

---

KARLHEINZ LÜDTKE

## **Entstehung und Entwicklung wissenschaftlich-technischer Neuerungen in soziologischer Sicht.**

### *Einleitung: Zum Zusammenhang von Innovationsprozeß und Netz- werkbildung*

Sowohl Entwicklung als auch Anwendung von Innovationen spielen sich immer mehr in netzwerkförmigen Kooperationen ab (in strategischen Allianzen, Entwicklungsgemeinschaften, arbeitsteiligen Partnerschaften, Verbundprojekten), in die Akteure aus verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen – aus Betrieben, die mitunter verschiedenen Branchen angehören, aus Forschungsinstituten, aus staatlichen Behörden – einbezogen sind. Ob neue wissenschaftlich-technische Lösungen über erste Ansätze hinausgelangen und sich durchsetzen, hängt weitgehend davon ab, daß solche Kooperationsgefüge zustande kommen, Kooperationsgefüge, die Anlaß zu Fragen geben, wie sie sich denn koordinieren und organisieren lassen, wenn sie überkommene institutionelle und Branchenabgrenzungen überschneiden und wenn es in ihnen keine dominierenden Akteure gibt, wie sich Studien zu diesem Gegenstand entnehmen läßt.<sup>1</sup> Es ist überdies zu fragen, wie solche Netzwerke überhaupt entstehen, deren Existenz sich keiner Instanz verdankt, die sie erst in einem Gründungsakt ins Leben gerufen hätte.

Von Interesse sind in diesem Zusammenhang Ergebnisse, die aus Netzwerkanalysen von Prozessen gewonnen wurden, in denen sich neue Ideen, Techniken, Produkte, Gerüchte und Informationen ausbreiten: Die Diffusion von Innovationen ist ein interaktives Phänomen und realisiert sich in einem verhältnismäßig

1 Vgl. T.P.Hughes: The Seamless Web: Technology, Science, etcetera, etcetera. In: Social Studies of Science (London et al.). 16(1986). 281–292; C. Freeman: Introduction. In: G.Dosi et al.(Hg.), Technical Change and Economic Theory. London 1986; M.Dierkes/ U.Hoffmann : New Technology at the Outset. Social Forces in the Shaping of Technological Innovations. Frankfurt a.M. – New York 1992.

schwach geordneten Geflecht von Beziehungen außerhalb und zwischen verschiedenen Gruppen. Schwach strukturierte Beziehungen zeichnen sich dadurch aus, daß zum einen die Art der auszutauschenden Information nicht ex ante determiniert und zum anderen die Unsicherheit über den Informationsstand des Kommunikationspartners sehr hoch ist, was wechselseitige Suggestibilität und Lernoffenheit zu deren Reduktion stimuliert. Stark strukturierte Beziehungen, wie sie innerhalb festgefügtter Gruppen („dichter“ Netzwerke) bestehen, engen zum einen die Art der austauschbaren Informationen ein, vermindern zum anderen aber die Unsicherheit über den Informationsstand des Kommunikationspartners. Es bestehen also Mechanismen, die das Eindringen neuer Ideen gerade behindern. Die in ihnen bestehenden „starken“ Beziehungen, deren Struktur jeden Akteur mit allen anderen Akteuren verbindet, ermöglichen zwar eine rasche und wirksame Kommunikation, doch Abweichungen vom Tradierten werden ausreguliert. Neues verbreitet sich gerade in einer offenen Sozialstruktur, über Beziehungen, die Brücken zwischen verschiedenen Gruppen schlagen und Individuen mit verschiedenen Neigungen und Interessen zusammenbringen.<sup>2</sup> So ergibt sich, daß bei einem ausgereiften Strukturniveau des Beziehungsgeflechtes, auf dem sich die Interaktionen der beteiligten Personen bereits von einer Instanz nach Maßgabe festgeschriebener Normen und Regeln koordinieren und organisieren lassen und es möglich ist, das Handeln der Akteure strategisch auf Innovationen zu orientieren, der Erneuerungsprozeß schon bis zu einem gewissen Punkt gediehen sein muß, daß er bereits eine Phase durchlaufen haben muß, in der sich die Beziehungen zwischen den Akteuren erst herausgebildet und entfaltet hatten, so daß es dann nur noch um die Ausreifung einer schon zumindest als Prototyp bestehenden wissenschaftlich-technischen Neuerung gehen kann.<sup>3</sup>

- 2 Vgl. M.Schenk: Soziale Netzwerke und Kommunikation. Tübingen 1984. S.280, 295 f., 298 f.; B.Bievert/K.Monse/K.Reimers: Steuerungsprozesse der Technikentwicklung in schwach institutionalisierten Kontexten – Entwicklungs-, Anwendungs- und Nutzungsentscheidungen zum Einsatz der Informations- und Kommunikationstechniken an der ‚Kundenschnittstelle‘. In: H.Kubicek/P.Seeger (Hg.), Perspektive Techniksteuerung. Interdisziplinäre Sichtweisen eines Schlüsselproblems entwickelter Industriegesellschaften. Berlin: Edition Sigma, 193–210, S. 204f.
- 3 Daß, wie Weltz und Ortman angeben, ein verhältnismäßig hoher Anteil von Entwicklungsvorhaben aus einem Prozeß hervorgeht, den man im Amerikanischen „bootlegging“ nennt, ist deshalb gar nicht überraschend. Damit ist gemeint, daß Entwicklungsprojekte oftmals durch subversive Initiativen und informelle Aktivitäten eingeleitet würden, unter Umgehung betrieblicher Regelungen. Ihnen würde man in der Regel bei Eigenentwicklungen in Anwenderunternehmen begegnen. Bootlegging schafft Freiräume und entzieht Entwicklungsprozesse bürokratischen Verkrustungen und hierarchischen Restriktionen. F.Weltz/ R.G.Ortman: Das Softwareprojekt. Projektmanagement in der Praxis. Frankfurt a.M. – New York 1992. S.26.

Solche Fragestellungen wären allerdings überflüssig, wenn Soziales bzw. Organisatorisches nur einer Rahmenbedingung für einen ansonsten autonom ablaufenden Vorgang der Entwicklung wissenschaftlich-technischer Neuerungen gleichkäme. Bei strategischen Orientierungen und organisatorischen Anstrengungen würde man einfach technischen „Sachzwängen“ folgen. Die Eigenart besagter Netzwerke entzieht sich aber einem solchen Verständnis, wonach Soziales und Technisches von vornherein als voneinander unabhängige Phänomenbereiche zu sehen wären.<sup>4</sup> Auch die Vorstellung, daß Technologien auf vielfältige Art an soziale Strukturen rückgebunden seien, wird ihr nicht gerecht. Das Verständnis, daß Technologien von Anfang an einem von sozialen Strukturen getrennten Bereich angehörten, bleibt ja mit einer solchen Vorstellung erhalten.<sup>5</sup> Charakteristisch für Prozesse der Entwicklung grundlegender wissenschaftlich-technischer Neuerungen – hier ist nicht von Innovationen die Rede, die bestehende Techniken nur verbessern – ist ja gerade, daß sie soziale, institutionelle, strukturelle Veränderungen zum Ergebnis haben, unter deren Voraussetzung erst sinnvoll nach angemessenen Organisations-

4 Diesem Verständnis entgegengesetzt, wird hier der Auffassung gefolgt, daß in der Entwicklung wissenschaftlich-technischer Lösungen selbst bestimmt wird, wo die Trennlinie zwischen „Technischem“ und „Sozialem“ verläuft. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang ein Aufsatz von Law und Woolgar, in dem von einer ethnografischen Studie zur Entwicklung von Software-Systemen die Rede ist. Die Autoren beschreiben, „how the distinction between social and technical is maintained, under what circumstances it does and does not work, and for whom the distinction is made.“ J.Law/St.Woolgar: Managing the Social-Technical Divide: Some aspects of the discursive structure of information systems development. In: P.Quintas (Hg.), Social Dimensions of Systems Engineering, People, Processes, Policies and Software Development. New York et al. 1993. S.36. Dem Leser wird nahegebracht, daß die Präsentation des Technischen als Soziales oder die des Technischen als etwas vom Sozialen Getrennten davon abhängig ist, an welche Adressatengruppe die Darbietung gerichtet ist. Die „relevance of the social for the technical will depend crucially on the particular audience being addressed, and on the occasion of the address. More specifically, the claim that the technical involves the social implicates particular sets of social relationships between audience and speaker, it is tantamount to a claim about the social distance between different communities ... the social-technical divide is a means of defining, displaying and reaffirming the social relationships which make up that community. In other words, references to and uses of 'technical' provide a discursive structuring of the community ...“ (ebenda, 37 f.).

5 Weder dürfe „die technische Seite zugunsten der sozialen Seite ... , noch die soziale zugunsten der technischen“ vernachlässigt werden. „Nur beide gemeinsam können optimiert werden, d.h. die sozialen und technischen Teilbereiche müssen sinnvoll miteinander verknüpft sein. Daraus folgt, daß z.B. eine reine Optimierung der Computerstruktur nicht sinnvoll ist, solange die Konsequenzen auf die soziale Struktur nicht mitbedacht werden“, so M.Frese/ F. C.Brodbeck: Computer in Büro und Verwaltung. Psychologisches Wissen für die Praxis. Berlin et.al. 1989. S.13). Hier werden ganz deutlich Technisches und Soziales als voneinander getrennte Phänomenbereiche eingeführt, um dann Wechselwirkungen zwischen beiden „Teilbereichen“ nachzugehen.

formen und Managementstilen gefragt werden kann, Veränderungen, aus denen erst Anhaltspunkte für strategische Orientierungen hervorgehen.

Einen Weg, der vom Technikdeterminismus – „the single most influential theory of the relationship between technology and society“, so MacKenzie und Wajcman<sup>6</sup> – wegführt, auf dem man zu tieferen Einsichten in Prozesse der Entwicklung und Anwendung wissenschaftlich-technischer Neuerungen gelangt, läßt sich ausmachen, wenn man dem *sozialkonstruktivistischen Ansatz* der Technikforschung folgt, dessen Grundüberzeugungen Rammert so charakterisiert: Was als technisches Problem betrachtet und was als technische Lösung akzeptiert werde, sei von sozialen Definitions- und Aushandlungsprozessen abhängig. Außer dieser interpretativen Flexibilität gebe es auch eine konstruktive Variabilität: Es bestünden verschiedene technische Entwürfe nebeneinander. Welcher Entwurf sich später durchsetze, sei nicht anhand technologischer Parameter erklärbar. Vielmehr verwandelten erst die Auseinandersetzungen und Koalitionen zwischen den beteiligten Akteuren um Auswahl und Auslegung dieser Parameter eine Technik in eine gesellschaftlich erfolgreiche Technik. Erst wenn es gelinge, ausreichend Akteure aus Wissenschaft, Technik, Wirtschaft und Politik in ein Netzwerk für ein bestimmtes technisches Projekt einzubeziehen, könne die Debatte um die technischen Alternativen abgeschlossen werden. Und eine Technik bleibe nur solange stabil, wie sie nicht durch relevante Akteure erneut infrage gestellt werde.<sup>7</sup>

Wir interessieren uns im folgenden vor allem für die oben angedeuteten frühen Stadien in der Entwicklung von Innovationen, wobei das Hauptaugenmerk der Frage gilt, wie es zu Beziehungen zwischen grundlagenorientierter Wissenschaft und der Industrieforschung kommt, aus deren Entwicklung bzw. Strukturierung neue wissenschaftlich-technische Lösungen hervorgehen.

### *1. Zum Entwicklungszusammenhang zwischen wissenschaftlichem und technisch-technologischem Wissen*

In einem 1976 erschienenen Text vertreten Böhme et al. die Auffassung, daß ab Mitte des 19. Jahrhunderts die Brücken zwischen dem Erwerb technisch-technologischen und dem des wissenschaftlichen Wissens „strategisch geschlagen“ wür-

6 D. MacKenzie/ J. Wajcman : The Social Shaping of Technology. Milton Keynes 1985. S.4.

7 W. Rammert : Aus dem Editorial: „Konstruktion und Evolution von Technik“ (Tagungsberichte auf der Jahrestagung der Gesellschaft für Wissenschafts- und Technikforschung 1991). In: Jahrbuch „Technik und Gesellschaft“ (Frankfurt a.M.). 7(1994). S.15; vgl. auch H. Mackay/ G. Gillespie : Extending the Social Shaping of Technology Approach: Ideology and Appropriation. In: Social Studies of Science (London et al.). 22(1992). S.686.

den. „Diese Phase ... hat zunehmende Bedeutung gewonnen unter der Wissenschaftspolitik und Forschungsplanung ... Wissenschaften werden nach Zwecken gesteuert und Technologien nach Theorien geplant“.<sup>8</sup> Hier stellt sich das Problem, daß, wenn nach Theorien geplante Technologien die Zwecke zur Steuerung der Theorieentwicklung liefern, kein Anfangspunkt erkennbar ist, wo strategische Arbeit primär anzusetzen hätte: An der Förderung der Theorieentwicklung zur Einflußnahme auf Technologieentwicklung oder umgekehrt? Mit der Vorstellung einer Abfolgebeziehung von der Technik- zur Wissenschaftsentwicklung und einer solchen von der Wissenschafts- zur Technikentwicklung gerät man in einen unabgrenzbaren Regreß. Der Punkt, von dem man zur Erklärung von Neuerungsprozessen ausgeht, könne, so Weingart, unter dieser Voraussetzung nur willkürlich gewählt werden – eine Idee, ein Verfahren oder etwas anderes.<sup>9</sup> Folglich kann von einer Beziehung der Abfolge zwischen beiden Prozessen, die die Richtung der strategischen Anstrengungen festlegte, nicht ausgegangen werden.

Weiter unten wird gezeigt, daß die Entwicklung wissenschaftlichen und die technisch-technologischen Wissens – u.a. wegen differenter Strukturierung wissenschaftlicher und technisch-technologischer communities und je spezifischer Orientierungsstandards – zunächst getrennt voneinander verlaufen, um dann in Innovationsprozessen in einem mitunter konfliktreichen sozialen Prozeß „ineinanderzulaufen“. Was ermöglicht nun die Anknüpfung von Beziehungen zwischen den verschiedenen Akteursgruppen, wenn davon ausgegangen werden muß, daß die verschiedenen Gruppen je spezifischen Interessen nachgehen und mit je spezifischen Problemlagen (Wissenschaftler mit wissenschaftlichen, Vertreter der Industrie mit produktionstechnischen, -technologischen Problemen) konfrontiert sind? Um die Gräben zu überbrücken, sind auf beiden Seiten Pfeiler in bestimmter Lage zueinander nötig, will sagen: Die Gründe, die Akteure aus verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen zusammengeführt haben, müssen schon im Vorfeld der Netzwerkbildung entstanden sein. Der Netzwerkbildung muß ein Prozeß vorausgegangen sein, der dazu führte, daß „Zwecke“ für die Entwicklung einer Theorie und Theorien für die Entwicklung einer Technologie Relevanz gewonnen haben.

8 G.Böhme/W.van den Daele/W.Krohn : Die Verwissenschaftlichung von Technik, in: Wissenschaftsforschung. Science Studies (Bielefeld). (1976)7 . S.59 (Universität Bielefeld. Vorträge zur Tagung: Zum Verhältnis von Wissenschaft und Technik. Erkenntnisziele und Erzeugnisregeln akademischen und technischen Wissens).

9 Vgl. P.Weingart: Das Verhältnis von Wissenschaft und Technik im Wandel ihrer Institutionen. In: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie (Opladen). (1975)18 . S.393 f. (Sonderheft Wissenschaftssoziologie).

Wir wenden uns nun der Frage nach den Prozessen zu, die Gründe dafür hervorgebracht haben, daß sich die Akteure verschiedener Bereiche auch tatsächlich in Netzwerke einbeziehen lassen, nach Prozessen, die dazu führten, daß Vertreter der Wissenschaft (Grundlagenforschung) auf der einen und Vertreter von Technik und Technologie auf der anderen Seite schon im Vorfeld strategischer Leitlinien auf eine Zusammenarbeit miteinander angewiesen, also wechselseitig aufeinander orientiert, daß Akteure beider Seiten an Beziehungen zueinander interessiert sind, so daß auch anzunehmen ist, daß sie bereits von sich aus – ohne Vorgaben oder Leitlinien irgendeiner Instanz abzuwarten – informelle Beziehungen angebahnt haben, um für beide Seiten akzeptable wissenschaftlich-technische Lösungen „auszuhandeln“. Daß eine Kooperation von Vertretern beider Seiten erfolgreich sein kann, können ja zunächst nur die Akteure vermuten, bevor eine Strategien bildende und durchsetzende Instanz dies voraussehen kann.

Von „Aushandlungsprozessen“ zu reden, ist insofern recht treffend, als damit ausgedrückt wird, daß in einem Netzwerk typischerweise die Beziehungen zwischen den Akteursgruppen von keiner Seite dominiert werden. Keine Gruppe kann als Instanz auftreten, die funktionale Anforderungen zur Strukturierung der Entwicklungsrichtung geltend machen könnte. Nach Maßgabe des traditionellen linearen Modells, in dem wissenschaftliche Erkenntnis, Innovation und Verbreitung als nacheinander folgende Stufen betrachtet werden, so daß technisch-technologisches Wissen nichts weiter als angewandtes wissenschaftliches Wissen wäre<sup>10</sup>, müßte angenommen werden, daß von den Anwendern als dem letzten Glied in der Kette die Resultate der Wissenschaft einfach übernommen würden. Im Verständnis der Technik- und Technologieentwicklung als eines sozialen Prozesses – was ja die Konsequenz einschließt, daß der Wandel der Struktur der sozialen Beziehungen zwischen den Akteuren die Genese der jeweiligen innovativen wissenschaftlich-technischen Lösung ausmacht – sind jedoch die Bedürfnisse, die Erfahrungen der Anwender und Nutzer von Erfindungen konstitutiv für die Formung und Ausprägung der Innovation.<sup>11</sup> Sie passen sich nicht einfach wissenschaftlich-technischen Neuerungen an, sondern sie bestimmen mit, woran sie sich dann anpassen. Das heißt, daß die Innovationen mit den gegebenen Produktionsausrüstungen vereinbar sein müssen und Stabilität bzw. Kontinuität der Produktion nicht in Frage stellen dürfen. Daß die im Kontext der Anwendung wirksamen Faktoren auch in der Entwicklung der Technologie zur Wirkung

10 Vgl. W.E. Bijker: Sociohistorical Technology Studies. In: Sh. Jasanoff et al. (Hg.), *Handbook of Science and Technology Studies*. Thousand Oaks – London – New Delhi 1994. S. 240.

11 Vgl. H. Mackay/ G. Gillespie, a.a.O., S. 694 ff.; G.L. Downey/ J.C. Lucena: *Engineering Studies*. In: Sh. Jasanoff et al., a.a.O., S. 169 ff.

kommen, läßt es nicht zu, Innovations- und Diffusionsprozeß als separate Vorgänge zu verstehen.<sup>12</sup> Aber auch umgekehrt besteht keine Folgebeziehung: Wissenschaftler geben im Zusammenwirken mit potentiellen Anwendern ihre wissenschaftlichen Anliegen nicht auf, indem sie sich Anwenderbedürfnissen einfach unterordnen würden. Die Lösung der Probleme, die sich ihnen bei der Anwendung ihrer Entdeckungen und (experimentiertechnischen) Erfindungen stellen, sind für sie primär als Herausforderung für die Lösung wissenschaftlicher Grundlagenprobleme von Interesse. Wir wollen dies an einigen Beispielen verdeutlichen.

## 2. Fallbeispiele zu Innovationsprozessen

### *Zur Geschichte von Generator und Elektromotor*

Die Faradayschen experimentiertechnischen Neuerungen sollten allein dazu dienen, den Zusammenhang zwischen Magnetismus und Elektrizität aufzudecken.<sup>13</sup> Faraday hatte dabei gar nicht im Auge, daß seine Neuerungen als Vorlagen für die Konstruktion von Elektromotor und Generator dienen könnten. Er verwandte zum einen einen Rotationsapparat zur kontinuierlichen Stromerzeugung, zum anderen ein Gerät zum Nachweis der Rotation eines Stromleiters um einen Magneten.<sup>14</sup> Diese Techniken erhielten aber erst später die Bedeutung eines Vorfahren des Generators bzw. die eines Elektromotors.

Von besonderem Interesse ist im Rahmen unseres Themas der Umstand, daß die Faradayschen Erfindungen bereits zu einem Zeitpunkt von Praktikern, Ingenieuren und Technikern aufgegriffen wurden, als allgemein anerkannte Theorien zum Verständnis der ihrer Funktionsweise zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten noch gar nicht verfügbar waren. Die Entdeckung der elektromagnetischen Induktion begann bereits eine praktische Rolle zu spielen, als das theoretische Konzept,

12 ...through the process of building a configuration equal to coping with local exigencies certain local contingencies may literally be reified – i.e., translated into artefactual form, and crystallized as a distinct technological component from out of a fluid mixture of social, organizational and other technological and non-technological contingencies“. J.Fleck : Configurations: Crystallising Contingency. Edinburgh 1992. S.24 (Edinburgh PICT Working Paper No.40).

13 Vgl. E.Sittauer : James Watt, in: Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner. Bd. 53. Leipzig 1981. S.85. Faraday selbst verspürte, so Bernal, „wenig Neigung, sich der praktischen Anwendung seiner Entdeckung zu widmen. Das lag nicht etwa daran, daß er weltfremd gewesen wäre. Er wußte aus eigener Erfahrung genug über Wirtschaft und Staat, um die Zeit und die Mühe ermessen zu können, die es ihn gekostet hätte, irgendeine seiner Ideen so weit zu entwickeln, daß sie gewinnbringend angewandt werden konnte.“ J.D.Bernal: Die Wissenschaft in der Geschichte. Berlin 1961. S.436.

14 Vgl. M.Faraday: Experimentaluntersuchungen über Elektrizität, in: Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr.81 (Hg.: A. J. v. Oettingen). Leipzig 1920. S.40.

das Faraday mit den Ergebnissen seiner Versuche verknüpft hatte (seine „Kraftlinienidee“<sup>15</sup>), noch gar keine weitgehende Akzeptanz fand<sup>16</sup> und es noch eine konträre Auffassung zu diesem Verständnis der Erscheinung gab, die vor allem von Weber repräsentierte Theorie der „Fernwirkung“.<sup>17</sup> 1855 begann Maxwell Arbeiten, die den Faradayschen Vorstellungen eine mathematische Form geben sollten. Ihm gelang es, die elektrodynamischen Erscheinungen in wenigen Differentialgleichungen zu erfassen. Aber auch in dieser Form setzte sich das Konzept (die „Feldtheorie“) nicht sogleich durch. Maxwell konnte nur wenige Anhänger für dieses Modell gewinnen. Es bestand eine ernsthafte Gegnerschaft<sup>18</sup>, die auch von engen Freunden Maxwells geteilt wurde, beispielsweise von den Physikern Thomson (dem späteren Lord Kelvin) und Stokes.<sup>19</sup>

Die Faradayschen experimentiertechnischen Erfindungen wurden also von einzelnen an praktischen Belangen Interessierten zu einer Zeit als Vorlage für die Konstruktion einer neuen Technik verwendet, der magnetelektrischen Maschine, als die Elektrophysik noch gar nicht in der Lage war, die Richtung der weiteren Entwicklung der Maschine theoretisch zu orientieren.<sup>20</sup> Die Auseinandersetzung

- 15 Mit der Entdeckung der elektromagnetischen Induktion durch ein sich veränderndes Magnetfeld hatte Faraday die Idee verbunden, daß sich durch jedes magnetische Feld von Pol zu Pol sogenannte „Kraftlinien“ spannten. Die Kraft zwischen dem Südpol eines Magneten und dem Nordpol eines anderen wirke nicht wie eine Fernkraft durch den Raum hin, sondern sie wandere längs der Linien von einem Magneten zum nächsten Teilchen des Zwischenmediums, von da zum darauffolgenden, schließlich vom letzten Zwischenteilchen bis zum anderen Magneten. Die Anziehungs- oder Abstoßungskraft längs dieser Linien bewirke, daß das Zwischenmedium unter magnetischem Druck oder Zug (eben unter einer Spannkraft) stehe.
- 16 Diese „Faradays Zeitgenossen höchst unsympathische ... Kraftlinienidee“, so Helmholtz, blieb bis etwa 1850 nahezu unbeachtet. H.v.Helmholtz: Vorträge und Reden. Bd II. Braunschweig 1903 (zit nach: W.Schütz: Michael Faraday. In: Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner. Bd.5 (Hg.: D.Goetz et al.). Leipzig 1982. S.53). Sie sei, wie Kusnezov feststellt, „durchaus keine eindeutige und positive physikalische Konzeption“, kein „konkretes physikalisches Schema der Magnetkräfte...“ gewesen. B. G. Kusnezov: Einstein. Leben – Tod – Unsterblichkeit (in deutscher Sprache herausgegeben von E.Fuchs). Berlin 1979. S.342.
- 17 Der „Kraftlinientheorie“ stand seinerzeit die Theorie der „Fernwirkung“ gegenüber. Diesem Konzept zufolge sollten die elektrischen Erscheinungen durch unmittelbare und augenblickliche, eines Zwischenmediums nicht bedürftige Wirkung über die Entfernung erklärt werden können. Einer der wichtigen Vertreter dieser Auffassung war W.Weber. Ihm war die Entdeckung gelungen, daß sich die Elektrizität mit derselben Geschwindigkeit längs eines Drahtes fortpflanzt wie das Licht durch den „Äther“.
- 18 Vgl. E.Larsen: Cavendish Laboratory. London 1962. S.141 (Hinweis aus: V. P.Karcev: Die Eröffnung des Cavendish-Laboratoriums und die ersten Jahre der physikalischen Cavendish-Schule. In: S. R.Mikulinskij et al. (Hg.), Wissenschaftliche Schulen, Bd.2. Berlin 1979. S.25).
- 19 Hinweis aus: V. P.Karcev, a.a.O., S. 21.
- 20 Clausius zufolge war die magnetelektrische Maschine wie einst die Dampfmaschine der theore-

gen, die in dieser Disziplin zwischen den Proponenten der Faraday-Maxwellschen (Feld- bzw. Nahwirkungs-) und der Fernwirkungstheorie geführt wurden, dauerten bis in die 80er Jahre des 19. Jahrhunderts an. Daß sich letztlich die erstgenannte Theorie durchsetzte, läßt sich nicht so verstehen, daß sie von vornherein und in ihrer originären Form richtig und die konkurrierende Theorie falsch gewesen wäre. Wie Karcev darlegt, wurde seinerzeit keine einzige Tatsache ermittelt, die allein die Feldtheorie bestätigt und sich nicht in den Rahmen der mit ihr konkurrierenden Theorie eingepaßt hätte.<sup>21</sup> In beiden Konzeptionen gab es aber auch eine Reihe von Ausdrücken zu allein behaupteten, noch nicht beobachteten Phänomenen, in der Maxwellschen Theorie beispielsweise den „Strahlungsdruck“, die „elektromagnetischen Wellen“ usw. Um in der Auseinandersetzung erfolgreich zu sein, konnte es deshalb zunächst nur um die empirische Belegung hypothetisch angenommener Erscheinungen gehen. Maxwell beispielsweise beauftragte damit einige seiner Schüler (W. N. Shaw, G. Chrystal u. a.), wobei die in Angriff genommenen Arbeiten nicht mehr allein wissenschaftsintern aufgekommene, sondern auch technische Probleme betrafen.<sup>22</sup>

Arbeiten zur Geschichte der Elektrotechnik vermitteln die Einsicht, daß sich die Faradayschen experimentiertechnischen Erfindungen deshalb als Modell zur Entwicklung neuer Techniken eigneten, weil es gelang, sie mit einer ganzen Anzahl praxisdienlicher technischer Lösungen zu verbinden, die aus weitgehend voneinander unabhängigen, teilweise parallel verlaufenden Entwicklungen hervorgegangen waren.<sup>23</sup> Erst dadurch ließen sich die Faradayschen Erfindungen praxiswirksam machen, beispielsweise für die Galvanisierung, für die elektrolytische Abschei-

tischen Behandlung vorausgeeilt. R. Clausius: Zur Theorie der dynamoelektrischen Maschinen. In: Annalen der Physik und Chemie (Göttingen). Neue Folge (1983) 20. S. 353. Die Dampfmaschine war bereits vor der Entwicklung der Wärmetheorie praxiswirksam geworden.

21 V. P. Karcev, a. a. O., S. 21; vgl. auch J. D. Bernal, a. a. O., S. 436.

22 Beispielsweise Arbeiten zur Festlegung des Eichmaßes für den elektrischen Widerstand, wonach die Industrie verlangte; andere Arbeiten betrafen Schiffsmodelle, meteorologische Fragestellungen u. a. m. (vgl. V. P. Karcev, a. a. O., S. 25 ff.).

23 Vgl. R. Sroczyński: Zur psychologischen Abneigung gegenüber neuen wissenschaftlichen Theorien – dargestellt am Beispiel Magnetismus und Elektrizität. In: Philosophische und historische Fragen der technischen Wissenschaften. Vorträge im Rahmen der Festwoche zur 150-Jahr-Feier der TU Dresden. Bd. IV. Dresden 1978; G. S. Gudoznik: Wissenschaftlich-technischer Fortschritt. Wesen, grundlegende Tendenzen. Berlin 1974. S. 84 f.; W. Schreier: Zur Vorgeschichte und Herausbildung der wissenschaftlichen Elektrotechnik. In: Rostocker Wissenschaftshistorische Manuskripte (Rostock). (1978) 2; H. Kant: Zu einigen Aktivitäten von Physikern im Berliner Elektrotechnischen Verein 1880 und 1890. In: Kolloquien. Schriftenreihe des Instituts für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft der Akademie der Wissenschaften der DDR (Berlin). (1981) 22. S. 59–64 (Manuskriptdruck).

dung von Metallen und schließlich für den Antrieb von Werkzeugmaschinen. Dabei können für das Interesse von Konstrukteuren, Technikern oder Ingenieuren an der Entwicklung von Prototypen der neuen Technik ökonomische Kriterien nicht sogleich von ausschlaggebender Bedeutung gewesen sein: Der durch Anwendung der elektromagnetischen Induktion produzierte Strom hatte zunächst eine geringere praktische Bedeutung als die des Batteriestroms. Erst die von Pixii, einem Konstrukteur für physikalische Geräte, gebaute kleine elektromagnetische Maschine ließ auf eine Umkehrung dieses Leistungsverhältnisses hoffen. Er fand eine Lösung, um die ständige Stromrichtungsänderung zu beseitigen, worauf es praktisch ankam: Bogenlampen brennen am hellsten bei Gleichstrom. Für Kraftzwecke kam ebenfalls nur ein Gleichstrommotor in Frage.<sup>24</sup>

In den gerätetechnischen Erfindungen Faradays war also nicht schon ein neues Effektivitätspotential vorgeprägt, das man nun zielstrebig durch weitere Vervollkommnung dieser Erfindungen aktualisiert hätte. So wie sie beschaffen waren, waren sie hinreichend geeignet, wissenschaftliche Erkenntnisansprüche zu untermauern. Dazu war es nicht erforderlich gewesen, sich noch weitere technische Lösungen (zum Beispiel Ringankerkonstruktion und magnetische Magazine) auszudenken, von denen aber eine wirtschaftliche Anwendung der Innovation abhängig war. Ein neues Effektivitätspotential entstand erst in dem Umfange, wie es gelang, solche Konstruktionen wie den Ringanker, den Elektromagneten u.a.m. mit den Faradayschen Erfindungen zu verknüpfen.<sup>25</sup> Daß das geschah, war aber nicht in den experimentiertechnischen Neuerungen selbst begründet. Daß sie später eine die Produktionsbedingungen revolutionierende Rolle spielten, war nicht ursächlich mit der originären Bedeutung dieser verknüpft. Ausschlaggebend

24 Erst ab 1887, als die Dreiphasenstrom-Schaltung erfunden worden war, ließ sich auch der Wechselstrom für motorische Aufgaben verwerten.

25 Die ersten Versuche, den durch den Dauermagneten erzeugten Fluß auszubeuten, waren dadurch in ihrem Erfolg eingeschränkt, daß Kohlestahl mit niedrigen magnetischen Werten verwandt wurde. So blieb die Motorleistung verhältnismäßig gering. Erst als Stöhrer 1844 die magnetischen Magazine entwickelte (Gruppen von drei, vier Magneten und vergrößerte Spulenzahl), ließ sich der Generator zur Stromerzeugung für Bogenlampen verwenden. Allerdings konnte mit dieser Lösung noch kein wirtschaftlich verwendbarer Elektromotor konstruiert werden, der mit der Dampfmaschine hätte erfolgreich konkurrieren können. Die Lage veränderte sich, als anstelle von Dauermagneten Elektromagnete verwandt wurden. Grundlagen dafür waren von Sturgeon und Brewster geschaffen und 1831 von Moll und Henry unabhängig voneinander weiter vorangetrieben worden. Wichtig waren auch die Ringankerkonstruktion (wodurch das Prinzip der Pendelbewegung des Leiters im Magnetfeld durch das Rotationsprinzip abgelöst werden konnte), die Transformatoren zur Erzeugung von Wechsel- oder Drehstrom (Gleichstrom wird durch den Widerstand der Leitungswege sehr geschwächt) sowie Generatoren mit Selbsterregung, so daß Elektromagneten nicht mehr von einer gesonderten Stromquelle abhängig waren.

waren dafür vielmehr Entwicklungen in der Produktion, Entwicklungen, die Bedürfnisse nach Erneuerungen von Produktionsbedingungen erzeugten, vor allem das Bedürfnis nach einem Mittel zur effektiveren Übertragung von Kraft auf Arbeitsmaschinen, als dies mittels Dampfmaschine und Transmissionsmechanismus möglich war. Dieses System war mit der weiteren Vervollkommnung der Fließproduktion und dem daraus erwachsenen Erfordernis, auch die Hilfsoperationen zu mechanisieren (zum Beispiel Werkzeugeinstellung), zu einem Hemmnis geworden.

Der Bedarf nach effektiveren Antriebssystemen war nicht im Wissen um die Möglichkeit der Entwicklung produktiv verwendbarer Elektromotoren entstanden, zumal außer den Faradayschen Erfindungen ja noch andere Möglichkeiten denkbar waren (Dampfturbinen und Verbrennungsmotoren). Er war allein in Veränderungen des Produktionsprozesses begründet, die zur gegebenen Form des Maschinensystems in Widerspruch gerieten. Daß sich auch mit Hilfe der besten Dampfmaschine nicht mehr als ein Zehntel der in der Kohle enthaltenen Wärmemenge verwerten ließ, wurde fühlbar, als mit der Ausführung weiterer Operationen bzw. der Zergliederung der Operationen im Produktionsprozeß die Anforderungen an das Antriebssystem stiegen. Akut wurde dieses Problem in kleineren Betrieben. Die Dampfmaschine benötigte nämlich um so mehr Brennstoff pro PS-Stunde, je kleiner sie war. So konnten die großen Dampfmaschinen der Großindustrie billiger arbeiten als ihre kleinen Schwestern in den kleineren Unternehmen. Von daher entstanden Bedürfnisse nach kleineren stationären Energiequellen.

Wie das Beispiel zeigt, wurde der Innovationsprozeß nicht durch systematische Anwendung wissenschaftlicher Theorien eingeleitet. Die Herstellung der Prototypen war noch weitgehend vom Erfahrungsschatz der Ingenieure und Techniker bestimmt. Ebenso war für die Elektrophysik die Entwicklung der Elektrotechnik nicht sogleich von großem Interesse gewesen. Erst in den 70er Jahren des verflorenen Jahrhunderts kam es dazu, daß sich Elektrophysiker mit elektrotechnischen und Elektrotechniker mit elektrophysikalischen Fragestellungen befaßten: So betrieb der Physiker Frölich, der bei Siemens und Halske angestellt war, zur Ausarbeitung einer „Theorie der Dynamomaschinen“ Untersuchungen auf der Grundlage der Fernwirkungselektrodynamik und der magnetischen Potentialtheorie. Diese Untersuchungen wurden dann von Clausius erweitert. Es stellte sich aber heraus, daß auf dieser Basis keine Vorausberechnungen möglich waren. Die Lage veränderte sich, als sich Physiker und Techniker fanden, die sich an den Maxwell'schen Annahmen orientierten (Rowland und Bosanquet, Siemens und Kapp). Die von ihnen entwickelten Ansätze waren aber noch unzureichend. Hopkinson, einem Physiker, gelang schließlich der Durchbruch, weil er die Feldtheorie „nicht

formal auf elektrotechnische Probleme anwandte, sondern dafür zielgerichtet aufbereitete“.<sup>26</sup>

Die Physiker wandten sich dieser Aufgabe zu einer Zeit zu, als in der Industrie mit der Konstruktion und dem Bau immer größerer Maschinen ein Punkt erreicht war, von dem aus die Anwendung der Physik unumgänglich wurde. Man war nur in der Lage, die Betriebsfähigkeit einzelner Maschinen zu erklären. Der Bau magnetelektrischer Maschinen war noch weitgehend empirisch (wie oben dargelegt, der Theorieentwicklung vorausseilend) begründet. Schrittmacher in der Entwicklung der Elektrotechnik waren vor allem Mechaniker, Techniker und Maschinenbauer und nur vereinzelt Physiker gewesen. So läßt sich denken, daß mit dem Bau größerer Maschinen die Verwurzelung der Maschinenkonstruktion im empirischen Können von Vertretern genannter Professionen eine Fessel für die weitere Entwicklung der Innovation und für deren Verbreitung wurde, wodurch ja auch erst Widerstände gegen den Einsatz des Elektromotors seitens der Industrie überwunden werden konnten.<sup>27</sup> Es bedurfte allgemeiner Konstruktionsregeln, um die Abhängigkeit der Konstruktion vom individuellen Geschick und dem stillschweigenden Wissen der Konstrukteure und Maschinenbauer zu verringern, die einer Normierung des Anwendungskontextes im Wege war. Unter dem Druck dieser Situation müssen solche Techniker und Ingenieure begünstigt worden sein, die im Unterschied zu anderen an Grundlagenkenntnissen der Physik interessiert waren und es vermochten, aufkommende technisch-technologische Probleme (wie beispielsweise das Problem der magnetischen Durchflutung in Generator und Elektromotor, das sich im überkommenen Rahmen nicht bewältigen ließ) in Fragestellungen der Elektrophysik abzubilden. Weil nun aber der Elektrophysik nicht umstandslos eine Lösung technisch-technologischer Probleme entnommen werden konnte, war es ganz zwingend, daß eine Lösung nur in direktem Kontakt zu Vertretern der Elektrophysik gesucht werden konnte.

- 26 W.Schreier: Magnetischer Kreis und Dynamokonstruktion – ein Initialproblem zwischen Elektrophysik und Elektrotechnik. In: Kolloquien. Schriftenreihe des Instituts für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft der Akademie der Wissenschaften der DDR (Berlin). (1981)22 . S.56 (Manuskriptdruck).
- 27 „Hemmend auf den Einsatz des Elektromotors wirkte sich ... aus, daß die Eigentümer von Maschinenfabriken ... trotz der bestehenden Widersprüche im Fabrikssystem eine abwartende Haltung einnahmen, weil die beginnende Elektrifizierung den totalen historisch-moralischen Verschleiß ihrer Anlagen bedeutete und erhebliche Kapitalinvestitionen notwendig waren, um die neuen Formen der elektrifizierten Fertigung einzuführen. Aus diesen Gründen behauptete sich der Transmissionsmechanismus mit Elektroantrieb noch bis in die 20er Jahre des 20. Jahrhunderts hinein.“ E.Mottek/W.Becker/A.Schröter: Wirtschaftsgeschichte Deutschlands. Ein Grundriß. Bd.3. Berlin 1974. S.34.

Was die Physiker anbetrifft, so bot sich ihnen mit der dynamo-elektrischen Maschine ein Bereich an, worin die theoretischen Gegensätze weiter ausgetragen und die Positionen getestet werden konnten. Für die Funktionsweise und die Komplikationen jener Maschinen konnte ja keines der Konzepte, eben weil sie sich unabhängig von der Frühgeschichte dieser Maschine entwickelt hatten, bereits gültige Erklärungen parat haben. Das heißt, ohne einen praktischen Umgang mit ihnen konnte dieser Herausforderung nicht entsprochen werden. Wenn es sich nun aber bei der Technik um eine solche handelt, deren Betriebsfähigkeit und praktische Beherrschung noch gar nicht vom Können derer abtrennbar ist, die sie entwickelt haben und die sie an den Bestimmungsorten montieren, dann sind die Wissenschaftler auf unmittelbare Interaktion mit ihnen angewiesen.

Es liegt in der Logik bisheriger Darlegung, daß die Wissenschaftler vorzugsweise an solchen Partnern interessiert sind, die sich auch für ihre Disziplin interessieren. Daß sich solche Partner finden lassen, steht in einem Zusammenhang damit, daß der Innovationsprozeß bereits bis zu einem Punkt gediehen ist, von dem ab die weitere Entwicklung und Verbreitung der Neuerung – hier geht es um den Übergang von Prototypen zu Standardlösungen – die Anwendung von Theorien erheischt. Dieser Prozeß erzeugt Problemstellungen, die Techniker und Ingenieure veranlassen können, Kontakte zu Wissenschaftlern zu suchen. Mit höherem Anspruch an die Genauigkeit der Abmessungen der Teile und die Betriebssicherheit der Technik genügt auch die Empirie nicht mehr für die Herstellung. Sie läßt keine Massenfertigung dieser Techniken mit genau reproduzierbaren Eigenschaften zu. Die Techniken können in ihren Abmessungen nicht so exakt dimensioniert werden, wie es den besonderen Bedingungen verschiedener möglicher Bestimmungsorte gemäß wäre. Solange dies der Fall ist, kann sich das Neue noch nicht vollends durchsetzen. Eine systematische Anwendung von Theorien, die darauf orientieren, durch Variation bestimmter Einflußgrößen und Stabilisierung anderer optimale Lösungen zu selektieren<sup>28</sup>, wird unumgänglich, weil der Erfolg auf Seiten der Erstanwender nur unter den vor Ort gegebenen besonderen Bedingungen gelingen und deshalb die Neuerung nicht auf andere Betriebe ohne weiteres übertragbar ist. Wenn der Herstellungsvorgang noch nicht als Schema fixiert ist und sich der Anwendungskontext noch nicht normieren läßt, dann ist die Einführung der Neuerung langwierig und waghalsig. Durch immer weiteren Gewinn empirischer Erfahrungen mit Prototypen neuer Techniken ist kaum ein Wissensniveau erreichbar, auf dem alle bei der Anwendung der Innovation aufkommenden Probleme

28 Vgl. G.Böhme/W.van den Daele/W.Krohn: The ‚Scientification‘ of Technology. In: W.Krohn/E. T. Leyton jr./ P.Weingart (Hg.), *The Dynamics of Science and Technology*. Dordrecht – Boston 1978. S.240 f.

prinzipiell lösbar wären. Zu deren Lösung müssen das theoretische Optimum bestimmt und die Faktoren erklärt werden, die ihm entgegenstehen.

Das geschilderte Beispiel macht deutlich, daß das wechselseitige Interesse von Physikern und Technikern an Beziehungen zueinander keinesfalls bedeutete, daß eine der Seiten fachgebietsbestimmte Ziele aufgeben bzw. daß man sich zuvor erst auf ein einheitliches Ziel verständigen mußte. So nahm das physikalische Universitätsinstitut in Berlin seinerzeit viele Anregungen aus der elektrotechnischen Praxis auf, verfuhr dabei aber grundlagenorientiert. Helmholtz' Interesse an Elektrotechnik beispielsweise blieb auf sein Anliegen bezogen, grundsätzliche theoretische und methodische Fragen der Physik zu lösen.<sup>29</sup> Hingegen befragten hervorragende Techniker wie Siemens, der Begründer eines der größten Elektrounternehmen, die Naturwissenschaften vornehmlich zum Zwecke der Lösung technischer Probleme. Er sah seinen unternehmerischen Erfolg in der Nutzung von Möglichkeiten verwurzelt, technische mit wissenschaftlichen Fragestellungen zu verknüpfen. Seine wissenschaftlichen Aufgaben hätten sich, wie er darlegt, aus seiner Berufstätigkeit ergeben, „indem die Ausfüllung wissenschaftlicher Lücken, auf die ich stieß, sich als technisches Bedürfnis erwies.“<sup>30</sup>

Der am Fallbeispiel erörterte Prozeß wurde, wie sich gezeigt hat, nicht erst durch eine übergreifende Zielstellung ermöglicht, der alle potentiellen Akteure verpflichtet gewesen wären, so daß man ein Netzwerk von Beziehungen zwischen ihnen planmäßig hätte organisieren können.<sup>31</sup> Initiativen für eine Institutionalisierung der Zusammenarbeit kamen erst im späten 19. Jahrhundert auf.<sup>32</sup> Diesem Institu-

29 Vgl. F.Herneck: Abenteuer der Erkenntnis. Fünf Naturforscher aus drei Epochen. Berlin 1973. S.107.

30 W.v.Siemens: Antrittsrede in der physikalisch-mathematischen Klasse der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, in: Wissenschaftliche und technische Arbeiten. Bd.1. Berlin 1889. S.219.

31 Bei der Einführung von Innovationen lassen sich nicht Entscheidungen fällen, in denen alle Zieldivergenzen von vornherein aufgehoben und in denen die verschiedenen Anliegen zu einem einheitlichen Ziel simultan zusammengeführt werden könnten. Vgl. E.Witte: Realtheorie der wirtschaftlichen Entscheidungen. In: Ch. Schneider (Hg.), Forschung in der Bundesrepublik Deutschland. Beispiele, Kritik, Vorschläge. Weinheim 1983. S.236 ff.

32 1879 wurde der Elektrotechnische Verein gegründet, dem nicht nur Techniker, sondern auch Physiker angehörten. Sehr viele Vereinsmitglieder waren zugleich Mitglieder der Physikalischen Gesellschaft. 1883 wurde an der Technischen Hochschule Charlottenburg ein Lehrstuhl für Elektrotechnik eingerichtet. 1884 wurde bei Siemens und Halske ein Industrielabor eingerichtet. Und in diesem Zeitraum erschien erstmalig eine elektrotechnische Zeitschrift. Vgl. H.Kant, a.a.O.; H.Kant/D.Hoffmann: Die Physik in Berlin von der Universitätsgründung bis zur Jahrhundertwende – Insitutionalisierung, Hauptarbeitsgebiete, Wechselwirkungen mit der Industrie. In: Kolloquien. Schriftenreihe des Instituts für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft der Akademie der Wissenschaften der DDR (Berlin). (1981)24 (Manuskript-

tionalisierungsprozeß war die Entwicklung eines Netzwerkes von zunächst informellen, irregulären Beziehungen vorausgegangen, und man kann sich denken, daß Bedürfnisse nach Institutionalisierung daraus hervorgegangen waren, daß mit Vergrößerung des Netzwerkes eine geordnete Regulation der Zusammenarbeit erforderlich wurde, Konsistenzzwänge und ein Druck auf Dokumentation der Tätigkeiten aufkamen, Gründe, die eine Institutionalisierung nahelegten.

Böhme et al. meinen, daß es eine Besonderheit des 19. Jahrhunderts sei, daß die Beziehungen zwischen Wissenschaftsentwicklung und Wandlungen in der Produktion noch unsystematisch gewesen seien und abhängig von „kontingenten Faktoren ... , wie persönliche Verbindungen zwischen Wissenschaftlern und technischen Praktikern, von technisch-ökonomischen Interessen einzelner Wissenschaftler, von der zufälligen wissenschaftlichen Ausbildung von Technikern.“ Das Unsystematische gelte sowohl für die „Übersetzung wissenschaftlicher Angebote in neue Technologien wie auch für die Nachfrage nach wissenschaftlicher Lösung bestehender technischer Probleme.“<sup>33</sup> Dagegen läßt sich einwenden, daß mit der Annahme einer von vornherein gegebenen systematischen Beziehung zwischen Wissenschaftsentwicklung und Wandlungen in der Produktionstechnik, wodurch sich Prozesse im 20. Jahrhundert auszeichnen sollen, ein Ableitungszusammenhang zwischen beiden Seiten unterstellt werden müßte. Unseren Einwand wollen wir im folgenden mit der Präsentation von Beispielen aus der jüngeren Geschichte untermauern.

### *Ein Blick auf die Geschichte des Halbleiters*

Der Halbleiter wurde bereits zu einer Zeit angewandt, als ein ausgearbeitetes Verständnis der Vorgänge in festen Körpern noch gar nicht vorlag. Eine bis in die atomare Dimension reichende Beherrschung fester Körper wurde erst mit der weiteren Entwicklung der Halbleitertechnik (zum Beispiel für die Verwendung von Halbleiter-Schaltkreisen) erforderlich.<sup>34</sup> Die Halbleiterfertigung wurde anfangs von Ingenieurkunst und empirischen Erfahrungen bestimmt. Noch Ende der 50er Jahre beschrieb Möglich die Halbleiterkonstruktion wie folgt: „Zuweilen erinnern die in der Halbleitertechnik angewandten Methoden an Vorgänge in Alchimistenküchen ... Im Gegensatz zu der noch bestehenden Unsicherheit im theoretisch-wissenschaftlichen Urteil steht die erstaunliche technologische Leistung auf dem Gebiet der Halbleiter ... Während es technisch möglich ist, geradezu an Wunder grenzende Ergebnisse auf dem Gebiet der Halbleiter hervorzubringen, müssen wir

druck).

33 G.Böhme et al.: Die Verwissenschaftlichung von Technik, a.a.O., S.59.

34 Vgl. H.-J. Queisser: Festkörperforschung. In: Chr.Schneider (Hg.), a.a.O., S.577.

häufig mit den Achseln zucken, wenn wir uns wissenschaftlich Rechenschaft geben wollen über die dem fraglichen Phänomen zugrunde liegenden physikalischen Vorgänge.“<sup>35</sup> Der „Transfer des Transistors aus den Labors in die Fabriken“ löste aber einen machtvollen „Impuls für die Halbleiterphysik ...“ aus, so der Physiker Vul auf einer wissenschaftlichen Tagung in Jahre 1968.<sup>36</sup>

Die originären Anliegen der Ingenieure und Techniker orientierten gar nicht auf eine Revolutionierung der Technik, es ging letztlich um die Bewältigung von Problemen, die aus den gegebenen technisch-technologischen Bedingungen resultierten. Die Bell Company, in deren Labors der Transistor geboren wurde, war nicht „prepared to give the new technology a cordial reception ... Bell's own main concern was with cost reduction and not with product innovation“, so E. Braun und MacDonald, und sie fahren fort, daß die Entdeckung von Brattain und Bardeen zunächst auch nur als ein größerer Schritt im schon laufenden Prozeß der Miniaturisierung des Formats der elektronischen Bauelemente gesehen wurde, um dadurch die Zuverlässigkeit der Vakuumröhren zu erhöhen.<sup>37</sup>

Aber auch auf Seiten der Wissenschaftler hatte man ursprünglich gar keine Innovation ins Auge gefaßt. Die Physiker Brattain und Bardeen hatten mit ihrer Entdeckung allein wissenschaftliche Ziele verknüpft und zunächst an einen praktischen Zweck kaum gedacht. Sie zielten nicht darauf ab, die Elektronenröhre in der Industrie zu verdrängen. Sie gehörten einer Gruppe an, die von den Forschungsdirektoren der Laboratorien geschaffen worden war, um Arbeiten zur Entwicklung eines Verständnisses der Grundlagen der Festkörperphysik zu fördern. Bardeen und Brattain befaßten sich mit Fragen dieser physikalischen Teildisziplin, deren Beantwortung u.a. deshalb notwendig geworden war, weil durch eine Versuchsanordnung Shockleys zur Erforschung des Gleichrichtereffektes des wiederentdeckten Spitzendetektors<sup>38</sup> ein Ergebnis hervorgerufen worden war, das

35 F. Möglich, zit. nach K.Böhme/R.Dörge, *Unsere Welt von morgen*. Berlin 1960, S.157 (ohne Titel- und Quellenangabe).

36 B. M.Vul: *Introductory Report to the IX International Conference on the Physics of Semiconductors*. Proceedings (Leningrad). 1(1968). S.9 (zit. nach H.Kant: *Der Einfluß gesellschaftlicher Bedürfnisse auf Herausbildung und Entwicklung der modernen Halbleiterphysik*, in: *Rostocker Wissenschaftshistorische Manuskripte* (Rostock). (1978)2. S.42).

37 E.Braun/S.McDonald: *Revolution in miniature*. Cambridge 1978. S.73, 77 (zit. nach: J.Schopman: *The History of Semiconductor Electronics. A Kuhnian Story?* In: *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie* (Dordrecht). 12(1981)2. S.297 ff.

38 Es hatte ja bereits früher den Kristalldetektor gegeben, der aber Anfang der zwanziger Jahre aus der Rundfunktechnik von der Röhre verdrängt worden war, weil dessen Wirkungsweise im Unterschied zur Röhre nicht hinreichend theoretisch geklärt werden konnte. Deshalb konnten sie auch nicht in großer Stückzahl mit reproduzierbaren Eigenschaften erzeugt werden. Vgl. A.Wuest: *Radio und Technik*. In: *Jahrbuch der angewandten Naturwissenschaften* (Freiburg

nach den Kriterien der vorausgesetzten Theorie (Randschichttheorie von Schottky) nicht erklärt werden konnte. Man behalf sich mit der Hypothese, daß an einem Halbleiter spezifische Oberflächenzustände vorhanden seien. Untersuchungen an der Grenzfläche zwischen Metallspitzen und reinem Germanium, wodurch diese Annahme geprüft werden sollte, führten dann Bardeen und Brattain auf den Transistor (Halbleiterverstärker), wodurch ein Strom durch einen anderen gesteuert werden konnte.<sup>39</sup>

Daß bei der Entwicklung der Halbleiter anfangs auch nur vereinzelte Beziehungen zwischen Leuten mit reziproken Interessen eine Rolle gespielt haben können, läßt sich schon aus dem Umstand herleiten, daß – wie oben dargestellt – die radikale Neuheit des entdeckten Transistors zunächst weder von den Entdeckern noch von der Bell-Company erkannt worden war.<sup>40</sup> Der Transistor war anfangs von der Gemeinschaft der Ingenieure, die an der Vervollkommnung der Vakuumröhre arbeiteten, abgelehnt worden, was ja auch verständlich ist: Die ersten Transistoren waren viel geräuschvoller als die Vakuumröhren, weniger durch Spannungen belastbar, hatten einen begrenzten Frequenzbereich usw. Es war schwierig, Transistoren für spezifische Anforderungen zu konstruieren oder zwei Transistoren zu fertigen, die den gleichen Anforderungen genügten.<sup>41</sup>

### *Zu Prozessen der Software-Entwicklung*

Auch hier besteht zwischen der Entwicklung wissenschaftlichen und der technisch-technologischen Wissens keine Folgebeziehung.<sup>42</sup> Computerwissenschaft bzw.

i.Br.). 33(1927).

39 Vgl. L.Hartmann-Hoddeson: The Entry of Solids into the Bell Telephone Laboratories 1925 – 40. A Case Study of the Industrial Application of Fundamental Science, in: Minerva (London). 12(1980)3. S.428 ff., 434, 439, 442. f; H.Kant, Der Einfluß gesellschaftlicher Bedürfnisse auf Herausbildung und Entwicklung der modernen Halbleiterphysik, a.a.O., S.37–50.

40 Vgl. J.Schopman, a.a.O., S.297.

41 Vgl.E.Braun/S.McDonald, a.a.O., S.57 f.; J.Schopman, a.a.O., S.298.

42 „Das *kritische Ereignis* für die Entstehung eines neuen Typs von Technologie (der Hochtechnologie, wozu wesentlich Informations- und Kommunikationstechnologien gehören – K.L.) war in meinen Augen die wechselseitige Bezugnahme von zwei unterschiedlichen Forschungskulturen und der sie tragenden Gruppen: die Wissenschaftskultur der Quantenphysik und modernen Mathematik auf der einen Seite und die Ingenieurkultur der Nachrichten- und Fernmeldetechnik auf der anderen Seite. Das darf man nicht als sequentielle Beziehung in dem Sinne verstehen, daß die Nachrichtentechniker die mathematischen Theorien einfach anwandten oder daß die nachrichtentechnischen Probleme die Entwicklung der Mathematik bestimmten. Vielmehr handelte es sich dabei um einen reflexiven Bezug auf das, was in der jeweils anderen Forschungskultur vor sich ging. Entsprechend suchten die Akteure den Kontakt mit anderen Personen und Verfahrensweisen ..., immer jedoch dabei die Ziele der eigenen Forschungskultur verfolgend. Aus der immer dichter werdenden Kooperation, wie sie in industriellen und universitären

Informatik einerseits und die Praxis der Softwareentwicklung in der Industrie und anderen Anwendungsbereichen zeigen zunächst separate Entwicklungslinien und bringen getrennt voneinander Bedingungen für wechselseitige Bezugnahmen hervor: Mit „Software engineering“ verbinden sich zwei Interpretationen. Die eine betont die wissenschaftliche und mathematische Basis der Methodologie dieser Technik und die Notwendigkeit, streng formale Verfahrensweisen anzuwenden; die andere akzentuiert software engineering als eine im wesentlichen praktische Aktivität, die auf die Entwicklung besserer Werkzeuge abzielt, mit denen praktische Probleme in der Realität bewältigt werden können. In etlichen Studien zum Inhalt des knowledge engineering wird hervorgehoben, daß engineering nicht einfach Anwendung von Wissenschaft involviere, um Technologien zu entwickeln, vielmehr habe es einen von (grundlagenorientierter) Wissenschaft unabhängigen Inhalt.<sup>43</sup>

Die formalen Methoden der Software-Spezifikation und -Konstruktion entstanden zuerst auf einem Forschungsgebiet der Mathematik und Computerwissenschaft Mitte der 70er Jahre. Diese Forschungsrichtung wurde anfangs u.a. durch Interessen an bestimmten Fragen der Semiotik und dem Potential für formale Programmverifikation vorangetrieben. Die Methoden bestanden aus formalen Spezifikations-, Konstruktions- und Verifikationstechniken, gegründet auf mathematische Theorien wie die Mengenlehre, Prädikatenlogik, Prozeßalgebra und Aussagenlogik. Die wissenschaftliche community interessiert sich vorzugsweise für den Entwicklungsprozeß selbst und nur sekundär für Software-*Produkte*. In deren Verständnis kann ein neues Software-Produkt nur das Resultat der Anwendung streng formaler Methoden auf Basis einer theoretisch begründeten Software-Konstruktion sein<sup>44</sup>, weil dadurch Willkür und Unsicherheit der Konstruktionspraxis eingeschränkt werden würde. Nach diesem Verständnis kommt es also darauf an, den Entwicklungsprozeß so weit wie möglich zu formalisieren. Die Formalisierung soll die Verifikation erleichtern. Hingegen orientieren sich die Entwickler im Anwendungskontext auf das Endprodukt, wie es von den Nutzern gewünscht wird. Ihnen geht es nicht um formale Verifikationsmaßstäbe. Die Spezifikation muß

Laboratorien dann zunehmend organisiert wurde, ging das gemeinsam geteilte Modell technischer Kommunikation und Kontrolle hervor, das eine neue Generation von Technologien begründete.“ W.Rammert: Von der Kinematik zur Informatik: Konzeptuelle Wurzeln der Hochtechnologien im sozialen Kontext. In: W.Rammert (Hg.), Soziologie und künstliche Intelligenz. Produkte und Probleme einer Hochtechnologie. Frankfurt a.M. – New York 1995. S.101.

43 Vgl. G.L.Downey/ J. C.Lucena: Engineering Studies. In: Sh.Jasanoff et al., a.a.O., S.169.

44 Vgl. S.Harding/ G.N.Gilbert: Negotiating the Take-up of Formal Methods. In: P.Quintas (Hg.), a.a.O., S.89 f.

validiert werden im Hinblick auf die sich entwickelnden Bedürfnisse der Klienten, eine Forderung, deren Erfüllung nicht formalisiert werden kann.<sup>45</sup>

Mit Blick auf die Entwicklung von Software-Systemen stellt Quintas fest: „In most situations ... development requires communication between communities with different backgrounds, knowledge, agenda and power. These interactions span the lifetime of systems ... As is widely acknowledged, there is unlimited scope for misinterpretations and misunderstandings in these ‚cross-cultural‘ interactions“.<sup>46</sup> Wie kommt es nun dazu, daß beide Seiten an einer Zusammenarbeit interessiert sind, wenn sie doch ganz verschiedene Anliegen verfolgen, so daß zunächst eher wechselseitige Vorbehalte aufkommen müssen, die in manchen Studien thematisiert werden? Forsythe erläutert in einem Aufsatz, daß die in den von ihr beobachteten, auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz arbeitenden „knowledge engineers“ zwei Kategorien angehörten, den „neats“ und den „scruffies“: Ersterer bevorzugten „an approach characterized by formal logic, quantitative methods and the assumption of perfect certainty, whereas ‚scruffies‘ prefer to rely on heuristics, qualitative methods and reasoning with uncertainty ... Some scruffies express rivalry or antagonism towards neats, criticizing the latter as ‚not doing AI‘; neats, in turn, criticize scruffies as ‚inexact‘ and ‚unscientific“.<sup>47</sup> Angesichts der „kulturellen“ Barrieren zwischen beiden Seiten – Wissenschaftler müssen als solche wissenschaftsinternen Maßstäben und Anwender den Produktionszwecken Genüge tun – und angesichts dessen, daß die Gräben in Neuerungsprozessen *nicht primär* durch irgendwelche Kopplungsmechanismen, Ausbildungsprogramme oder vermittelnde Organe überwunden werden können, kann Technologieentwicklung zunächst nur über *einzelne Personen* stattfinden, die sich von der Majorität dadurch unterscheiden, daß sie als Ingenieure, Techniker, Konstrukteure Neigungen zu Methoden und Verfahren etwa der Computerwissenschaft bzw. als Wissenschaftler Neigungen zu praktischen Problemen der Anwender haben und ihnen zur Bewältigung ihrer jeweils spezifischen Fachprobleme auch nachgehen. Bezugnehmend auf Ergebnisse einer Beobachtung von Forschungs- und Entwicklungsgruppen, die an der Realisierung eines von der britischen Regierung gestützten Projektes (des Alvey-Projektes) zur Förderung der Softwareentwicklung arbeiten, stellt Quintas heraus, daß „the gap between Alvey R&D and conventional main-

45 Vgl. S.Easterbrook: Negotiation and the Role of the Requirements Specification. In: P.Quintas (Hg.), a.a.O., S.147, 153.

46 P.Quintas: Introduction – Living the Lifecycle: Social processes in software and systems development. In: P.Quintas (Hg.), a.a.O., S.2.

47 D. A.Forsythe: Engineering knowledge: The Construction of Knowledge in Artificial Intelligence. In: Social Studies of Science (London et al.). 23(1993). S.455.

stream development“ überbrückt worden sei „by Alvey R&D personnel moving across into business areas“. <sup>48</sup> Davon ausgehend lassen sich dann auch Formen des Zusammenwirkens beider Seiten nicht sogleich installieren, unabhängig von kontingenten Faktoren wie persönlichen Verbindungen zwischen Wissenschaftlern und technischen Praktikern.

Fragen wir zunächst, unter welchen Bedingungen Anwender an der formalen Methodik der Wissenschaftler interessiert sein könnten. Auch auf diesem Gebiet werden neue Lösungen bereits im Vorfeld einer theoretischen Begründung dieser aufgegriffen und zu Prototypen entwickelt. Quintas berichtet, daß von Ergebnissen, die dank des oben schon erwähnten Projekts gewonnen werden konnten, seitens der Nutzer zunächst vor allem neben Wissens- und technischen Fortschritten prototypische tools und Sprachen aufgegriffen wurden (während anderen Ergebnissen Widerstand entgegengebracht wurde). <sup>49</sup> Deren Entwicklung war an lokale Anwendungskontexte gebunden, es ging um die Befriedigung von Bedürfnissen einzelner Nutzer bzw. um die Bewältigung einzelner Aufgaben <sup>50</sup>, wofür formale Mechanismen für einen Technologietransfer nicht nötig sind. „There appeared to be no internal ‚gatekeeper‘ function acting as a conduit for technology transfer“. <sup>51</sup> Umgesetzt bzw. von Entwicklern bei Nutzern ausprobiert werden zunächst „early and practical demonstrations of parts of the system ...“, so Friedman. <sup>52</sup>

Wir folgen hier der Vorstellung eines Phasenschemas, wonach neue Technologien oder Produkte zunächst als „Protoform“ bestehen und getestet werden, woraus die Notwendigkeit kommunikativer Beziehungen zwischen Entwicklern und Anwendern resultiert, weil eine Protoform anfällig für Störungen ist und Nutzer im Umgang mit ihr ungeübt sind. <sup>53</sup> Die Entwicklung der Technik findet hier in einem

48 P.Quintas: Social Dimensions of Software Engineering: The experience of the UK Alvey programme. In: P.Quintas (Hg.), a.a.O., S.82. Vgl. auch S.Harding/ G. N.Gilbert, a.a.O., S.104 ff.

49 P.Quintas, a.a.O., S.71.

50 Vgl. D.Randall/J.Hughes/ D.Shapiro: Systems Development – The Fourth Dimension: Perspectives on the social organization of Work. In: P.Quintas (Hg.), a.a.O., S.198.

51 P.Quintas: Social Dimensions of Software Engineering: The experience of the UK Alvey programme, a.a.O., S.78.

52 A. L.Friedman: The Information Technology Field: An historical analysis. In: P.Quintas (Hg.), a.a.O., S.27.

53 „Prototyping involves producing early working versions (prototypes) of the future application system and experimenting with them. Prototyping provides a communication basis for discussions among all the groups involved in the development process, especially between users and developers.“ R.Budde/K.Kautz/K.Kuhlenkamp/H.Züllighoven: Prototyping. An Approach to Evolutionary System Development. Berlin et al. 1991. S.6 f.

Prozeß des interaktiven Lernens statt, wofür es keine etablierten Strukturen gibt. Die Entwicklung und Anwendung von prototypischen Lösungen und Verfahren im Vorfeld der Ausreifung einer sie fundierenden Theorie – die „In House“-Produktion von Software – resultiert aus Tätigkeiten, in die Werkstattwissen, Erfahrungen, Fertigkeiten eingehen, die noch nicht textsprachlich expliziert sind. Konstruktion und Produktion von Computer-Software bleibt eine sehr arbeitsintensive, von individuellen Konstruktionserfahrungen und experimentellen Fähigkeiten bestimmte Aktivität<sup>54</sup>, was auch zu kritischer Bewertung provoziert hat. „Programmers and analysts have automated many people’s jobs but are remarkably reluctant to automate their own“.<sup>55</sup> Durch quantifizierbare Maßstäbe (etwa die Lines of Code) wird nur ein verhältnismäßig kleiner Ausschnitt aus den Entwicklungsarbeiten erfaßt.<sup>56</sup>

Faktoren, die dann eine Annahme und Verbreitung von neuen Technologien bewirken, resultieren aus dem Bedarf nach Standardisierung. Die Entwicklung von Standards (etwa technische Kompatibilitätsstandards, Datenaustauschformate) nötigt die Produzenten von Software auch zur Anwendung formaler Methoden. Das Interesse daran erwächst aus der Notwendigkeit, die Effizienz der Software-Produktion zu erhöhen, um Nutzerinteressen an der Senkung der Software-Kosten zu genügen. Dies führt zu einer Neigung für strukturierte Methoden und formale Verfahren, um die Entwicklung zu kontrollieren<sup>57</sup>, wozu es direkter Kontakte zu Wissenschaftlern bedarf.

Hingegen resultiert das Interesse von Wissenschaftlern an Kontakten zu Praktikern aus dem Anliegen, gleichsam common sense in Expertenwissen zu verwandeln und den Anteil stillschweigenden Wissens an der Entwicklung und Konstruktion neuer wissenschaftlich-technischer Lösungen zu vermindern.<sup>58</sup> Forsythe berichtet auf Basis der oben schon erwähnten Studien zur Arbeit von mit der Schaffung von „Expertensystemen“ befaßten US-amerikanischen Laboratorien, daß die von ihr beobachteten Wissenschaftler „Wissen“ mit formalem oder kodifiziertem Wissen gleichsetzen, das textsprachlich fixiert werden kann und sich zielgerichtet und methodengeleitet erwerben läßt, wobei Wissenserwerb als Prozeß der Extraktion, Organisation und Strukturierung des Wissens für den Gebrauch

54 Vgl. Chr.Schachtner: Geistmaschine. Faszination und Provokation am Computer. Frankfurt a.M. 1993. S.89 ff.

55 J.Martin: An Information Systems Manifesto. Englewood Cliffs/New Jersey 1984, S.19.

56 Vgl. F.Weltz/R. G.Ortmann, a.a.O., S.112.

57 Vgl. A. L.Friedman: Computer Systems Development. History, organization and implementation. London 1989.

58 Vgl. J.Weher: Wissensrepräsentation: Experten und ihre symbolische Reproduktion. In: W.Rammert (Hg.), a.a.O., S.251 ff.

in wissensbasierten Systemen (bzw. Expertensystemen) gilt. Daß Alltagswissen bzw. stillschweigendes Wissen Einfluß auf Wissenssysteme haben, stellt eine Herausforderung dar, der begegnet werden muß, wenn besagtes Wissensverständnis gelten soll. Dieses Wissen in formales Wissen zu verwandeln, ist folglich ein Testfall für dessen Gültigkeit. Weil nun aber bei der Explizierung stillschweigenden Wissens nicht auf formale Prozeduren zurückgegriffen werden kann, ist zur Bergung solchen Wissens, das formal kodifiziert werden soll, direkte Interaktion mit Trägern dieses Wissens erforderlich.<sup>59</sup> Der Software-Entwickler löst mittels Computertechnologie sinnhafte Bedeutungen aus ihrer naturwüchsigen Bindung an Interaktionskontexte von Anwendungsbereichen heraus und transformiert sie in den Ereignishorizont der „Programmwelt“.<sup>60</sup> Die Erfahrung der Verschiedenheit des Computerprogramms vom realen Prozeß stimuliert ein reflexives Verhältnis zum eigenen Tätigkeitsfeld. „Im Prozeß der Formalisierung entsteht ein neuer, reflexiv-distanzierter Blick auf die eingelebten Handlungsweisen. Unhinterfragte Problemlösungen können im experimentellen Umgang analysiert und neue Vorgehensweisen erprobt werden. Die permanenten Korrektur-, Anpassungs- und Übersetzungsarbeiten lassen eine Informationskompetenz entwickeln, mit der die Leistungen und Grenzen des Computers realistischer gesehen werden können“, wie Paul ausführt.<sup>61</sup>

### *3. Wandlungen der Sozialstruktur in Unternehmen, eine Voraussetzung für Innovationen*

Ein techniksoziologisches Konzept, das lediglich die sozialen Folgen neuer Techniken und Technologien thematisiert, stellt die Annahme einer von vornherein gegebenen Trennung zwischen Technischem und Sozialem nicht in Frage. Es stellt nichts der Vorstellung entgegen, daß der Wandel von Techniken und Technologien gleichsam in einem sozialen Vakuum geschähe und sich selbst generierte.<sup>62</sup> Aber dann läßt sich kein Weg aufzeigen, auf dem sich gegebene technische Bedingungen in einer Weise verändern, daß sie an ganz neue wissenschaftlich-technische Lösun-

59 D. A.Forsythe, a.a.O., S.458 f., 461.

60 G.Paul: Softwareproduktion zwischen System- und Benutzererfordernissen, in: Jahrbuch Sozialwissenschaftliche Technikberichterstattung 1993. Schwerpunkt: Produktionsarbeit. Berlin 1993. S.197 f.

61 Ebenda.

62 Dann müßte auch angenommen werden, „dieser Prozeß habe dann ‚Auswirkungen‘ außerhalb seiner selbst, die man üblicherweise als ‚soziale Folgen‘ (social impacts) thematisiere.“ L.Hack: Vor Vollendung der Tatsachen. Die Rolle von Wissenschaft und Technologie in der dritten Phase der industriellen Revolution. Frankfurt a.M. 1988. S.180.

gen anschlußfähig sind. Es lassen sich, wenn der Determinationszwang des Technischen auf Produktionsprozesse als unausweichlich betrachtet wird, nur Veränderungen in der Art von Modifikationen oder der Ausreifung des Gegebenen denken. Die Sicherung von Produktionsstabilität und -kontinuität, die Notwendigkeit der Verwertung der vorgeschossenen Produktionsbedingungen wären Gründe dafür, daß radikale Veränderungen nicht eintreten, wenn sich nicht schon die gegebenen technischen Bedingungen ändern würden, bevor sie zum Angriffspunkt für Innovationen werden. Zur Erklärung qualitativer Neuerungen muß auf etwas verwiesen werden können, das die Tradierung von Techniken unterbricht und Bedingungen erzeugt, woran neuartige Technik anschließen kann. Es muß zugleich etwas sein, das auch das Produktionswissen verändert, weil aus überkommenem Wissen ein Wissen zur Beherrschung von etwas Neuartigem nicht extrapolierbar ist.

Das, was wir soeben dargelegt haben, nötigt m.E. zu dem Schluß, daß Vorgänge, die dies bewirken – die Veränderungen der überkommenen technischen Bedingungen in einer Weise, daß an sie Innovationen angeschlossen werden können – , keine allein technischen, sondern soziale Vorgänge sind, in die technische Bedingungen „eingelassen“ sind, Vorgänge, die sich m.E. in wesentlichen Punkten in dem Sinne verstehen lassen, den Marx mit „Entwicklung der gesellschaftlichen Produktivkraft der Arbeit“ meint<sup>63</sup>: Sie ist es, die die Produktionsbedingungen revolutioniert. Sie wirkt der Herrschaft der vergangenen Arbeit über die lebendige entgegen: Expansion des Produktionsapparates in einem Unternehmen und arbeitsteilige Spezialisierung der Produzenten, woraus ein Produktivitätszuwachs unter vorgefundenen technischen Bedingungen resultiert, verändern zugleich die gegebenen Bedingungen: Die Techniken müssen den spezifischen Gebrauchsweisen von Spezialisten angepaßt werden, deren Qualifikation sich durch die Arbeitsteilung ebenfalls verändert. Die gesellschaftliche Produktivkraft der Arbeit entbindet sich über den Formenwechsel, den die kooperative Arbeit in ihrer Entfaltung durchläuft.

Marx bezieht sich auf jene Zeit, in der die Arbeitsmaschine aufkam und sich verbreitete. Bedingungen dafür entstanden mit der räumlichen Konzentration von zuvor selbständig produzierenden Handwerkern aus gleich- oder verschiedenartigen Gewerken, die dem Kommando von Manufakturbesitzern unterworfen waren, in deren Person sich der gesellschaftliche Charakter der Produktion allein verkörperte.<sup>64</sup> Mit weiterer Ausdehnung der Produktion und Vertiefung der Arbeitstei-

63 Karl Marx: Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie. Erster Band, in: MEW, 23. Berlin 1962. 4.Abschnitt.

64 Vgl. K.Marx: Zur Kritik der Politischen Ökonomie (Manuskript 1861–1863). In: MEGA. Zweite Abteilung („Das Kapital“ und Vorarbeiten), Bd.3.1. Berlin 1976. S.285/286.

lung ließ sich aber die Produktion immer weniger auf autoritäre Weise steuern, und es entstanden Bedürfnisse nach technisch-gegenständlicher, sachabhängiger Realisation der Steuerungsaufgaben, wobei natürlich die Mittel dazu nicht aus jenen Geräten entwickelt werden konnten, mit denen die Produzenten arbeiteten, aus Handwerksgeräten, die an die veränderten Gebrauchsweisen von arbeitsteilig spezialisierten Produzenten angepaßt worden waren. Es bedurfte ja solcher Techniken, mit denen Funktionen realisiert werden konnten, die nicht von den spezialisierten Teilproduzenten ausgeübt wurden. Vielmehr ging es um Funktionen zur Regelung ihres kooperativen Zusammenhangs in einer Weise, die die persönlichen Abhängigkeitsverhältnisse (die Unterordnung der Produzenten unter die Kommandogewalt von Unternehmern) in sachliche Abhängigkeitsverhältnisse verwandelte und die sozusagen den persönlichen unkodierten gegen einen unpersönlichen, kodierten Nachrichtenaustausch vertauschte. So wurde die vorher allein im Willen der Unternehmer begründete Administration zum technischen Zwang, zur „technologischen Wahrheit“. Dazu bedurfte es Techniken ganz anderer Art, die nicht innerhalb der Grenzen des Produktionsprozesses entwickelt werden konnten.

Auf die „gleichzeitige Anwendung einer größeren Arbeiteranzahl“ bei „gleichbleibender Arbeitsweise“ führt Marx „eine Revolution in den gegenständlichen Bedingungen des Arbeitsprozesses“ zurück.<sup>65</sup> Damit werden Innovationen als soziale Prozesse verständlich, sie verdanken sich nicht einer immanenten Kraft des Technischen.<sup>66</sup> Die „spezifische Maschinerie der Manufakturperiode bleibt der aus vielen Teilarbeitern kombinierte Gesamtarbeiter selbst“<sup>67</sup>, ein Gedanke, der dazu anhält, Technologien als *endogene* Variable zu analysieren. Marx schildert die Entwicklung, in der sich das Erscheinungsbild der gesellschaftlichen Arbeit wandelte, als einen Vorgang, in dem der „kooperative Charakter des Arbeitsprozesses“ zu einer „durch die Natur des Arbeitsmittels selbst diktierte(n) technische(n) Notwendigkeit“ wird.<sup>68</sup>

65 K.Marx: Das Kapital. Erster Band. A.a.O., S.337; vgl. auch S.339.

66 Ebenso läßt sich zeigen, daß die jahrhundertelange Stabilität des Zunftwesens nicht den Handwerksinstrumenten als solchen geschuldet war. Verschuldet hatte dies der Umstand, daß durch die zunftgesetzlich verankerte Beschränkung der zulässigen Gesellenanzahl ein arbeitsteilig gegliederter Gesamtarbeiter nicht entstehen konnte, so auch nicht Teilung der Arbeit und Organisation der Produktion als die Voraussetzungen für die Entstehung der maschinenartigen industriellen Produktion (vgl. G. S.Gudoznik : Wissenschaftlich-technischer Fortschritt. Wesen, grundlegende Tendenzen. Berlin 1974. S.2.

67 K.Marx, a.a.O., S.369.

68 Ebenda, S.407; vgl.auch K.Marx: Grundrisse der Kritik der Politischen Ökonomie. Berlin 1974, S.584. Daß das Marxsche Konzept eine Rolle beim Aufbau des „Social Shaping“-Modells zur Analyse von technisch-technologischen Entwicklungen (J.Fleck, MacKenzie, Wajcman, Noble) gespielt hat, wird u.a. von W.E.Bijker dargestellt. W.E.Bijker: Sociohistorical Technology

In diesem Prozeß war zugleich das Wissen entstanden, das für Entwicklung und Einführung der Arbeitsmaschine notwendig war, ein allgemeines, von Geschick und Erfahrungsgut der Teilproduzenten getrenntes Produktionswissen, dessen Träger jene Personen waren, deren Tätigkeit sich auf die *Einheit* der Produzenten als eines *produktiven Gesamtkörpers* bezog (während das Wissen der Arbeiter im Zuge der Spezialisierung destruiert wurde). Dieses Wissen wurde zunächst vom Unternehmer allein repräsentiert, der sich um die Vermittlung der arbeitsteilig gegliederten Tätigkeiten und deren Kontrolle zur Gewährleistung der Gesamtverrichtung sorgte. Um eine geordnete Bewegung des Gesamtprozesses auch bei weiterer Ausdehnung und arbeitsteiliger Gliederung der Produktion zu gewährleisten, mußten Führungsfunktionen auf Aufsichtspersonen, schließlich auf ingenieurtechnisches Personal übertragen werden, das für den kooperativen Gesamtzusammenhang der Produktion die immer wichtiger werdende Funktion innehatte, die Beziehungen der Produzenten zu den Gegenständen sowie die Arbeitsteilung analytisch zu durchdringen und methodisch auszurichten. Schließlich war eine technische Realisierung der auf den Gesamtprozeß bezogenen Funktionen nötig. Die Anwendung der Werkzeugmaschine war erst möglich gewesen über den Weg der „Analyse – durch Teilung der Arbeit, die die Operationen der Arbeiter schon mehr und mehr in mechanische verwandelt, so daß auf einem gewissen Punkt der Mechanismus an ihre Stelle treten kann“.<sup>69</sup>

Mit den in der Produktion erzeugten Bedingungen war nicht schon festgelegt, welche Inventionen es sein würden, die zur Wirkung gelangten. Und ebensowenig war mit den Inventionen schon der Weg vorgezeichnet, auf dem sie dann zu Innovationen wurden. Wohl hatte es bereits 1598 die von William Lee erfundene Maschine zum Strumpfstricken, die in Italien erfundene Maschine zur Seidengarnherstellung und andere Maschinen gegeben. Aber diese Maschinen bewirkten noch keine industrielle Umwälzung. Es bestand kein ökonomischer Bedarf nach einer breiten Anwendung. In der gegebenen Gestalt waren die Maschinen auch nicht auf weitere Produktionszweige übertragbar.<sup>70</sup> Sie waren gar nicht mit Blickrichtung auf die Konstruktion einer Arbeitsmaschine konstruiert worden, als deren Vorläufer lassen sie sich nur in der Rückschau ausmachen. So war beispielsweise mit dem Bedürfnis nach einer Antriebstechnik für die Werkzeugmaschinen, die sich im weiteren spezialisiert hatten, nicht schon der Weg zur Dampfmaschine hin programmiert. Es wurden verschiedene Erfindungen erprobt, u.a. solche zur Nutzung der Federwirkung und der Wasserkraft. Vielmehr ging von besagten Bedingungen

Studies. In: Sh.Jasanoff (Hg.), a.a.O., S.237, 241.

69 K.Marx: Grundrisse der Kritik der Politischen Ökonomie, a.a.O., S.591.

70 Vgl.G.S.Gudoznik, a.a.O., S.54 f.

ein Selektionsdruck auf einen Pool von Erfindungen aus, die getrennt von dem Prozeß entstanden waren, in dem sie dann wirksam wurden oder hätten wirksam werden können. Unter diesem Druck wurden solche favorisiert, die sich eher als andere so gestalten ließen, daß sie an die gegebenen Produktionsbedingungen angeschlossen werden konnten, an Bedingungen freilich, die mit der Entwicklung der Produktivkraft der Arbeit selbst schon Veränderungen erfahren hatten.

Das Vorhaben, etwa Prozesse der Softwareentwicklung zu untersuchen, muß, wenn man dem oben Dargelegten folgt, Vorgänge auf Seiten von Unternehmen einbeziehen, die die potentiellen Anwender neuer informations- bzw. kommunikationstechnologischer Lösungen sind, Vorgänge, die, über die Anstrengungen von Praktikern vermittelt, konstitutiv für die Entwicklung von Neuerungen sind. Wie sich in einem Unternehmen ganz neue Lösungen einführen lassen, wäre gar nicht erklärbar, wenn der Produktionsprozeß in „alten“ Softwarelösungen vollständig abgebildet wäre. Doch mit Veränderungen in den sozialen Strukturen wandeln sich auch die technischen Bedingungen, sie müssen diesen angepaßt und durch neue technische Komponenten (Prototypen) ergänzt werden, was auch auf Grund der Multifunktionalität, Variabilität und Komplexität der gegebenen Softwarelösungen möglich ist.<sup>71</sup>

Aufschlußreich ist m.E. in diesem Zusammenhang ein von Quintas vorgenommener Vergleich zwischen der konventionellen Software-Produktion und dem software engineering im Rahmen des schon erwähnten Alvey-Programms, der u.a. zu folgenden differentiellen Kennzeichnungen führte: Die traditionelle Praxis zehrt von „instinct and experience“, verwendet kaum formales Wissen, stützt sich nur auf einzelne tools, orientiert auf Neuerungen, die mit den gegebenen Tätigkeitsbedingungen vereinbar sind. Karriereverläufe weisen eine informelle Struktur auf und hängen vom Ausmaß empirischer Erfahrungen ab. Das Prozeß-Management geschieht ad hoc, ist unstrukturiert und wird nicht dokumentiert. Die Bewertung der Qualität ist produktorientiert. Die Arbeitsorganisation setzt persönliche Verantwortung voraus. Hingegen basiert software engineering auf streng formalen Methoden, und die Akteure bedürfen einer kontinuierlichen Ausbildung in formalem Wissen. Es werden strukturierte Methodologien und mathematisch fundierte Methoden angewandt. Innovationen beziehen sich auf die Prozeßtechnologie. Das Prozeß-Management ist formal, strukturiert und ist in Dokumenten festgehalten. Die Arbeitsorganisation begrenzt den Spielraum der Akteure durch Methodologie und Prozeßkontrolle.<sup>72</sup> Die Produktzuverlässigkeit wird gemessen,

71 Vgl.K.Dollhausen/ K. H. Dörning: Die kulturelle Produktion der Technik. In: Zeitschrift für Soziologie (Stuttgart). 25(1996)1. S.40 f., 51.

72 P.Quintas, Social Dimensions of System Engineering, a.a.O., S.80 f..

und die Qualitätsbeurteilung bezieht sich auf den Prozeß, wobei nach der Übereinstimmung mit Standards gefragt wird. M.E. müßte nun gezeigt werden, welche (sozialen) Prozesse es auf Seiten der Unternehmen gewesen sind, die Bedürfnisse nach formalem, strukturiertem und dokumentierbarem Prozeß-Management, nach Meßbarkeit von Produktzuverlässigkeit und Produktivität, nach Limitierung der Spielräume nach Maßgabe von Methodologien und Prozeßkontrolle u.a.m. geweckt und so Interessen an einer Zusammenarbeit mit software engineers gefördert haben. Gemeint sind Prozesse, die zu Rationalisierung und Disziplinierung des Verhaltens von Individuen etwa in einem Produktionsbereich eben wegen dessen Expansion und Strukturierung nötigen, so daß es auch technisch simuliert werden kann.<sup>73</sup>

Informationstechnologie ist im wesentlichen eine Technologie der Koordination und Kontrolle von Arbeitskräften. „Electronic data processing (EDP) seems to be one of the most important tools with which company management institutes policies directly concerning the work process conditioned by complex economic and social factors. In this sense EDP is in fact an organizational technology, and like the organization of labor, has a dual function as a productive force and a control tool for capital“, wie de Benedetti, ein Bankdirektor, ausführt.<sup>74</sup> Edwards zeigt nun am Beispiel britischer Banken, daß der Einsatz von Computern der Strategie eines Organisationswandels entsprach. „Branch banks under the old system were full-service banks under a decentralized corporative system. Branch managers, by virtue of their apprenticeship, were capable (at least in theory) of performing any operation at any level of the branch's hierarchy. Senior managers were thus generalists whose decision making skills and authority were held to result from a broad and deep personal experience ... Computerization ... was introduced largely in order to restructure work.“<sup>75</sup> Auch hier möchten wir annehmen, daß in den Bankunternehmen der Computerisation ein sozialer Prozeß vorausgegangen war, ein Prozeß der Vertiefung arbeitsteiliger Gliederung, der Vergrößerung und Seg-

73 Bezugnehmend auf Turing hebt Heintz hervor, „daß für die Mechanisierung geistiger Prozesse nicht die Technik das Entscheidende ist, sondern das Verhalten des simulierten Menschen. Nur wo Menschen sich mechanisch verhalten, ist ihr Verhalten auch simulierbar.“ So habe eine „Soziologie des Computers“ ... an der Maschinenhaftigkeit des menschlichen Verhaltens anzusetzen – bzw. an den *sozialen Bedingungen*, die dazu führen – und nicht, wie einige Soziologen heute ... meinen, an der Menschenähnlichkeit des Computers.“ B.Heintz: „Papiermaschinen“: Die sozialen Voraussetzungen maschineller Intelligenz. In: W.Rammert (Hg.), a.a.O., S.51, 53 f.

74 F.de Benedetti 1979, zit. in: P.N.Edwards: From „Impact“ to Social Process. Computers in Society and Culture. In: Sh.Jasanoff, a.a.O., S.277.

75 P. N.Edwards, a.a.O., S.277.

mentierung, der sich nicht mehr über den Einfluß von Autoritäten und nach Maßgabe persönlicher Erfahrungen und persönlicher Entschlußkraft regulieren ließ und folglich einen Technologiewandel – vom kooperativen Gesamtkörper, der ja schon Technologie „ist“, zu einer „sachabhängigen“ Technologie in Gestalt der Computerisierung – erforderlich machte.

### *Schluß*

Wir haben uns damit begnügt, eine Vorstellung dazu zu entwickeln, wie es überhaupt zu Beziehungen zwischen Wissenschaftlern einerseits und Technikern und Ingenieuren andererseits ungeachtet dessen kommen kann, daß beide Akteursgruppen je eigene fachgebietsbestimmte Interessen verfolgen. M.E. dürfen die Möglichkeit, die Zusammenarbeit von Akteuren beider Seiten zu organisieren, und ein systematischer Zusammenhang zwischen Wissenschafts- und Technikentwicklung auf einem Gebiet auch bei modernen *Innovations*prozessen nicht einfach vorausgesetzt werden. Vielmehr gilt es, dies als deren Resultat auszuweisen, bevor es den weiteren Vorgang leitet. Die Reziprozität der Interessen hat etwas mit Entwicklungsproblemen des wissenschaftlichen und des technisch-technologischen Gebietes zu tun, deren Bewältigung ein Zusammenwirken erheischt. Und weil im Falle von Innovationsprozessen zunächst nur einzelne Wissenschaftler und Techniker darauf kommen können, die dann die Pioniere der Entwicklungsgeschichte sind, wird das Netzwerk zunächst nur in der Art von „persönlichen Verbindungen“ bestehen.

Abschließend wollen wir wenigstens andeuten, wie dann der Prozeß, nachdem solche Beziehungen erst einmal entstanden sind, weitergeht. Im folgenden soll also mit wenigen Strichen ein Bild davon entworfen werden, wie sich in einem Innovationsprozeß, in dem Wissenschaftler einerseits und Ingenieure, Techniker, Konstrukteure andererseits Beziehungen zueinander eingehen, aus denen dann soziale Gebilde wie Netzwerke und Gruppen erwachsen, zugleich ein neues Wissen herausbildet, wie sich die Entwicklung sozialer Strukturen zur Entwicklung kognitiver (Wissens-) Strukturen verhält: Besteht nur eine äußere Beziehung im Sinne bloßer Parallelität, handelt es sich vielleicht um eine Folgebeziehung, derart, daß bestimmte Akteure erst einmal bestimmte Verkehrsformen etablieren in der *Absicht*, einen organisatorischen Rahmen zu erstellen, innerhalb dessen man sich dann vornimmt, eine neue wissenschaftlich-technische Lösung zu finden? Oder umgekehrt: Ist es so, daß *einzelne* Akteure auf eine neue Lösung stoßen und sich *daraufhin* die Mühe machen, Formen der Zusammenarbeit zu installieren, über die sich die Früchte von zunächst individuellen Anstrengungen verbreiten und weiter ausreifen lassen? Oder läßt sich begründen, daß es einen *inneren* (Entwick-

lungs-) Zusammenhang zwischen Sozialem und Kognitivem gebe, zwischen der Entwicklung von Formen des sozialen Verkehrs und der Entwicklung neuen wissenschaftlich-technischen Wissens, so daß Übergänge etwa von lockeren Netzwerken via Gruppen bzw. Gemeinschaften zu Institutionen und Fachgebieten zugleich als Stadien dessen begreifbar sind, wie sich neue wissenschaftlich-technische Errungenschaften herauskristallisieren und öffentliche Anerkennung finden? Camagni bestimmt ein „innovatives Milieu“ als „the set, or the complex network of mainly informal social relationships on a limited geographical area, often determining a specific external ‚image‘ and a specific internal ‚representation and sense of belonging‘, which enhance the local innovative capability through synergetic and collective learning processes...“.<sup>76</sup> Weil die Entwicklung technisch-technologischen und die Entwicklung wissenschaftlichen Wissens nicht von vornherein, subjektivorgänglich, zueinander in einem systematischen Zusammenhang stehen, können sich Beziehungen zwischen beiden Bereichen zunächst nur über *Interaktionen von Personen* ergeben, wie das in Innovationsprozessen der Fall ist, über ein Netzwerk von interpersonellen Beziehungen, in denen der Zusammenhang zwischen beiden Wissensbereichen über die Reziprozität der je besonderen Akteursperspektiven angebahnt wird. Eine an einem „interaktiven Modell“ orientierte Beschreibung der Beziehungen zwischen Wissenschaft und Technologie<sup>77</sup> müßte dann m.E. konsequenterweise in der Weise durchgeführt werden, daß die Entwicklung der Formen der Interaktionen, der Regulation der interpersonellen Beziehungen (von vorwiegend informellen, autoregulativ funktionierenden zu formellen, nach externen Interaktionsvoraussetzungen regulierten Beziehungen) als Prozeß entschlüsselbar ist, in dem die Innovation (von der Protoform zur Standardlösung) vorankommt. Daß die Resultate von Entwicklungsprozessen nicht auf die originären Anliegen der Beteiligten zurückführen, sondern vielmehr ein Wissen entsteht, das *neuartig* ist, beziehen wir auf die *Interaktionserfahrungen*, die in der Akteurskonstellation gewonnen werden. Entwicklungsaufgaben sind nicht durch Rückgriff auf nur eigenes Wissen lösbar, sondern immer nur unter Rekurs auf Wissen und Fähigkeiten von Netzwerkpartnern. Der Inhalt besagter Erfahrungen verändert sich natürlich mit dem Wandel der Interaktionsformen, ein Wandel, der eintritt, wenn sich das Netzwerk ausdehnt und strukturiert. Das heißt, ein Wissen, das die Beziehungen zwischen Akteuren reguliert und so die je

76 R.Camagni: Introduction: from the local ‚milieu‘ to innovation through cooperation networks. In: R.Camagni, *Innovation networks: spatial perspectives*. London – New York 1992, S.3.

77 Vgl. R. I.Williams/ D.Edge: *The Social Shaping of Technology: A Review of UK Research Concepts, Findings, Programs and Centres*. In: M.Dierkes/ U.Hoffmann (Hg.), a.a.O.; G.L.Downey/ J.C.Lucena, a.a.O., S.169 f.

spezifischen situativen Kontingenzen, Handlungen und Anliegen der Akteure transzendiert – ein „sekundärer Sinnzusammenhang“<sup>78</sup> –, entsteht mit der Reflexion des kooperativen Zusammenhangs. Denn erst in der sozialen Interaktion, in der die Akteure füreinander als Modelle der Erfahrungsverarbeitung dienen, gewinnt jeder Beteiligte eine Distanz zu den Ergebnissen seines Tuns.

Idealtypisch dargeboten, läßt sich die Frühphase der Bildung eines Netzwerkes als ein schwach geordnetes Gesamt von interdependenten face to face-Beziehungen auffassen, mit denen neues Wissen nur in Gestalt mehrerer Versionen aufkommen kann. Als nächste Entwicklungsphase betrachten wir die Herausbildung einer Interaktionsform in der Art persönlicher Abhängigkeitsverhältnisse: Akteure, wenn sie verhältnismäßig viele Kontakte im Netzwerk unterhalten, fungieren auch besonders häufig als Vermittler von Beziehungen ihrer Partner untereinander und erweisen sich so als Personen mit weithin anerkannter Kompetenz. Ihre Stellung im Netzwerk gestattet ihnen eine intensivere Reflexion des kooperativen Zusammenhangs, als dies ihren Partnern möglich ist. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang die in der organisationssoziologischen Literatur über informelle Netzwerke beschriebene Rolle der sogenannten „bridge-agents“ oder „boundary-spanning individuals“; es handelt sich in der Regel um einflußreiche und sozial hoch anerkannte Dolmetscher bzw. Informationstransferer zwischen zwei verschiedenen Organisationen und Kulturen, aus denen ihre Netzwerkpartner stammen.<sup>79</sup> Harding und Gilbert verweisen auf die damit vergleichbare Rolle von „key agents“ in Prozessen der Software-Entwicklung.<sup>80</sup> Über deren Einfluß wird schon das freie Spiel der Kräfte eingeschränkt. Das Wissen solcher – Knotenpunkte des Netzwerkes bildenden – Akteure, das, indem es als obligatorisches Wissen geltend gemacht wird, die Komplexität der im Netzwerk stattfindenden „Verhandlungen“ und so auch die Vielfalt von Versionen neuen Wissens reduziert, läßt sich schon als potentiell allgemeines Wissen ansehen, nur daß es sich noch nicht von dessen Trägern getrennt hat. Dieses Stadium teilt aber noch mit dem früheren Stadium die Gebundenheit an einen lokalen Kontext; sie ergibt sich daraus, daß es vorherrschend face to face – Beziehungen sind, die unterhalten werden. Wenn die Reproduktion des Beziehungsgeflechtes von der persönlichen Präsenz der Akteure abhängig ist und Autoritätspersonen zur Aufrechterhaltung eines sozial geordneten

78 J. R. Bergmann: Flüchtigkeit und methodische Fixierung sozialer Wirklichkeit. Aufzeichnungen als Daten der interpretativen Soziologie. In: W. Bonß/ H. Hartmann (Hg.), *Entzauberte Wissenschaft. Zur Relativität und Geltung soziologischer Forschung*. In: *Soziale Welt* (Göttingen). 1985, Sonderband 3. S.306.

79 Vgl. G. Paul, a.a.O., S.198.

80 St.Harding/ G. N. Gilbert, a.a.O., S.104 ff.

Zusammenwirkens zugegen sein müssen, müssen mit weiterer Expansion des Netzwerkes, wodurch es zwangsläufig zu Differenzierungen und Segmentierungen des produktiven Gesamtkörpers kommt, Regulationsschwierigkeiten entstehen. Die Zusammenarbeit läßt sich nicht mehr per Zuruf und über persönliche Abmachungen regeln. Überdies ist eine unproblematische Verbreitung des neuen Wissens nicht möglich, solange es noch an Personen gebunden, also mit stillschweigendem Wissen und mit den Interaktionserfahrungen der in einem lokalen Kontext wirkenden Akteure verquickt ist. Unter dem Druck einer solchen Lage kommt es gewissermaßen zu einer „Formalisierung“ der Führungsfunktionen (zu formalisierten Ablaufplänen und Strukturdiagrammen), es verstärkt sich die Tendenz zur Dokumentierung von Wissen, zur Normierung von Handlungsparametern, zur Standardisierung der Vorgehensweisen u.dgl.<sup>81</sup> Die Objektivierung des Zusammenhalts des Netzwerkes streift die persönliche Form soweit ab, daß es sich mit Sachlich-Gegenständlichem verknüpft, so daß auch Fluktuation und Ausfall von Akteuren den Prozeß nicht mehr infrage stellen können. Hierarchische Beziehungen erhalten nun den Charakter technischer Notwendigkeit, bestimmt durch die im vorangegangenen Prozeß entwickelten technischen Mittel (etwa neue Kommunikations- und Informationstechnologien, datentechnische Verknüpfungen). Das heißt, die vorher allein im Einfluß von Autoritäten verankerte Sozialstruktur wird nunmehr zur „technologischen Wahrheit“ (Marx).<sup>82</sup> Und erst dann sind, um auf

- 81 Solange eine neue Technik nur als Prototyp existiert, kann sie sich nur über Personentransfer verbreiten, weil sich die Reproduktion der Innovation noch nicht getrennt vom ingenieurtechnischen Geschick als Schema fixieren läßt. Als ein frühes Beispiel dafür läßt sich der Typ des herumwandernden Mühlenbauers betrachten, der dafür sorgte, daß die Maschinen in den verschiedenen Betrieben funktionstüchtig blieben. Vgl. C.Matschloß: Große Ingenieure. Lebensbeschreibungen aus der Geschichte der Technik. München 1937. S.106. Symptomatisch für die Abhängigkeit der Reproduktion innovativer Technik von der Verfügbarkeit damit vertrauter Personen ist auch der Weg, auf dem in der Anfangszeit der Geschichte der doppelt wirkenden Dampfmaschine versucht wurde, das neue Wissen auszuspionieren oder Leute abzuwerben, die an den Entwicklungsarbeiten und an der Montage der ersten Exemplare der Maschine beteiligt waren. Es gab nur wenige Personen, die den neuen Antriebsmotor am Bestimmungsort montieren und in Gang setzen konnten. Watt mußte oftmals selbst Hand anlegen, um die Maschinen zum Laufen zu bringen (vgl. H. L. Sittauer, a.a.O., S.53, 72-76; H.Zwahr: Proletariat und Bourgeoisie. Köln 1980. S.74.). Ähnliches läßt sich zum Dieselmotor sagen: „Je nach Geschick der beteiligten Ingenieure oder Monteure liefen die Maschinen schlechter oder besser.“ Nach Meinung eines Besitzers dieses Motors wäre es gut gegangen, „wenn man einen Monteur von Augsburg und einen Hochschulprofessor fortwährend zur Hand“ gehabt hätte. E.Diesel: Diesel. Der Mensch, das Werk, das Schicksal. Hamburg 1937. S.345.
- 82 Georg Simmel, der auch der Vergesellschaftung der Arbeitsverhältnisse große Aufmerksamkeit widmete, betrachtete die Trennung zwischen persönlichen und sachlichen Seiten in der Beziehung zwischen Unternehmer und Beschäftigten als einen Schritt, der dem Arbeitnehmer mehr

den in der Einleitung geäußerten Gedanken zurückzukommen, Anhaltspunkte für strategische Orientierungen der Arbeitsprozesse von einer zentralen Instanz aus gegeben.

Freiheit gäbe. Die Lösung der ursprünglich engen Bande zwischen Person und Leitung könne auch befreiend wirken. Hierarchische Beziehungen erhielten dadurch nämlich den Charakter technischer Notwendigkeit, so daß mit einer untergeordneten Position nicht mehr automatisch das Gefühl persönlicher Unterdrückung verbunden sein müsse. „Es kommt darauf an, die Sache und die Person so zu scheiden, daß die Erfordernisse der ersteren, welche Stelle im gesellschaftlichen Produktions- oder Zirkulationsprozesse sie auch der letzteren anweisen, die Individualität, die Freiheit, das innerste Lebensgefühl derselben ganz unberührt lassen.“ G.Simmel: Philosophie des Geldes. Berlin 1977. S.364.

---

BdWi-Verlag

Siegfried Greif, Hubert Laitko  
Heinrich Parthey (Hg.)  
**Wissenschaftsforschung**

Jahrbuch 1996/1997

**Sonderdruck**

Mit Beiträgen von:

*Siegfried Greif • Christoph Grenzmann*

*Claudia Herrmann • Gunter Kayser*

*Karlheinz Lüdtke • Werner Meske*

*Heinrich Parthey • Roland Wagner-Döbler*

*Manfred Wölfling • Regine Zott*

Forum Wissenschaft  
Studien **40**

---

**Wissenschaftsforschung:** Jahrbuch ... / Siegfried Greif; Hubert  
Laitko ; Heinrich Parthey (Hg.). Mit Beitr. von Siegfried Greif ... -  
Marburg : BdWi-Verl., 1998

(Forum Wissenschaft : Studien ; Bd. 40)

ISBN 3-924684-85-5

Forum Wissenschaft Studien

*Umwelthinweis:*

Umschlag und Innenteil diese Buches sind auf  
chlorfrei gebleichtem Zellstoff gedruckt

Verlag: BdWi-Verlag — Verlag des Bundes demokratischer Wissen-  
schaftlerinnen und Wissenschaftler (BdWi) [VN 11351]  
Postfach 543 • D-35017 Marburg  
Gisselberger Str. 7 • D-35037 Marburg  
Tel. (06421) 21395 • Fax 2 46 54

© BdWi-Verlag Marburg, 1. Aufl. — 1998  
Alle Rechte vorbehalten  
Druck: Digital PS Druck, Frensdorf

Preis: 38,00

ISBN 3-924684-85-5

**BdWi-Verlag**

Dieses Buch ist urheberrechtlich geschützt. Jegliche, auch teilweise  
Nach- und / oder Abdrucke bzw. Vervielfältigungen oder sonstige  
Verwertungen des in diesem Buch enthaltenen Textes sind ohne  
schriftliche Genehmigung des Verlages unzulässig. Die Rechte am  
Text in seiner Gesamtheit liegen ausschließlich beim Autor bzw. der  
Autorin oder bei den in den Quellennachweisen genannten Perso-  
nen, Verlagen oder Institutionen.