieser intellektuelle Zirkel trifft sich bei Tagungen am Santa Fe Institute in New Mexico. (Ursprünglich ein Klub von hochqualifizierten Physikern vom Los Alamos-Labor, an den sich bald ein exklusiver Kreis von Nobelpreisträgern und deren Freunden anschloss.) Die Gruppe will wissenschaftliches Denken unter Einschluss der Sozialwissenschaften unter

---

97 S. die ausgezeichnete projektive Analyse von Gelernter (1991).

98 Mazlish (1993: 233).

einem neuen Paradigma kommunizieren. Ihr zentrales Interesse richtet sich auf das Auftreten selbstorganisierender Strukturen, die über mehrere Stufen der Interaktion zwischen den zu Beginn des Prozesses vorhandenen Grundelementen Komplexität aus Einfachheit und höhere Ordnung aus Chaos schaffen.<sup>99</sup>

Zwar lehnt die mainstream-Wissenschaft dieses Projekt größtenteils ab, weil seine Thesen nicht verifizierbar seien, aber es ist ein Beispiel für die Anstrengungen, die in verschiedenen Zusammenhängen unternommen werden, eine gemeinsame Basis für die gegenseitige Befruchtung von Wissenschaft und Technologie im Informationszeitalter zu finden. Allerdings scheint dieser Ansatz sich jeglichem integrierenden, systemischen Bezugsrahmen zu versagen. Komplexitätsdenken sollte als Methode zum Verständnis von Verschiedenartigkeit betrachtet werden und nicht als eine einheitliche Meta-Theorie. *Der Erkenntniswert könnte in der Anerkennung der Selbstorganisation von Natur und Gesellschaft liegen.* Nicht dass es keine Regeln gäbe, aber die Regeln werden in einem unablässigen Prozess zielbewusster Handlungen und einzigartiger Interaktionen erschaffen und verändert. So schlug 1999 Duncan Watts, ein junger Forscher am Santa Fe Institute, eine formale Analyse der Vernetzungslogik vor, die der Bildung „kleiner Welten“ zugrunde liegt – also einem weit gestreuten System von Verknüpfungen, die in Natur und Gesellschaft zwischen Elementen bestehen, die selbst wenn sie nicht direkt miteinander kommunizieren, doch durch eine kurze Kette von Vermittlungsgliedern miteinander verbunden sind. Beispielsweise weist er mathematisch nach, dass, wenn wir ein System von Beziehungen auf einer Kurve darstellen, der Schlüssel zur Hervorbringung eines Kleinen-Welt-Phänomens – das die Netzwerklogik versinnbildlicht – das Vorhandensein eines kleinen Anteils von sehr weitreichenden, globalen Enden ist, die ansonsten voneinander entfernte Teile der Kurve zusammenziehen, während die meisten Enden lokal und in Klumpen organisiert bleiben.<sup>100</sup> Das gibt ganz genau die Logik der lokal/globalen Vernetzung von Innovation wieder, wie sie in diesem Kapitel dargelegt wurde.

Der wichtige Beitrag der Komplexitäts-Schule ist ihre Betonung der nicht-linearen Dynamik als des fruchtbarsten Ansatzes zum Verständnis des Verhaltens von lebenden Systemen in der Gesellschaft wie in der Natur. Die meisten Arbeiten der Forscher am Santa Fe Institute sind mathematischer Natur und keine empirisch

---

99 Die Verbreitung der Chaos-Theorie bei einem breiten Publikum geht weitgehend auf den Bestseller von Gleick (1987) zurück; s. auch Hall (1991). Eine übersichtliche, faszinierende Geschichte der „Komplexitäts“-Schule bietet Waldrop (1992). Ich stütze mich auch auf persönliche Unterhaltungen mit Forschern am Santa Fe Institute anlässlich meines Besuchs dort im November 1998. Ich bin vor allem Brian Arthur dankbar dafür, dass er mir seine Überlegungen mitgeteilt hat.

100 Watts (1999).

begründeten Analysen natürlicher oder sozialer Phänomene. Aber es gibt Forscher in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen, die nicht-lineare Dynamik als leitendes Prinzip benutzen und zunehmend wichtige wissenschaftliche Ergebnisse erzielen. Fritjof Capra, ein theoretischer Physiker und Ökologe an der Universität Berkeley hat viele dieser Ergebnisse in die Skizze einer zusammenhängenden Theorie lebender Systeme integriert, die er in einer Reihe von Büchern vorgelegt hat, vor allem in dem bemerkenswerten *Lebensnetz*.<sup>101</sup> Er baut auf dem Werk des Nobelpreisträgers Ilya Prigogine auf. Prigogines Theorie der dissipativen Strukturen demonstrierte die nicht-lineare Dynamik der Selbstorganisation chemischer Zyklen und ermöglichte ein neues Verständnis der spontanen Emergenz von Ordnung als Schlüsselcharakteristikum des Lebens. Capra zeigt, wie die avancierteste Forschung auf so unterschiedlichen Gebieten wie Zellentwicklung, globale ökologische Systeme (wie in der Gaia-Theorie und in Lovelocks Simulationsmodell „Daisyworld“), der Neuronenwissenschaft (wie in den Arbeiten von Gerald Edelman und Oliver Sacks) und Forschungen über die Ursprünge des Lebens auf der Grundlage einer sich abzeichnenden chemischen Netzwerktheorie alles Ausdrucksformen einer Perspektive nicht-linearer Dynamik sind.<sup>102</sup> Neue Schlüsselbegriffe wie Attraktoren, Phasenporträts, emergente Eigenschaften, Fraktale eröffnen neue Perspektiven, um das Verhalten lebender Systeme einschließlich sozialer Systeme zu verstehen – und so den Weg zu ebnen für eine neue theoretische Verbindung zwischen unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen. Dabei werden sie nicht auf einen gemeinsamen Satz von Regeln zurechtgestutzt, sondern man erklärt Prozesse und Ergebnisse aus den Eigenschaften, die spezifische lebende Systeme von selbst hervorbringen. Brian Arthur, ein Stanford-Ökonom am Santa Fe Institute, hat die Komplexitätstheorie auf die formale ökonomische Theorie angewendet und Begriffe wie selbstverstärkende Mechanismen, Pfadabhängigkeit und emergente Eigenschaften vorgeschlagen. Das zeigt ihre Bedeutung für das Verständnis der Eigenschaften der neuen Wirtschaftsform.<sup>103</sup>

Insgesamt entwickelt sich das informationstechnologische Paradigma nicht in Richtung seiner Schließung als System, sondern hin zu einer Offenheit als Netzwerk mit vielen Anbindungen. Es ist in seiner Ausprägung mächtig und eindrucksvoll, aber in seiner historischen Entwicklung anpassungsfähig und offen. Umfang, Komplexität und Vernetzungsfähigkeit sind seine entscheidenden Eigenschaften. Damit scheint die soziale Dimension der Revolution in der Informationstechnologie dem Gesetz von der Beziehung zwischen Technologie und Gesellschaft zu

---

101 Capra (1999a).

102 Capra (1999c).

103 Arthur (1998).

folgen, das vor einiger Zeit von Melvin Kranzberg formuliert wurde: „*Das erste Kranzbergsche Gesetz lautet wie folgt: Die Technologie ist weder gut noch schlecht, und sie ist auch nicht neutral.*“<sup>104</sup> Sie ist wahrlich eine Macht, und unter dem gegenwärtigen technologischen Paradigma vermutlich mehr denn je, die den Kern von Leben und Verstand durchdringt.<sup>105</sup> Aber ihre tatsächliche Entwicklung im Bereich bewussten sozialen Handelns und die komplexe Matrix der Interaktion zwischen den technologischen Mächten, die unsere Spezies entfesselt hat, und der Spezies selber sind Gegenstände der Forschung und nicht des Schicksals. Ich werde nun mit einer derartigen Untersuchung fortfahren.

---

104 Kranzberg (1985: 50).

105 Vgl. die informative und lockere Darstellung neuerer Entwicklungen am Scheideweg zwischen Wissenschaft und menschlichem Verstand von Baumgartner und Payr (1995). Eine kraftvollere, wenn auch kontroverse Interpretation bietet einer der Begründer der genetischen Revolution: Crick (1994).



Der Aufstieg der Netzwerkgesellschaft  
Das Informationszeitalter. Wirtschaft. Gesellschaft.  
Kultur. Band 1

Castells, M.

2017, LXI, 646 S. 43 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-658-11321-6