

Werner Rammert

Technik und Innovation

The Technical University Technology Studies
Working Papers

TUTS-WP-1-2008

Technik und Innovation

Werner Rammert

Technik und Innovation sind zentrale Institutionen in Wirtschaft und Gesellschaft. Bei vielen Klassikern der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften bestand darüber kein Zweifel. Doch tauchen diese Begriffe in den gegenwärtigen Theorien der Ökonomie und Soziologie kaum auf. Ebenso fehlen sie in vielen Einführungen, Hand- und Wörterbüchern. Wenn Technik und Innovation zum Gegenstand gemacht werden, bleiben sie meistens peripher, werden z.B. nur als externe Größen gesellschaftlichen Wandels oder als Randbedingungen wirtschaftlichen Entscheidens erfasst. Zentrale Themen sind sie nur für Bindestrich-Soziologien wie die Technik- und Industriosociologie oder Spezialökonomien wie die Innovationsökonomie und die Ökonomie technischen Wandels. Der Status eines soziologischen Grundbegriffs bleibt ihnen in der Regel verwehrt. Der folgende Beitrag will dem abhelfen.

Technik und Innovation werden als genuin soziologische Phänomene begriffen. Der Beitrag bietet gleichwohl eine Einführung in die Problematik und die Geschichte von Technik und Innovation aus einer breiten sozialwissenschaftlichen Sicht. Er gibt einen systematischen Überblick über die wichtigsten klassischen wie aktuellen theoretischen Ansätze. Zunächst werden im *ersten Kapitel* die beiden Begriffe ausführlich bestimmt und die Problemstellungen in einer Weise vorgestellt, dass der gesellschaftliche Zusammenhang zwischen Technik und Innovation sichtbar wird: Technik als sozial gemachte Sache, definiert durch Erwartungen an Wirksamkeit und Verlässlichkeit, geprägt durch Schemata der Technisierung, installiert als gefestigte Konstellation auf der statischen Seite, und Innovation als abweichendes wie kreatives Handeln, durch experimentelles Erproben und Re-Kombinieren umwälzender Prozess, der durch hohe Ungewissheit und Offenheit gekennzeichnet ist, auf der dynamischen Seite. Im *zweiten Kapitel* werden dann Technik und Innovation als einerseits grundlegende und andererseits sich im Hinblick auf institutionelle Einbettung und Werteordnung wandelnde Phänomene in der Geschichte der Gesellschaft beschrieben. Thema des *dritten Kapitels* sind die verschiedenen theoretischen Zugänge zu technischem Wandel und gesellschaftlicher Innovation. Im ersten Abschnitt werden Karl Marx, William F. Ogburn, S. Colum Gilfillan und Joseph Schumpeter als Klassiker der sozialwissenschaftlichen Technik- und Innovationsforschung vorgestellt und ihre wesentlichen Beiträge herausgestellt. Im zweiten Abschnitt werden ausgewählte aktuelle Theorieansätze zwischen Ökonomie und Soziologie so präsentiert, dass man die Grundzüge ihrer Argumentation kennenlernen und die kritischen oder konstruktiven Bezüge zueinander erkennen kann. Die Ansätze reichen von der Theorie der rationalen Technikwahl bis hin zu Modellen der Technikgenese und der Innovationspfade. Sie sind unter dem Gesichtspunkt geordnet, welcher bei ihnen jeweils besonders zählt, wenn es um die Prägung oder Erklärung der technischen Entwicklung oder Innovationsverläufe geht: „Gewinnmaximierung und Märkte“ oder „Geschichte und kritische Ereignisse“, „Herrschaft und Interessen“ oder „Projekte und kulturelle Deutungen“, „Institutionen“ oder „Akteurkonstellationen“. Der Beitrag schließt im *vierten Kapitel* mit der knappen Skizze einer Forschungsperspektive für Prozesse gesellschaftlich-technischer Innovation.

1. Das Problem der Technik und die Paradoxie der Innovation

Technik wird in der Gesellschaft gern als etwas Gegebenes angesehen, eine verlässliche Sache wie das Dach („tectos“) über dem Kopf, eine verfügbare Ressource wie das Auto vor der Tür oder ein funktionierendes Infrastruktursystem wie das Netz der Stromversorgung. Werkzeuge und Textilien, Maschinen und Flugverkehr werden im gegenwärtigen Alltag ebenso selbstverständlich benutzt wie das Wasser zum Bewässern von Plantagen und Kühlen von Kraftwerken und der Boden zum Bebauen mit Straßen und Städten und zum Ausbeuten seiner Erze und Energieträger. Die Selbstverständlichkeit, mit der die technischen Dinge und Infrastrukturen im sozialen Handeln vorausgesetzt werden, hat häufig zu den falschen Annahmen verführt, die Technik käme nur als äußere Bedingung der Gesellschaft oder exogener Faktor der Wirtschaft in Betracht, das Technische sei möglichst auf materielle Geräte und Maschinen einzuschränken und diese seien nur als wertfreie Mittel für wirtschaftliche, militärische und andere soziale Zwecke zu behandeln.

Die Technik ist jedoch nichts natürlich Gegebenes: Sie ist weder „unser Schicksal“ noch naturwüchsiger „technischer Fortschritt“. Sie ist auch keine abstrakte geschlossene Ganzheit, weswegen wir hier von den konkreten Techniken im Plural sprechen. Die Techniken werden gesellschaftlich produziert und künstlich gemacht. An ihrer Genese und Gestaltung sind viele Akteure beteiligt, die ihr als Entdecker und Erfinder, als Ingenieure und Unternehmer, als Patentanwälte und Ministerialbeamte, als Konsumenten und politisch Bewegte Schwung, Dauer und Richtung geben, ohne ihre gesamte Entwicklung im engeren Sinn steuern zu können. An ihren variantenreichen und verbesserten Formen kann man erkennen, dass sie mit Plan für einen Zweck entworfen („Projekt“, „Konstruktion“) und mit Kunstfertigkeit gemacht und in Gang gesetzt („Artefakt“, „mechanicus“, „Ingenieur“) werden. Das unterscheidet den natürlichen Bau der Wabe durch die Biene von der Vielfalt der von Menschen konstruierten Gebäude, von den Wellblechhütten bis zu den Marmorpalästen, von den klimatisierten Hochhäusern bis zur ökologischen Stadtvilla.

Die technischen Werke sind soziale Tatsachen. Sie sind es als sozial gemachte *Sachen* (Artefakte, Technostruktur) und als Bezugspunkte sozialen Tuns (technikbezogenes Handeln: Konstruktion von, Interaktivität mit und Delegation an Technik). Die sozial gemachten Sachen, wie die Verkehrsnetze, die Produktionsmaschinerien und die Internetprotokolle, sind ebenso zu den sozialen Tatsachen zu zählen wie die Regelwerke des bürgerlichen Rechts, die Organisationsarchitekturen moderner Unternehmen oder die Programme nachhaltigen Wirtschaftens. Sie beziehen sich wie diese auf das Handeln anderer und nehmen den Charakter sozialer Institutionen an, an denen sich weiteres Handeln orientiert. Sie unterscheiden sich von den anderen sozialen Institutionen dadurch, dass sie in physischen Trägermedien eingeschrieben, also versachlicht sind und dadurch bei Regelabweichung unerbittlicher und blinder als übliche menschliche Sanktionsinstanzen reagieren, mit unbestechlicher Funktionsverweigerung und körperlicher Verletzungsgefahr, zwischen Perfektion und Panne, garantierter Normalität und Katastrophe. Techniken sind versachlichte Erwartungen, eben Gesellschaft im Medium physischer Dinge und deren Aktivitäten und nicht im Medium menschlicher Körper und Handlungen. Die Gesellschaft steckt auch in der Maschine. Die Technostruktur ist Teil der Wirtschafts- und Sozialstruktur.

Das *technikbezogene Handeln* (Rammert 2007) bezieht sich auf den *Tat*-Aspekt der Technik als sozialer Tatsache. Es kommt auf dreierlei Weise ins Spiel: als Machen *von* Technik (Technikgenese und Technikgestaltung), als Machen *mit* Technik (instrumentelle Nutzung und spielerische Interaktivität) und als Mitmachen *der* Technik selbst (Automation, Assistenz, Verteiltes Agentensystem). Diese Typen technikbezogenen Tuns fallen unter die Kategorie sozialen Handelns, insofern sie sich auf die in anderen technischen

Werken eingeschriebenen Erwartungen und Werte und auf die anderen Typen technikbezogenen Tuns beziehen. Das Machen der Technik ist ein zugleich technischer und sozialer Konstruktionsprozess: Techniken werden absichtsvoll entworfen und kunstfertig hergestellt, um angestrebte Leistungen wirkungsvoll, dauerhaft und verlässlich erwartbar zu erzielen. An der Technikkonstruktion sind alternierende Projekte der Technisierung und konkurrierende gesellschaftliche Gruppen beteiligt, die Nutzungsvisionen, Leistungskriterien und Anwendungsszenarios immer wieder neu definieren und aushandeln.

Auch das Machen mit Technik, sei es in Situationen der Arbeit, der Nutzung im Haushalt oder der Interaktivität bei Spiel und Unterhaltung, beschränkt sich nicht auf den instrumentellen Vollzug, sondern provoziert einen Aushandlungsprozess zwischen eingeschriebenem Handlungsentwurf und vielfältigen Nutzerpraktiken, eine kulturelle Deutung oder Umdeutung des implizierten Sinns und eine interaktive Aneignung der Nutzungsfunktionen, die zu neuen technischen Konfigurationen führen kann (z.B. das halb abgesägte Dach eines PKW zum „Pick-up“, der Rechner zum Spielzeug und Kommunikationsmedium).

Das Mitmachen der Technik kann bei bestimmten avancierten Techniken beobachtet werden. Wenn neuerdings Roboterteams und Gruppen von Softwareagenten („Artificial Societies“) relativ selbständig Aufgaben ausführen und dabei untereinander kooperieren und sich arbeitsteilig organisieren, dann sind die „Belief/Desire/Intention“(BDI)-Vokabularien dieser künstlichen Agenten und die sozionischen Koordinationsmechanismen ihrer Systemarchitektur genauso zu studieren wie diejenigen menschlicher oder korporativer Akteure, die im Auftrag von Prinzipalen als deren Agenten relativ eigenständig Aufgaben lösen (Werle 2002; Schulz-Schaeffer 2007). Je mehr solche Aufgaben, wie optimale Produktionsorte und Transportwege zu suchen, beste Portfolios von Wertpapieren zusammenzustellen oder die Leistungen von Managern und Mitarbeitern zu evaluieren, an solche technische Agenturen delegiert werden und je höher der Autonomiegrad eingestellt ist, der ihnen bei der Informationssuche, beim Erstellen persönlicher Profile und beim Lernen durch fallbasiertes Schließen zugestanden wird, desto zwingender wird es für die Soziologie, Techniken nicht nur als soziale Institutionen, sondern auch als soziale Akteure in hybriden Systemen zu untersuchen (Rammert 1998).

Das Herstellen technischer Werke z.B. ist weder ein geniales Ideenfinden, noch ein bloßes Problemlösen, und auch kein bezugsloses Basteln. Technisches Machen ist ein besonderes soziales Handeln, das sich kreativ, kombinierend und experimentierend an Sinn in vielfältigen Bezügen orientiert: Es wird dabei - wie vermittelt auch immer - auf irgendeinen Gebrauchssinn hin projiziert. Es wird – wie bei vielen sozialen Prozessen (Mode, Marktverhalten, Sozialisation) – anderes Verhalten und Handeln imitiert oder davon kreativ abgewichen. Es werden entdeckte Ereignisse oder Effekte auf nützliche Funktionen hin untersucht (Stromimpulse – Tonübertragung; Immunreaktion – Impfung). Es werden beabsichtigte Wirkungen gesteigert, unbeabsichtigte und störende möglichst ausgeschlossen (Einkapselung von Geräten; De-bugging von Software). Es werden Leistungen auf Wirkungssteigerung und Ressourcenersparnis hin verglichen und bewertet. Das Ergebnis ist ein Schema der *Technisierung* von Abläufen jeglicher Art, das dann als Habitualisierung (körperliche Automatismen) im Medium menschlichen Verhaltens, als Mechanisierung im Medium physischer Wirkungen und als Algorithmisierung im Medium symbolischer Operationen ausgedrückt und eingeschrieben werden kann, wie das Schema des Webens in Handwebtechniken, mechanische Webstühle und in Steuerungscodes auf Lochkarten oder wie das Schema des Kalküls in Form von eingeübten Rechentechniken, mechanischen Rechenmaschinen und symbolisch codierten Rechenprogrammen.

Technisierung als sozialer Prozess beinhaltet, Abläufe zu vereinfachen, sie in einem Trägermedium einzuschreiben, sie auf Dauer zu stellen und sie zu komplexen Technostrukturen zu kombinieren, um erwartete Wirkungen zu erzielen. In den Parametern und Prozessen der Technisierung stecken generalisierte gesellschaftliche Erwartungen, wie die auf Vereinfachung, Entlastung, Ersatz, Steigerung oder Stabilisierung. Technisierung im engeren Sinn bedeutet, unter Absehen von anderem Sinn – ökonomischem Gewinn, militärischer Stärke, moralischen Bedenken oder schlimmen sozialen Folgen – also durch bewussten Sinnverzicht Schemata und Mittel der Wirksamkeit zu erstellen und deren Leistungsfähigkeit zu steigern. Die Techniken können jedoch niemals nur „Mittel an sich“ sein, sondern sind - bewusst oder unbewusst - immer schon mit einem „Um zu“, einer oder mehreren Zwecksetzungen, Sinnvorstellungen oder gesellschaftlichen Erwartungen verbunden. Wie wir noch in Abschnitt 3.2 sehen werden, bedeutet das nicht, dass die neuen Techniken nur der Nachfrage der Märkte und Militärs folgen („technology pull“) und sie auch nicht umgekehrt als neutrale Mittel und neue Möglichkeiten allein von Wissenschaft und Technologie entwickelt und vorgegeben werden („technology push“), sondern dass sich in lockeren Interaktionen zwischen Technikerzeugern und Technikverwendern engere Kopplungen von technischen Potentialen und gesellschaftlichen Projekten ergeben („rekursive Innovation“), die sich als technisch-ökonomische Paradigmen verfestigen und zu Pfaden der Technikentwicklung verstetigen.

Das Problem der Technik kann also darin gesehen werden, dass ihre sachliche Erscheinungsform leicht ihre soziale Form als Schema der Technisierung verbirgt – sei es aus Furcht vor einer „Versachlichung“ oder „Verdinglichung“ des Sozialen oder umgekehrt vor einer „Sozialisierung“ oder „Anthropomorphisierung“ der Sachen – und damit den Weg zu einer soziologischen Analyse der vielen Techniken verbaut, wie sie als soziale Tatsachen das Handeln in Wirtschaft und Gesellschaft, in Arbeit und Alltag orientieren und wie sie selbst in den verschiedenen Formen des technikbezogenen Handelns hervorgebracht, genutzt und verändert werden.

Innovation wird gern im Gegensatz zur Technik als ein modernes Phänomen angesehen. Das gilt gleichwohl für die engere technische Neuerung wie auch für die gesellschaftliche Innovation. Der tempobetonte Rhythmus technischer Innovation startet demnach mit der Industriellen Revolution. Seitdem ist die Kette der Erfindungen von Antriebstechniken (Dampfmaschine, Dieselmotoren, Elektromotoren), Arbeitstechniken (Spinn-, Web-, Werkzeugmaschinen) und Transporttechniken (Dampfschiffahrt, Eisenbahn, Lastkraftwagen) nicht abgerissen. Diese rein technischen Innovationsschübe wären ohne die gleichzeitig stattfindenden institutionellen Innovationen des modernen Kapitalismus nicht denkbar. Man denke an die Institutionalisierung des Systems der Lohnarbeit, die rechtliche Absicherung freier Märkte für Güter und Arbeitskräfte, die Einrichtung technisch effizient organisierter Betriebe und die Gründung rein an rational berechenbarem Gewinn orientierter Unternehmen. In der gegenwärtigen Globalisierung ergreift der Wettbewerb der Innovationen alle Bereiche, von der Schulbildung über die wissenschaftliche Forschung bis zu Politiken der Vorausschau, der Prioritätensetzung, der Förderung und des Transfers. Das Zusammenspiel aller Elemente im nationalen Innovationssystem wird heute zum kritischen Faktor für Macht und Reichtum der Nationen angesehen (Nelson 1993; OECD 2001). Die Neuzeit beginnt jedoch schon früher, und die Neuerungen sind nicht nur auf diejenigen in Technik und Wirtschaft beschränkt. Sie beginnt, als dem Alten bewusst das Neue oder das Erneuerte gegenübergestellt wurde, als die Entdecker neugierig die Grenzen der bekannten alten Welt überschritten und als die Forscher und Gelehrten die alten Autoritäten und Methoden aufgaben und am Himmel wie auf Erden eine neue Weltsicht riskierten.

Die Neuerung, auch die technische Neuerung, ist ein durchgängiges Problem in der Geschichte der Gesellschaften. Joseph Schumpeter hat das grundlegende Paradox der Innovation mit seiner Formulierung von der „kreativen Zerstörung“ auf den Begriff gebracht: Das Neue stellt das Alte und Bewährte in Frage; Innovation trifft auf Tradition, zerstört sie oder scheitert selbst; Neuerer überschreiten rücksichtslos die Grenzen des sozialen und territorialen Raums, der Werte und des Wissens. *Innovatives Handeln* kann demnach als ein von den Normen und Werten abweichendes Handeln (Merton 1968), als ein die Institutionen und Traditionen in Frage stellendes und umwälzendes Handeln wie bei Marx und als ein kreatives und die Beziehungen und die Bedingungen experimentell erprobendes Handeln wie bei Dewey (Joas 1992) bestimmt werden. Gegenüber der Selbstverständlichkeit und der festen Erwartbarkeit der etablierten Techniken sind Innovationen also durch hohe Ungewissheit und Offenheit gekennzeichnet.

Genau diese Ungewissheit innovativen Handelns und seiner Folgen hat lange Zeit dafür gesorgt, dass es sich nur im Schutz klösterlicher Mauern oder unter der Kontrolle mächtiger Zünfte im Mittelalter ereignen und institutionell eingehegt stattfinden konnte. Und auch nach seiner Freisetzung im modernen kapitalistischen Wirtschaftssystem wird das innovative Handeln mit seiner unberechenbaren Radikalität wieder eingebettet, in die Institutionen akademischer Forschung und industrieller Entwicklung. Gegenwärtig lassen sich erneut Tendenzen beobachten, dass die Innovationen die räumlichen Grenzen des Labors und die institutionellen Grenzen akademischer Wissenschaft überschreiten und den von den Unternehmen und Industrien kontrollierten Innovationsrhythmus sprengen. Auf der einen Seite werden Universitäten und Grundlagenforschung einem kommerziellen Regime der Förderung, Patentierung und Anwendungsorientierung unterworfen. Auf der anderen Seite werden Industrie, Finanzen, Gesundheitssystem und andere gesellschaftliche Bereiche einer wissenschaftlich basierten Innovation und Evaluation unterzogen, die sie schlanker und innovationsfähiger machen soll: Diese Tendenzen der Institutionalisierung dauerhafter und systemischer Innovation – wiederum ein Paradox – scheinen auf der gesamtgesellschaftlichen Ebene auf eine *Innovation der Innovation* selbst hinzuweisen. Eine Innovationsforschung, die diese technischen und institutionellen Neuerungen zum Gegenstand macht, muss selbst die Grenzen alter Disziplinen überschreiten, sprich: innovativ und interdisziplinär sein. Die in diesem Beitrag referierten Theorien und empirischen Studien reichen daher von der Wissenschaftsforschung bis zur Wirtschaftssoziologie, von der Techniksoziologie bis zur Innovationsökonomie.

Technik und Innovation sind zwei für die Wirtschaft und Gesellschaft grundlegende Institutionen: Techniken bilden Bezugspunkte wie auch Infrastrukturen wirtschaftlichen Handelns. In den technischen Projekten schreiben sich die Interessen und Erwartungen der gesellschaftlichen Akteure ein, und in den versachlichten Technostrukturen orientieren, ermöglichen und beschränken sie – wie andere Sozialstrukturen und Institutionen auch – deren Handeln und Handlungskalküle. Innovationen bilden dazu gleichsam die Kehrseite: Im innovativen Handeln werden die institutionalisierten Ordnungen in Frage gestellt. Die Neuerung erweist sich als ein von den Normen abweichender und sozial ambivalenter zwischen Kreativität und Kriminalität schwankender Prozess. Dieser Strom der Neuerungen verlangt geradezu nach einem institutionellen Innovationsregime, das ihn einbettet und seine verzweigten Läufe so in ein kunstvoll verteiltes Innovationssystem kanalisiert, dass es gelingt, das *Paradox der Innovation* zu balancieren, nämlich die Kraft der Kreativität zu entfalten und gleichzeitig die Gewalten der Zerstörung einzudämmen. Ist die Technik als gesellschaftliche Institution ein sozialer Mechanismus, der durch kontrollierte Beziehungen, verlässliche Wiederholbarkeit und festgestellte Absicht einen hohen Grad an Erwartbarkeit erzeugt, so beginnt die Innovation als ein zunächst unkontrolliertes Ereignis,

in einmaliger Differenz und ohne klare Absicht - vielleicht aus Neugierde oder Zufall – und bringt einen Kranz von kognitiven Ungewissheiten und institutionellen Unsicherheiten für Wirtschaft und Gesellschaft mit sich. Deren Akteure reagieren darauf mit immer wieder neuen Versuchen der institutionellen Regelung und Rekonfiguration der Beziehungen.

Im Hinblick auf die technischen Innovationen kann man dann zugespitzt formulieren: Mit Technik wird die statische Seite der Gesellschaft angesprochen, nach der ihre Erwartungen, Beziehungen und Regeln gefestigt und auf Dauer gestellt erscheinen (versachlichte Sozialbeziehungen, verdinglichte Anschlusshandlungen, künstliche Kommunikation). Mit Innovation rückt die dynamische Seite der Gesellschaft in den Vordergrund, auf der sie sich verflüssigt und rekonfiguriert, indem ihre Regeln und Elemente zum Spielball kritischer und konstruktiver Praktiken, kreativer und destruktiver Kräfte werden (Erforschen, Spielen, Basteln und Experimentieren), wobei sich durch Kooperation und Konflikt neue gesellschaftliche Konstellationen, wie eine Internetfinanzwirtschaft (Knorr Cetina and Bruegger 2002) oder ein gentechnisch basiertes Gesundheitssystem (Rabinow and Dan-Cohen 2005), entwickeln.

2. Technik und Innovation in Geschichte und Gesellschaft

Techniken bilden den Kern dessen, was seit Marx als Produktivkräfte der Gesellschaft bezeichnet wird. Es sind eben nicht nur die physikalischen Techniken, sondern es ist – wie oben schon angedeutet – das gesamte Ensemble an Organisations- und Verfahrenstechniken (technische Arbeitsteilung, Fließfertigung), aber auch an Handlungs- und Zeichentechniken (körperliches Training, Disziplin, Schriftlichkeit, Rechnen), damit kompetent und leistungssteigernd umzugehen. Von den Archäologen kann man lernen, aus den ausgegrabenen Techniken (Pfeilspitzen, Tonscherben, Bewässerungsanlagen, Erzgruben) auf die Produktions- und Lebensweise früherer Gesellschaften zurück zu schließen. Zeichen auf den Geräten oder gar Bilder und Schriften erleichtern das Geschäft der Rekonstruktion natürlich erheblich. Insofern lassen sich Epochen der Technikgeschichte als – wenn auch grobe – Indikatoren für die Produktions- und Wirtschaftsweisen früherer Gesellschaftsformationen lesen. Der Form des technischen Handelns und der Techniken entspricht ein bestimmter Typ des Wirtschaftens und in gewisser Weise auch ein Typ von gesellschaftlicher Differenzierung und Koordination, ohne eine engere Determination zu unterstellen (Popitz 1989).

Techniken des Jagens und Tötens kennzeichnen die frühesten nomadischen Gesellschaften, aber auch Techniken des Züchtens und Zähmens von Pflanzen und Tieren. Techniken der Bewegung (Reittiere, Zelte) und des Aufbewahrens (Kochen, Tongefäße) spielten eine übergeordnete Rolle. In der Regel entwickelte sich eine Wirtschaft des Gabentausches (Polanyi 1978; Mauss 1990; Godelier 1999), die Güter zu teilen und die Bande der Solidarität durch reziproke Interaktion zu stärken. Rituelle Feste („Potlatsch“), Kriege wie auch Frauenraub gehörten ebenso dazu wie das Gemeineigentum. Solche Stammesgesellschaften organisierten sich in Verwandtschafts- und Clanstrukturen mit spezifischen Rollenteilungen, welche sich in ihrer vielfältigen Wiederholung als Typ segmentärer Differenzierung der Gesellschaft kennzeichnen lassen (Stämme Israels, der Indianer oder der alten Mafia-Clans).

Techniken des Bauens von Bewässerungsterrassen, Festungen und Städten markieren den Übergang zu sesshaften städtischen Zivilisationen in der Urbanen Revolution. Dazu gehören sowohl Fortschritte in der Landwirtschaft (Eisenpflug, Dreifelder-Wirtschaft) (White 1962) als auch in den Techniken des Aufschreibens, Planens und Verwaltens (Papier, Pictogramme, Archive) (Mumford 1977). Die größere Ansammlung vieler

Menschen erforderte eine Wirtschaft der staatlichen Zentralisierung und Umverteilung der Güter, die durch Zwangsleistungen (Fron) und Zwangsabgaben (Zehnt, Steuer) in Schatzkammern und Kornspeichern vom Staat gesammelt und nach Status und Not redistribuiert wurden (Polanyi 1978). Solche hierarchischen Gesellschaften organisierten sich in Ständen und Kasten, deren Ordnung und Zuweisung von Funktionen und Tätigkeiten durch religiöse Weltbilder legitimiert wurde. Es bilden sich auf Befehl und Gehorsam, aber auch auf Pflichten (Treue, Schutz) beruhende Sozialbeziehungen heraus. Von der Frühform des ägyptischen Gottesreiches über das mittelalterliche Feudalsystem bis zur asiatischen Bürokratie reichen die Beispiele für diesen Typ stratifikatorischer Differenzierung der Gesellschaft.

Wie sieht es mit dem Übergang zur modernen Gesellschaft in der Industriellen Revolution aus? Wie stellt sich hier der Zusammenhang zwischen technischen Neuerungen und gesellschaftlichen Innovationen genauer dar? Auf der einen Seite kann man eine Entfesselung der *technischen Produktivkräfte* (Landes 1969) beobachten: Die Techniken der Energiegewinnung machen sie mit Kohle und Dampftrieb frei von den natürlichen Grenzen menschlicher und tierischer Muskelkraft und den natürlichen Grenzen von Wind und Wasser bei der Mühlentechnik; die Techniken des Transports gewinnen im Vergleich zu Hansekogge und Pferdekutsche grenzenlose und gigantische Ausmaße mit Weltschiffahrt, Kanalsystemen und Eisenbahnverkehr. Mit Recht stehen im Zeitalter der Mechanisierung die Techniken der Arbeitsmaschinen im Zentrum des Wandels hin zur industriellen Produktion: Diese technische Erfindung ersetzt die menschliche Handwerklichkeit, das Spinnen und Weben im Textilgewerbe, das Fräsen, Drehen und Bohren im Maschinenbau durch eine intelligente mechanische Vorrichtung und ermöglicht dadurch eine ungeahnte Ausdehnung der Arbeitszeit, eine übermenschliche Beschleunigung des Maschinentaktes und insgesamt eine Intensivierung und Steigerung der Produktion.

Auf der anderen Seite kann man mit gleichem Recht auf die *institutionellen Innovationen* des modernen Industriekapitalismus hinweisen: Technik, Wirtschaft und Wissenschaft werden aus den institutionellen Fesseln der alten, traditionellen oder feudalen Gesellschaft befreit. Die technische Neuerung gewinnt ihre eigene beschleunigte Dynamik, weil sie vorher von den moralischen Regeln der Zunftordnungen, den religiösen Werten der konservativen Kirche und den Herrschaftsinteressen des Adels verhindert oder verbannt worden war. Erst in der modernen Gesellschaft werden die Wertsphären und Handlungen in institutionelle Bereiche voneinander getrennt, das staatliche Handeln von der Religion, das wirtschaftliche Handeln von Staat und Moral und das wissenschaftliche Handeln von den praktischen und schönen Künsten wie von der kirchlichen Autorität. Dieser Typ funktionaler Differenzierung der Gesellschaft erlaubt eine Binnenorientierung in den institutionalisierten Teilsystemen, eine dadurch bewirkte Steigerung der jeweiligen Leistungen, wie politische Macht in der demokratischen Öffentlichkeit, wirtschaftlichen Reichtum über Marktwettbewerb und wissenschaftliche Erkenntnis durch autonome Forschung. Modernisierungstheorien von Max Weber bis Niklas Luhmann sehen in diesen gesellschaftlichen Innovationen die Ursache für den berühmten „Take off“ von Industrialisierung, Wirtschaftswachstum und wissenschaftlich-technischen Fortschritten.

Wenn – wie gesagt – Technik und Institutionen zwei Seiten ein und derselben gesellschaftlichen Konstellation sind und wenn Technik für den Aspekt der Routine und erwartbaren Ressource und Innovation für die Seite der kreativen Abweichung und des unsicheren Potentials steht, dann ließe sich die rasante Dynamik technischer Entwicklungen im modernen Kapitalismus durch folgende Mechanismen erklären: a) kulturelle Betonung des Neuen gegenüber dem Alten (Umwertung), b) institutionelle Neueinbettung („Re-embeddesness“ anstelle von Freisetzung). Demnach kann – wie die Technikgeschichte auch belegt – davon

ausgegangen werden, dass es in der vormodernen Gesellschaft, z.B. im europäischen Mittelalter, in der Regel mit den üblichen Schwankungen genauso viele technische Neuerungen gegeben hat wie in der modernen Gesellschaft. Reine Erfindungsschübe können also nicht allein die industriekapitalistische Revolution ausgelöst haben. Es müssen, wenn Routine- und Innovationshandeln gleich verteilt sind, noch andere Änderungen hinzukommen, nämlich die betonte Hervorhebung des Neuen und die Neugliederung der Grenzziehung. An einem Beispiel aus der Musik kann der Mechanismus dieses Rhythmuswechsels veranschaulicht werden:

Verteilung: Routine – Routine – Innovation – Routine – Routine – Innovation

Betonung :

Vormodern: **Routine – Routine – Innovation – Routine – Routine – Innovation**

Taktung : //1. Takt _____ //2. Takt

Modern : Routine – Routine – **Innovation** – Routine – Routine – **Innovation** – Routine

Taktung : //1. Takt _____ //2. Takt

Wenn Sie es laut lesen, entsteht allein durch die unterschiedliche Betonung und Phrasierung bei gleicher Elementverteilung (2:1) ein unterschiedlicher Rhythmus, zuerst (vormodern) ein langsamer, dann (modern) ein beschleunigter, wie der Drei-Viertel-Takt des Walzers: „**tam** – ta – ta“. Wertakzentuierung des Neuen und Umbettung in Wirtschaft und Wissenschaft bringen die alten Verhältnisse gleichsam zum Tanzen.

Hinter der Umwertung können so verschiedene Phänomene wie der Wechsel von traditionaler zu rationaler Lebensführung (Weber 1976), von Kommunitarismus zu Besitzstandsindividualismus oder von moralischer zu politischer Ökonomie (Polanyi 1978) gesehen werden. Auch die institutionelle Re-Organisation lässt sich je nach Theoriehintergrund mal als Ausdruck der Kapitalverwertung (Marx 1969), der Marktvergesellschaftung (Polanyi 1978), der funktionalistischen Differenzierung (Luhmann 1987) oder der reflexiven Modernisierung (Beckmann and Betsholtz 2000) verstehen. Einige dieser Erklärungen, von Klassikern des Fachs wie von neuen Richtungen der Wirtschaftssoziologie, werden im folgenden Abschnitt über die theoretischen Zugänge etwas ausführlicher behandelt. Hier gilt es abschließend nur noch festzuhalten,

- dass sich Techniken und ihr Wandel über längere Zeitperioden annäherungsweise gut als Indikatoren für grundlegende Veränderungen der gesellschaftlichen Organisation des Wirtschaftens heranziehen lassen,
- dass die physikalischen Techniken und auch die Produktionstechniken nur einen Teil der wirtschaftlich relevanten Produktivkräfte und Kompetenzen bilden,
- dass technische und gesellschaftliche Innovationen in einem konstitutiven, wechselseitig nicht ohne einander auftretenden Zusammenhang stehen,
- dass es zu allen historischen Zeiten und in allen gesellschaftlichen Formationen immer schon stabilisiertes technisches Verhalten und abweichendes innovatives Verhalten nebeneinander gegeben hat und
- dass Unterschiede der Innovationsdynamik aus ihrer unterschiedlichen Betonung und institutionellen Umbettung erklärt werden können.

Damit wird auf der einen Seite das hartnäckig sich haltende Bild einer Eigendynamik der technischen Entwicklung, einer autonomen Technik-außer-Kontrolle (Winner 1977) und eines Technikdeterminismus gegenüber Wirtschaft und Gesellschaft als unhaltbar zurückgewiesen. Damit wird aber auch auf der anderen Seite die beliebte sozialwissenschaftliche Sicht einer wirksamen gesellschaftlichen Steuerung der Innovation, einer geregelten sozialen Kontrolle der Techniken und einer sicheren institutionellen Einbettung technischer Entwicklungen in Frage gestellt. In den folgenden Abschnitten wird es daher immer wieder darum gehen, wie Probleme der Technik und Paradoxien der Innovation so behandelt werden können, dass der Wechsel von technischer Erwartungssicherheit zu innovativer Verunsicherung erklärbar und das Zusammenspiel von technischen und nicht-technischen Momenten in Wirtschaft und Gesellschaft verständlich wird.

3. Theoretische Zugänge zu technischem Wandel und gesellschaftlicher Innovation

3.1 Sozialwissenschaftliche Klassiker: Marx, Ogburn, Gilfillan und Schumpeter

Der praktische Philosoph, Kenner der Technologie und Kritiker der Politischen Ökonomie *Karl Marx (1818-1883)* hat entscheidende Beiträge zur Soziologie der Technik und der Innovation geleistet (Rosenberg 1976). Auf ihn gehen so unterschiedliche Theorien zurück wie die Praxis-Anthropologie entfremdeter Arbeit, die historische Makrosoziologie technisch-gesellschaftlichen Wandels, die Industriesoziologie technisch-organisatorischer Veränderungen und die Sozioökonomie technischer Innovation. Die Erklärung des technischen Wandels (Elster 1983) und seiner Folgen bilden zentrale Bereiche seines umfangreichen Werks, besonders in den drei Bänden des „Kapitals“.

In seinen Frühschriften hat der junge Marx eine Anthropologie entwickelt, nach der das praktische Tun der Menschen im Vergleich zum Denken darüber die Grundlage für ihre Lebensweise bildet (Marx 1844). Damit wurden die Arbeit, die wirtschaftliche Produktion und die geschlechtliche Reproduktion für das Gattungswesen Mensch in den Vordergrund gerückt. Arbeit als planvolle Tätigkeit unterscheidet den Menschen vom Tier – man erinnere sich an die Biene und den Bau der Wabe! In der Arbeit entäußert sich (Pläne in Handlungen), vergegenständlicht sich (Handlungen in Artefakte), entfremdet sich (Differenz von Plan und Produkt) und erschafft sich (Aneignung) nicht nur der einzelne Mensch, sondern die gesamte Gesellschaft. Marx leistet damit den wichtigen Schritt von der anthropologischen Gattungs- zur historischen Gesellschaftstheorie. Er macht die materiellen Bedürfnisse statt der Ideen zum Motor der gesellschaftlichen Geschichte; er sieht in der Geschichte der Technologien und der Industrien statt der Philosophien und Ideologien wesentliche Gradmesser gesellschaftlichen Wandels; er kritisiert das Privateigentum an Produktionsmitteln als Ursache struktureller Entfremdung der Arbeiter vom Produkt (Warencharakter), vom Prozess (unter dem Kommando des Kapitalisten), von sich selbst (schöpferische Identität) und von den anderen Menschen (zwischenmenschliche Solidarität). Diese gesellschaftstheoretische Wende erklärt, warum sich ein Philosoph dem intensiven Studium der politischen Ökonomie und der Technologie seiner Zeit gewidmet hat.

Wenn nicht Ideengeschichten (Antike, Christentum, Renaissance, Rationalismus, usw.) die Epochen markieren, sondern der Wandel der Produktionsweisen, bedarf es einer Makrotheorie gesellschaftlichen Wandels. Marx begreift die Geschichte der Gesellschaft als einen widersprüchlichen und konflikthaften Prozess, in dem sich die technischen Kräfte und Kompetenzen („Produktivkräfte“) auf der einen Seite und die sozioökonomischen

Bande und Beziehungen („Produktionsverhältnisse“) auf der anderen Seite wechselseitig bedingen und phasenweise zu Neuem anstoßen oder in ihrem Potential behindern. Die kapitalistische Produktionsweise entfesselte anfangs die in der Feudalgesellschaft schlummernden Potentiale der mechanischen Künste (Uhr- und Rechenwerke, Pumpen, Mühlen) in einem bis dahin unbekanntem Ausmaß und Tempo, während diese industrielle Revolution der Produktivkräfte wiederum die institutionellen Fesseln der Feudalherrschaft sprengte. Einer auf Landbesitz, Rittermacht und Adelsprivileg beruhenden Hierarchie folgte eine auf Kapital, Söldnerheer und bürgerlichem Eigentumsrecht begründete Herrschaft.

Technik wurde von Marx schon in einem weiteren Sinn als produktives Potential bestimmt, das neben technischen Mitteln und Verfahren technologisches Wissen, Kompetenzen der Arbeitskräfte und technische Formen der Teilung und Organisation der Arbeit umfasst. Die technische Entwicklung wird nicht als eine der Wirtschaft und Gesellschaft äußere Größe angesehen (exogener Faktor in ökonomischen Produktionsfunktions- und Wachstumstheorien, Umwelt in soziologischen Kommunikations- und Gesellschaftstheorien), sondern als eine genuin gesellschaftliche Größe behandelt. Neuere Analysen der „nachindustriellen Gesellschaft“ (Bell 1979), der „programmierten Gesellschaft“ (Touraine 1972), der „Risikogesellschaft“ (Beck 1986) und der „Netzwerkgesellschaft“ (Castells 1996) schließen immer noch an dieses in der Marxschen Makrotheorie technisch-gesellschaftlichen Wandels entwickelte Muster der zwei Achsen und ihrer Interdependenzen an. Die Kritik richtet sich im Kern gegen eine zu enge deterministische Kopplung und gegen eine Unterschätzung kollektiven Handelns, kultureller Legitimation und sozialer Konfliktdynamik (Dahrendorf 1957; Habermas 1976).

Wer etwas Genaueres über den Wandel der Produktionsverhältnisse - von Technik und Wirtschaft oder Arbeit und Herrschaft – wissen will, der muss sich auch auf die Ebene der Organisation sozialer Beziehungen der Arbeit begeben. Marxs Analysen des technisch-organisatorischen Wandels sind ein frühes Beispiel dafür, wie das Studium der Arbeitsformen, der einzelnen Techniktypen und des Regimes der Fabrikorganisation Auskunft über diesen Wandel gibt. Im ersten Band des „Kapital“ analysiert er ihn als einen technisch vermittelten Formenwandel der kapitalistischen Sozialbeziehung: als Übergang von der „*Kooperation*“, die er präzise als „das Wirken einer größeren Arbeiteranzahl zur selben Zeit, in demselben Raum (...) zur Produktion derselben Warensorte, unter dem Kommando desselben Kapitalisten...“ definiert (Marx <1867> 1969: 341), über die „*Teilung der Arbeit und Manufaktur*“, die er als Zerlegung der Tätigkeiten, Spezifizierung der Arbeitsinstrumente und Kombination in einem Gesamtmechanismus beschreibt, bis hin zur „*Maschinerie und große(n) Industrie*“. Deren Kennzeichen sah er in der Ersetzung des Arbeiters durch einen Mechanismus, der mit einer Mehrzahl von Werkzeugen gleichzeitig operiert, in dessen Kombination mit anderen Mechanismen zu einem gegliederten Maschinensystem und in dessen Antrieb durch Bewegungsmaschinen. Die Maschinerie wird nicht als ein rein sachtechnisches System, sondern als eine locker oder enger gekoppelte sozio-technische Konstellation von Menschen und Maschinen begriffen. Nicht das feste Datum der Technik, sondern das flexible Design dieser Konstellationen hat Folgen sowohl für die Wirtschaftlichkeit und Sicherheit des Produktionsprozesses als auch für die Menschlichkeit und Verträglichkeit der Arbeit. Industrie- und Organisationssoziologie haben immer wieder diese Prozesse technisch-organisatorischen Wandels unter Aspekten der Mensch-Technik-Beziehung, des Unfallrisikos und der betrieblichen Machtverhältnisse untersucht (Popitz, Bahrndt et al. 1957; Kern and Schumann 1984; Perrow 1987).

Für eine Sozioökonomik der Innovation hat Marx wichtige Vorarbeit geleistet. Rate und Richtung des technischen Wandels erklärt er durch gesellschaftliche Kräfte, nicht durch

eine technologische Eigendynamik. Die Wettbewerbssituation auf den Märkten beschleunigt den technischen Entwicklungsprozess auf zweierlei Weise: durch kostensenkende *Prozessinnovation* und durch qualitätssteigernde Produktinnovation. Je nach dem Verhältnis der Kosten für die Faktoren Arbeit oder Kapital wird die technische Innovation in Richtung arbeits- oder kapitalsparende Techniken gelenkt. Dadurch werden Mechanisierung, Automation und programmierte Steuerung vorangetrieben. Neben diese Prozessinnovationen treten zunehmend die *Produktinnovationen*, welche im Qualitätswettbewerb bei radikalen Innovationen ganz neue Märkte schaffen oder bei inkrementellen Innovationen dafür sorgen, dass Marktanteile vergrößert oder gehalten werden. Marx hatte schon einen vorzeitigen „moralischen Verschleiß“ von funktionstüchtigen Geräten und Systemen prognostiziert, falls die Produktzyklen durch geöffnete Märkte, raschere technische Fortschritte und stärkeren Konsumentendruck so verkürzt würden, dass sich das investierte Kapital für Produktion oder gar Forschung und Entwicklung nicht mehr amortisiert. Gegenüber den oligopolistischen Märkten für neue Pharmaprodukte geben die schnellen Generationswechsel bei Mobilfunk- und Internetprodukten dafür ein Beispiel.

Viele Grundideen von Marx, wie die von der Richtung des technischen Fortschritts, der Innovationskonkurrenz und des zyklischen Charakters sind von Schumpeter und der nachfolgenden Innovationsökonomie übernommen worden. Aus heutiger Sicht kann kritisiert werden, dass die Machtbeziehungen zwischen den Akteuren, z.B. den Verbänden der Unternehmer und den Gewerkschaften der Arbeiter (Lazonnick 1992), in ihrer historischen Dynamik nicht genügend gesehen wurden, dass den unterschiedlichen Formen der Institutionalisierung, z.B. den nationalen Regulations- und Innovationsregimen (Hall and Soskice 2001), zu wenig Rechnung getragen wurde und dass die kulturellen Prägungen der Technikgenese durch Ingenieurstraditionen und Nutzungsstile (Rammert 2002) unterschätzt wurden.

William F. Ogburn (1868-1959) und *S. Colum Gilfillan (1889-1987)* sind je auf ihre Weise in den 1930er Jahren in Chicago zu den soziologischen Pionieren einer Technik- und Innovationsforschung geworden. Ogburn hat im Rahmen seiner Forschungen zum gesellschaftlichen Wandel, die er schon mit demografischen und sozialstatistischen Methoden betrieb, Trends und Tempi der Entwicklung verschiedener gesellschaftlicher Bereiche festgestellt. Den Wandel erklärte er mit den beschleunigten Erfindungen und Neuerungen im Bereich der materiellen Kultur, die auf die langsameren Entwicklungen in den nicht-materiellen Lebensbereichen einen starken Anpassungsdruck ausübten. Diese Erklärung ist als These vom „Cultural Lag“, vom Hinterherhinken der kulturellen hinter der technischen Entwicklung (Ogburn 1957), bekannt und verbreitet worden. Weiterhin beschäftigte er sich mit der Ermittlung von Trends der technischen Entwicklungen und ihrer Folgen für die Gesellschaft. Seine regelmäßigen Trendreports für die US-amerikanische Regierung seit 1936, unter anderem über die Folgen des Radios oder der Luftfahrt (Ogburn 1936; Ogburn 1946), legten die konzeptuelle und institutionelle Grundlage für die Technikfolgenabschätzung und Technikbewertung, wie sie heute in fast allen Industrienationen verbreitet ist. Wegen seiner starken Betonung technischer Erfindungen und Neuerungen gegenüber den „sozialen Erfindungen“ wird Ogburn häufig als Vertreter eines technischen Determinismus kritisiert – wie auch der zum historischen Materialismus dogmatisierte Karl Marx, der frühe Lewis Mumford (Mumford 1963) und Lynn White (White 1962). Eine genauere Wiederlektüre seiner Schriften zeigt jedoch, dass er schon damals eine Theorie der „gesellschaftlichen Innovation“ vertrat (Braun-Thürmann 2005), in der die technische und die nicht-technische Seite der Innovation in ihrer Interdependenz gedacht und nicht als „technische“ oder „soziale Innovation“ gegenübergestellt werden.

Auch S. Colum Gilfillan hat den impliziten Technikdeterminismus seines Kollegen kritisiert. Ihm ging es vor allem um die sozialen Ursachen für technische Erfindungen, weniger um die Folgen. Er legte neben einer Erfindungsgeschichte der Schiffahrtstechniken vom Einbaum bis zum Dampfturbinenboot eine bahnbrechende „Soziologie der Erfindung“ (Gilfillan 1936) vor. Im Unterschied zu einem großen Wurf und geradlinigen Trend entdeckte er den *graduellen* und den *evolutionären Charakter* technischer Neuerungen, z.B. viele ähnliche Varianten an verschiedenen Orten und viele verschiedene kaum sichtbare graduelle Verbesserungen, Brüche und abrupte Sprünge in Entwicklungslinien und die selektive Wirkung unterschiedlicher Umwelten auf die Verläufe. Damit nimmt er manche späteren Konzepte der evolutionären Innovationsökonomie, der evolutionären Technikgeschichte (Basalla 1988) und der Pfadabhängigkeit vorweg (siehe 3.2). Eine zweite wichtige Einsicht war seine Auffassung von der technischen Entwicklung als einem *systemischen Prozess*; er betonte und konnte empirisch illustrieren, wie ganz verschiedene kleine Neuerungen erst in ihrer Interdependenz zu größeren Innovationen emergierten. Damit wurde er auch zum Vorläufer derjenigen Technik- und Innovationsforscher, welche die Technikentwicklung im Rahmen großer oder komplexer technischer Systeme betrachten (Hughes 1987). Insgesamt kann Gilfillan als ein wichtiger, aber noch wenig entdeckter Vorläufer der sozialwissenschaftlichen Technikgeneseforschung gelten, die sich ebenso wie er von Technikdeterminismus und Technikfolgenforschung abgewandt hat (Rammert 1993).

Joseph A. Schumpeter (1883-1950) kann als der bekannteste Klassiker der ökonomischen Innovationstheorie angesehen werden. Sein Name ist in aller Munde, wenn das Rufen nach Innovation wieder politische Mode und kulturelle Norm für alle Lebensbereiche ist. Selten wird dabei der zentrale Gehalt seines Ansatzes verstanden oder bedacht, wie er ihn in der Kurzformel von der Innovation als „schöpferischer Zerstörung“ (Schumpeter 1946) auf den Begriff gebracht hat, nämlich die Paradoxie der Innovation. Sie besteht darin, dass die Innovation unaufhörlich und unkontrollierbar Wirtschaftsstrukturen zerstört und gleichzeitig neue erschafft, d.h. dass auch Märkte, Forschungsfelder, Technologiedomänen, Produkte, Dienste, Unternehmen, Berufe und Arbeitsplätze zerstört und gleichzeitig neue erschaffen werden.

Was ist nach Schumpeter eine Innovation? Er bestimmt sie nicht emphatisch als geniale Neuschöpfung aus dem Nichts („*creatio ex nihilo*“), sondern einfach als „Neukombination“ bekannter oder „Andersverwendung“ von vorhandenen Produktionsmitteln der Wirtschaft (Schumpeter 1912). Aus seinen Beispielen ergeben sich folgende Typen von Neukombinationen:

- a) Produktinnovationen (neue Güter oder neue Qualität von Gütern),
- b) Prozessinnovationen (neue Produktions- oder Verfahrensmethoden),
- c) Marktinnovationen (neue Absatz- oder Bezugsmärkte),
- d) Beherrschungsinnovationen (Unternehmensverfassung, Trustbildung).

Seine Definition geht ähnlich wie diejenige von Ogburn über die engere technische Innovation hinaus, bleibt allerdings im Grunde auf die „privatwirtschaftliche Zweckmäßigkeit“ beschränkt. Der Grundgedanke der Neukombination ist eng mit dem evolutionären Mechanismus der Variation verwandt und wird im neo-schumpeterianischen Ansatz der evolutionären Ökonomie weitergeführt.

Wer ist der Akteur und Träger der Innovation? Dazu hat Schumpeter eine starke soziologische These vorgelegt, die weiterhin wirkt. Es ist die besondere soziale Kategorie des reinen Unternehmers („*entrepreneur*“), der im Unterschied zum berechnenden Kapitalisten und leitenden Manager – aber auch zum tüftelnden Erfinder – diese außeralltägliche Füh-

rungsfunktion übernimmt (vgl. Swedberg 2000). Es bedarf einer solchen nicht nur gewinnorientierten, sondern auch sendungsbewussten, ja charismatischen Unternehmerpersönlichkeit, um die radikale Neukombination gegen alle möglichen Fährnisse und Widerstände herbeizuführen. Situationen der Innovation sind nämlich im Vergleich zu regelmäßigen wirtschaftlichen Entscheidungen von äußerst hoher Unsicherheit gekennzeichnet. Rationale Verfahren, die bei den üblichen Unternehmensrisiken eine gewisse Planbarkeit, Berechenbarkeit und Vorhersagefähigkeit sicherstellen, reichen für das innovative Handeln im Unterschied zum organisatorisch effektiven Handeln der Manager und zum ökonomisch rationalen Handeln der Kapitalbesitzer nicht aus. Letztere Typen wirtschaftlichen Handelns können – wie wir wissen – Innovationen durch Bürokratie und Buchhaltung heftig hemmen (Rammert 1988). Das gilt im Grundsatz auch für die moderneren Formen des „Controlling“, die Eigeninitiative und kreative Abweichung gängeln, und der Unternehmenssteuerung nach „share-holder values“, die kurzfristige und sichere Gewinnabschöpfung gegenüber langfristiger und ungewisser Erneuerung begünstigt. Es bedarf eben einer soziologischen Erklärung für das innovative Handeln: Schumpeter hat es auf die soziale Herkunft aus besonderen Familien und Schichten zurückgeführt, die aus einer Mission heraus etwas Ungewöhnliches unternehmen, etwa im Sinne von Webers Protestantismus-These. Es sind soziale Schichten, die Leistung über Herkunft, Gewinn und Absicherung stellen (McClelland 1966). Es geht in erster Linie um gesellschaftlich sichtbare Projekte und nicht um ökonomische Profite, obgleich letztere dann auch nicht verschmäht werden.

Neben der nicht-ökonomischen Motivation innovativen Handelns ging es Schumpeter auch um dessen Folgen für die Wirtschaft. Innovatives Handeln einzelner Unternehmer bedeutet die Veränderung von eingespielten Gleichgewichtszuständen bei Produkten, Prozessen und Kombinationen, aber auch bei Qualitätsstandards, Marktaufteilung und Gewinnmargen. Haben die Innovatoren wirtschaftlichen Erfolg, dann ahmen andere nach („Imitatoren“) und wieder andere scheiden als innovationsschwache Unternehmen aus. Es verschieben sich die Faktoren hin zu neu eingespielten Markt-, Preis-, Qualitäts- und Produktionskombinationen. Schumpeter erklärt durch dieses innovative Handeln und seine Rückwirkungen den zyklischen Charakter der kapitalistischen Wirtschaftsdynamik (Schumpeter 1961). Er unterscheidet die kürzeren Konjunktur- und Produktzyklen von 4 bis 7 Jahren, in denen neue Produkte entwickelt werden oder einfache Verbesserungsinnovationen stattfinden, von den „Langen Wellen“, in denen sich alle 50 Jahre um *Basisinnovationen* herum die technologische Produktionsstruktur grundlegend erneuert. Die nach dem russischen Ökonomen Nikolai Kondratieff benannten und gemeinsam von Joseph Schumpeter und dem Nobelpreisträger Simon Kuznets ausgearbeiteten Kondratieff-Zyklen sehen folgende Abfolge empirisch bestätigt:

1. Erste industrielle Revolution von 1780 bis 1849 (Textil-, Eisenindustrie, Dampfkraft),
2. Industrielle Revolution von 1849 bis 1890 (Bessemer- Stahl, Eisenbahn, Dampfschiffe),
3. Wissenschaftlich-technische Revolution von 1890 bis 1940 (Elektrotechnische und Chemische Industrie) vor. Später wird sie ergänzt durch
4. Automation, Kernenergie und Massenmotorisierung im Zyklus von 1940 bis 1980 (Kuznets 1953; Mensch 1977).

Wie wir später sehen werden, fehlen seinem Modell der Innovationsdynamik und seiner Theorie innovativen Handelns noch viele Feinheiten, z.B. zum Zusammenhang von Invention und Innovation oder zu institutionellen Unterschieden nationaler Innovationssysteme. Aber Joseph Schumpeter bleibt zu Recht der große Klassiker der sozialökonomischen In-

novationstheorie: Bestand haben seine grundlegenden und treffenden Konzeptualisierungen, die Innovation als paradoxen, zyklischen und nicht-linearen evolutionären Prozess begreifen, und seine Unterscheidungen, vor allem die zwischen kurzfristiger Verbesserungs- und langfristiger Basisinnovation.

3.2 Theorieansätze der Gegenwart zwischen Ökonomie und Soziologie: Von der rationalen Technikwahl bis zu Technikgenese und Innovationspfad

Die Theorien technischen Wandels kennen viele disziplinäre Wurzeln: Ökonomie, Politikwissenschaft, Soziologie und Geschichte sind die wichtigsten. Ökonomische Theorien von Marx bis Nelson/Winter suchen im Kern die Rate und die Richtung der technischen Entwicklung zu erklären (Elster 1983). Sie fragen danach, unter welchen Markt- und Produktionsbedingungen und wie schnell sich neue Techniken („invention“) zu neuen Produktionskombinationen („innovation“) mit welchem Gewinn („return of investment“) durchsetzen und verbreiten („diffusion“) und in welchem Verhältnis arbeits-, kapital-, energiesparende oder anders zu charakterisierende Techniken von den Unternehmen gewählt werden. Sie lassen sich in neo-klassische Produktionsfunktions-Ansätze, neo-schumpeterianische Evolutions-Ansätze und historische, teils neo-marxistische Pfad-Ansätze aufteilen.

Politikwissenschaftliche Theoretiker fragen gern nach der „Macht“ der Technik und der Möglichkeit ihrer politischen Steuerbarkeit (Winner 1977; Böhret 1986; Naschold 1986). Sie wollen z.B. wissen, unter welchen Bedingungen die Technikentwicklung eine Eigendynamik gewinnt („Autonome Technik“ und „Technikdeterminismus“) und eine eigene Legitimation der politischen Herrschaft bringt („Technokratie“, „Sachzwang“, „Innovativität“) oder wie sie von den politischen Akteuren bewertet (Technikfolgenabschätzung und Technikbewertung) und bewusst in eine bestimmte Richtung gesteuert werden kann (Technologie- und Innovationspolitik).

In der Geschichtswissenschaft dreht sich die zentrale theoretische Debatte um die Frage, ob Technik die Geschichte treibt und die historischen Epochen trennt oder umgekehrt die historischen Kontexte über Leben und Lauf neuer Techniken bestimmen (Staudenmaier 1985). Historiker fragen u.a. danach, ob einzelne technische Neuerungen (Metallpflug, Dreifelderwirtschaft, Hochseeschiffe, Dampfmaschine) Produktivität, Bevölkerungswachstum, Erwerbsstruktur und Wirtschaftssektoren merklich verschieben oder in Kombination miteinander in Form technischer Revolutionen (agrарische, verkehrstechnische, industrielle, energie- und kommunikationstechnische) zu epochalen Veränderungen der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Verhältnisse führen. In umgekehrter Richtung wird von Technik- und Wirtschaftshistorikern untersucht, wie stark die Pfade technischer Entwicklung durch geschichtliche Prozesse geprägt sind, etwa durch die jeweiligen Zeitumstände, die hemmend oder förderlich wirken, oder durch die Selbstbezüglichkeit und Selbstverstärkung in der Zeit, die Pfadentwicklungen und Pfadabhängigkeiten technischer Entwicklungen entstehen lassen (Rosenberg 1982; Hughes 1983; David 1993).

Soziologische Theorieansätze beobachten das Werden und Wirken der Techniken als soziale Tatsachen, wie sie als Resultate sozialen Handelns entstehen und gestaltet werden (Technikgenese) und wie sie als gemachte Sachen das Handeln vorstrukturieren (Technikfolgen). Sie betonen bei der Analyse der gesellschaftlichen Konstruktion der Techniken die Definitions-, Aushandlungs- und Schließungsprozesse, die zwischen den sozialen Akteuren mit unterschiedlichen Interessen und Ideen stattfinden; sie suchen auch nach den institutionellen Mechanismen und kulturellen Orientierungsmustern, welche die Technisierungsprojekte jeweils formen, Varianten herausfiltern und zu Pfaden der Innovation festigen (Bijker, Hughes et al. 1987; Halfmann, Bechmann et al. 1995; Dolata and Werle 2007).

Die theoretischen Ansätze lassen sich unterschiedlich sortieren. In der ökonomischen Innovationsliteratur teilte man gern in Nachfrage-orientierte („demand pull“) und in Angebots-orientierte („technology push“) Ansätze ein (Kline and Rosenberg 1986; Blättel-Mink 2006). Sie unterscheiden sich vor allem darin, ob sie eher von Marktkräften und einer rationalen Wahl der Techniken ausgehen oder ob sie eher die wissenschaftlich-technischen Produktivkräfte, Organisationsroutinen und institutionellen Regimes der Entwicklung wirken sehen. Heute werden die Prozesse der Wechselwirkung und Rückkopplung stärker in rekursiven Innovationsmodellen konzipiert (Braun-Thürmann 2005).

Aus Sicht soziologischer Technik- und Innovationsforschung wurden immer schon beide Seiten in Frage gestellt und durch differenziertere Modelle ersetzt: Markt und Bedarf unterliegen vielfältigen sozialen und kulturellen Definitionsprozessen; die Angebote und Optionen der Technikentwicklung sind selbst Resultate gesellschaftlicher Konstruktion. Die soziologischen Ansätze unterscheiden sich untereinander darin, wie sie die Einflussfaktoren gewichten: zwischen der Macht einzelner Akteure und dem Gewicht institutioneller Strukturen, zwischen den Sphären wirtschaftlichen, politischen und wissenschaftlich-technischen Handelns oder zwischen materiellem Momentum und kultureller Plastizität der technischen Konstellationen. Auch hier zeichnet sich eine Tendenz zu integrierten Modellen der Technikgenese und der Innovationspfade ab (Windeler 2003).

Eine dritte Möglichkeit zur Einteilung der theoretischen Ansätze setzt an den Modellierungen der Innovationsverläufe, also an der zeitlichen Dimension von Innovationsprozessen an: Lineare Innovationsmodelle gehen von Phasen und Stufen aus, machen zwischen Entdeckung („conception“), Erfindung („invention“), Entwicklung („development“) und Verbreitung („diffusion“) einen zeitlichen und organisatorischen Schnitt und konzipieren den Verlauf als Einbahnstraße von der Wissenschaft zur angewandten Technik. Nicht-lineare Modelle sehen eine hohe Unsicherheit und Unberechenbarkeit von Innovationsprozessen, bauen daher vielfältige Rückkopplungen zwischen den verschiedenen Aktivitätsfeldern ein. Bekannte Beispiele sind das Zyklen-Modell von Schumpeter, das rückgekoppelte „Ketten“-Modell von Kline und Rosenberg (Kline and Rosenberg 1986), das Modell „verteilter Innovationsprozesse“ der SPRU-Gruppe (Coombs, Harvey et al. 2003) und das „Reisepfad“-Modell der Minnesota Innovationsforschungsgruppe (Van de Ven, Angle et al. 1989; Van de Ven, Polley et al. 1999). Gegenwärtig beobachten wir einen Trend zur Erforschung von Innovationspfaden, an dem sich die verschiedenen disziplinären Ansätze beteiligen. Daher werden im Folgenden die theoretischen Ansätze nicht nach Disziplin oder Verlaufsmodell vorgestellt, sondern quer dazu nach dem einfachen Prinzip, was jeweils als bestimmende Größe für Technikentwicklung und Innovationsverlauf zählt.

Neo-klassische Produktionsfunktionstheorie und rationale Technikwahl: Gewinnmaximierung und Märkte zählen

Anhänger der neo-klassischen Ökonomie lösen den technischen Wandel in viele kleine Wahlen auf, bei denen zwischen Techniken und über Konstellationen der Produktion entschieden wird. Diese Entscheidungen werden als rationale Wahlen zwischen austauschbaren Gütern konzipiert. Das gilt für die Wahlen zwischen zwei Produktionsmaschinen, für die sich rational nach relativem Preis oder höherer Effizienz entschieden wird. Das gilt für die Relationen zwischen den Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital, wonach bei Knappheit von Arbeitskräften in arbeitssparende Maschinen investiert wird - oder umgekehrt bei niedrigen Lohnkosten mögliche technische Fortschritte unterlassen werden.

Dieser ökonomische Erklärungsansatz, der hier natürlich nur vereinfacht dargestellt wurde (Elster 1983), fand viele Kritiker aus verschiedenen Disziplinen – auch der Ökonomie - und

mit unterschiedlichen Fragen. Die nachfolgenden Ansätze zur Innovationstheorie können gleichsam als konstruktive Antworten auf diese Defizite gelesen werden. Der Nobelpreisträger Herbert Simon entwickelte z.B. das Konzept der „bounded rationality“ (Simon 1954), um das Problem zu lösen, dass Informationen über neue Techniken und ihre kostensparenden Wirkungen eingeholt werden müssen und selbst wiederum, je länger die Recherche dauert und je solider die Suche sein soll, Kosten verursachen. Statt einer Strategie der Maximierung kann realistisch nur noch die Strategie des „Satisficing“, der Suche nach der erstbesten befriedigenden Lösung, für das Informationsproblem verfolgt werden.

Allerdings gilt für alle Entscheidungen in Fällen von Forschung, Erfindung und Entwicklung nach Kenneth Arrow (Arrow 1962) grundsätzlich eine radikal erhöhte Unsicherheit, so dass ein ökonomisches Kalkül in diesen Fällen gar nicht angewandt werden kann. Dieses Unsicherheitsproblem beim Innovationshandeln geht weit über das übliche Risiko- problem unternehmerischer Entscheidungen hinaus (Schmid 1998). Bei Innovationen geht es auch nicht nur um eine einzelne Entscheidung über ein abgegrenztes kalkulierbares Problem, sondern um eine Kette miteinander zusammenhängender Entscheidungen, die einen *Zirkel der Unsicherheiten* („circle of uncertainties“) bilden (Rammert 2002). Wenn ein Akteur eine neue Technik entwickeln oder einen bestimmten Pfad der Innovation einschlagen will, ist er mit den folgenden Unsicherheiten konfrontiert,

- ob er Zugang zu den Informationen über diese Technologie erhalten wird,
- ob er die relevante Information aus der Flut der Informationen herauszufiltern kann,
- ob er in der Lage ist, diese dann in nützliches Wissen umzuwandeln,
- ob der Entwicklungsprozess mit einem machbaren technischen Produkt endet,
- ob dieses Produkt auch wirtschaftlich hergestellt werden kann,
- ob dafür ein neuer Markt aufgebaut werden kann,
- ob die Nutzer das Produkt und seine eventuellen Nebenfolgen akzeptieren ,
- ob der Entwickler einen angemessenen Gewinn für Kapitaleinsatz und Risiken erhält,
- ob seine Eigentumsrechte genügend geschützt werden und
- ob das Produkt mit den gesetzlichen Regelungen und technischen Standards kompatibel ist.

Angesichts dieser Vervielfältigung von Unsicherheiten muss nach anderen als den nur ökonomischen Faktoren gesucht werden; denn die Gesellschaften haben in ihrer Geschichte mannigfaltige Handlungsweisen und Mechanismen erfunden, um mit solcher Komplexität umzugehen.

Neo-schumpeterianischer Ansatz: Routinen und evolutionäre Mechanismen zählen

Wenn das Rationalmodell ökonomischer Maximierung für das Innovationshandeln wegen der aufgezählten Unsicherheiten und der Dynamik wissenschaftlich-technischer Entwicklung nicht in Frage kommt, bietet sich für komplexe Kausalverhältnisse das Evolutionsmodell der Variation und Selektion an: die Rationalwahl wird durch Routineselektion ersetzt. Wenn weder ein lokales noch globales Maximum für ein technisches Problemlösen möglich ist – was wären denn die langfristig gültigen Parameter: Energieeffizienz, Schnelligkeit, Sicherheit, Materialsparbarkeit, usw.? –, dann werden bei Problemen einfach vorhandene Routinen variiert, unter verschiedenen Aspekten neue Kombinationen ausprobiert, scheinbar erfolgreiche imitiert und manche dabei falsch kopiert, so dass ein Schwarm von Technikvarianten entsteht, wie es schon Gilfillan in seiner Soziologie der Erfindung für die Entwicklung der Schifffahrt beschrieben hat (Gilfillan 1936). Ähnliche Variationen von

Routinen führen der Historiker George Basalla für die Entwicklung der Waffen und Werkzeuge (Basalla 1988) und der Tierbiologe Benjamin Beck für das Werkzeugverhalten der Tiere an (Beck 1980). Neuerungen entstehen nicht aus intendiertem Handeln, sondern aus probleminduziertem Tun, wie dem Tüfteln, Herumprobieren oder Basteln. Die Auswahl unter den Varianten folgt dabei nicht den Maximen rationaler Wahl, sondern den Regeln quasi-natürlicher Selektion, nämlich welche der Varianten sich unter den jeweiligen örtlichen und zeitlichen Gegebenheiten als relativ besser und befriedigend erweist. Der Gang der Technikentwicklung nimmt also keinen linearen und fortschrittlichen Verlauf; er bleibt – wie schon Schumpeter betonte – von wechselnden Ungleichgewichten und Zufälligkeiten des Innovationsgeschehens geprägt. Wenn er doch für längere Zeit eine feste Bahn zu bilden scheint, dann müssen dafür besondere Bedingungen der Selektion, wie das Ausschalten der Marktdynamik durch Oligopolmacht (Windeler and Schubert 2007), die Trägheit institutionalisierter Technostrukturen oder die Prägekraft kultureller Traditionen, zur Erklärung herangezogen werden.

Die evolutionäre Ökonomie von Richard R. Nelson und Sidney Winter (Nelson and Winter 1977; Nelson and Winter 1982) geht von einem solchen Such- und Selektionsmodell für Innovationen aus. Firmen suchen dann nach besseren Techniken, wenn sie konkrete Probleme haben, und sie finden umso eher eine relativ überlegene Lösung, je mehr sie in das Suchverhalten investieren. Die Märkte werden dann als ein Selektionsmechanismus zwischen den Firmen angesehen, der dann ‚ex post‘ auf die Auswahl und Expansion der vielen ‚ex ante‘ befriedigenden Varianten einwirkt. Ein zentrales Merkmal der Darwin folgenden Evolutionstheorien ist die Unabhängigkeit der beiden Mechanismen Variation und Selektion. Wenn die vielen befriedigenden („satisficing“) Technikvarianten entwickelt und entschieden werden, gibt es kein sicheres Wissen über die späteren Selektionskriterien; so kann erklärt werden, dass sich relativ schlechtere, aber befriedigende Lösungen wie das Microsoft Betriebssystem gegenüber anfangs technologisch überlegenen Varianten wie das von Mackintosh später auf dem Markt durchsetzen. Was sich in der Evolution durchgesetzt hat, gilt dann als das Bessere, aber muss nicht das Beste sein.

Wieso kommt es trotz des probabilistischen und nicht-sequentiellen Charakters der Innovation immer wieder zu längeren Perioden und zu festen Bahnen der Technikentwicklung? In der Sprache der Evolutionstheorie ist der Mechanismus der Stabilisierung („retentive reproduction“) dafür verantwortlich: Die ausgewählten Varianten müssen sich auch erfolgreich vermehren und ausbreiten können. Bezogen auf den Innovationsprozess kann man dann von einem vorherrschenden Modell oder einem dominanten Design sprechen, wenn eine ausgewählte Lösung zur neuen Routine wird. Auf die Unternehmen bezogen sprechen Nelson und Winter von Organisationsroutinen; auf die Produktion industrieller Branchen bezogen hat Giovanni Dosi den Begriff des „technologischen Paradigmas“ (Dosi 1982) eingeführt, der gleichsam die *Routinen* wissenschaftlicher Problemwahrnehmung und technischer Konstruktionstraditionen mit den Organisationsroutinen zusammenfasst, z.B. wenn es um die mechanisierte Massenproduktion, die chemische Verfahrenstechnik oder die genetische Landwirtschaft geht. Hat sich einmal aufgrund historischer Zufälle und gesellschaftlicher Kräftekonstellationen eine Lösungsvariante durchgesetzt, dann gewinnt sie durch Nachahmung, Anpassung und Routinebildung die determinierte Kraft eines auf seine Bahn geschleuderten Geschosses, bildet nach dem evolutionsfernen mechanistischen Vokabular eine technische Trajektorie („technological trajectory“).

Dieses evolutionstheoretische Modell wurde von M. Tushman und Lori Rosenkopf mit Blick auf die Bedeutung des Wandels für die Unternehmen verfeinert (Tushman and Rosenkopf 1992). Sie unterscheiden zwischen Phasen der Fermentierung, in denen es um

die Herausbildung eines neuen Paradigmas geht, und Phasen der Stabilisierung, in denen sich ein dominantes Design durchgesetzt hat. In der ersten Phase treten radikale Innovationen auf; es bestehen für die Organisationen hohe Unsicherheiten. In der zweiten Phase überwiegen inkrementelle Innovationen, kleine Verbesserungen; Routinen der Konstruktion und der Organisation bilden einen relativ stabilen Rahmen.

Die Vorzüge dieses Ansatzes bestehen darin, direkt an die bahnbrechenden Ideen von Schumpeter anzuschließen: Seine Vertreter gehen ebenfalls vom nicht-linearen und dynamischen Charakter der Innovation aus. Mit der Evolutionstheorie haben sie eine alternative Modellierung zur Produktionsfunktionstheorie gefunden, die dem stochastischen Prozess angemessener ist. Routinebildung statt Rationalwahl zum Ausgangspunkt zu nehmen, das öffnet diese Theorie stärker für die Ansätze der anderen Sozialwissenschaften. Allerdings bleiben die eigenen Erklärungsversuche für unterschiedliche Innovationsverläufe rudimentär. Es fehlen auch Überlegungen zur Einwirkung von sozialen Akteuren und zur Wechselwirkung zwischen verschiedenen Akteuren in Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft.

Pfadabhängigkeits-Ansatz: Geschichte und kritische Ereignisse zählen

Wann entsteht etwas Neues? Aus welchen Quellen speisen sich Neuerungen? Warum setzen sich die einen Ideen durch, bleiben die anderen liegen oder wird deren Umsetzung abgebrochen? Da für die Beantwortung dieser Fragen nach Ursprung, Erfolg und Scheitern die Produktionsfunktionstheorie wie auch die Evolutionstheorie zu allgemein bleiben, sind für die Untersuchung der Technikwahlen und der Innovationsverläufe historische Fallstudien von unschätzbarem Wert. Sie machen Einzigartigkeiten sichtbar, durch Vergleiche für besondere Situationen sensibel und falsifizieren voreilige Verallgemeinerungen. Die Erfindung eines Fahrzeugs, das seine eigene Straße mit sich führt, geschah z.B. zur falschen Zeit am falschen Ort: Der für verrückt gehaltene Schweizer Mechaniker hatte beim Patentamt die Idee eines Traktors mit um die Räder laufenden Ketten angemeldet; dieses Gefährt sei für steile und unzugängliche Alpenlagen geeignet. Erst Jahre später verhalfen die Briten mit ihren Panzern im Ersten Weltkrieg dieser Idee zum überraschenden Durchbruch.

Je mehr solche singulären Geschichten gesammelt werden, desto stärker wächst der Anreiz, sie auf systematische Fragen hin zu sichten. Der Wirtschaftshistoriker Abbot P. Usher fand in seiner *History of Mechanical Invention* (Usher 1954) heraus, dass zusätzlich zu den kumulierten und variierten Lösungen, welche die Problemlage definieren, die gestaltgebende Einsicht kreativer Personen als Syntheseleistung hinzukommen muss. Die umfangreichere Fallsammlung von Jewkes, Sawers und Stillerman fragt nach den Quellen der Erfindung und bestätigt, dass neben den Großunternehmen kleine Firmen und Einzelerfinder kritische Größen bleiben (Jewkes, Sawers et al. 1959). Eine andere Art von kritischen Situationen für die Technikentwicklung hat der Technikhistoriker Thomas P. Hughes entdeckt: Je nach Entwicklungsphase wechseln die Engpässe und kritischen Problemzonen (Hughes 1987): Anfangs bedarf es visionärer Wissenschaftler, um einer neuen Sichtweise die nötige Aufmerksamkeit und Legitimität zu verleihen, dann kluger Unternehmer-Erfinder, die technisches Talent und Unternehmungsgeist verbinden, und schließlich mächtiger Systembildner, die eine Technik samt ihrer Infrastruktur wirtschaftlich und politisch durchsetzen.

Wie stark Geschichte für Innovationsverläufe zählt, das zeigen paradigmatisch die Arbeiten von Paul David and Brian D. Arthur zur Pfadabhängigkeit (David 1975; Arthur 1989). Besonders bekannt und umstritten ist die Geschichte der QWERTY-Tastatur (David 1985): Diese Anordnung der Buchstaben entstand in dieser Form, weil sie nicht nur der

Häufigkeit der verwendeten Buchstaben folgte, sondern das besondere Problem der klemmenden Typenhebel bei den ersten mechanischen Schreibmaschinen löste. Später dann, als Typenräder, Kugelpopf und überhaupt das Schreiben mit dem PC dieses Design überflüssig machten, wurde es trotz mehrfacher Versuche nicht mehr rückgängig gemacht. Die Erklärung dafür wird darin gesehen, dass eine historisch einmal getroffene Designentscheidung ab einer bestimmten Zeit nicht mehr verändert wird, weil in sie Geld, Wissen und Interessen investiert sind, weil sie gegenüber Alternativen die Vorzüge des Bekannten, immer wieder Verbesserten und des Gewohnten hat, was sowohl für die Entwicklungsingenieure, die produzierenden und konkurrierenden Unternehmen als auch für die Kunden und Nutzer gilt. Alle folgen dem einmal eingeschlagenen Pfad: Für die weitere technische Entwicklung erwächst daraus eine Pfadabhängigkeit. Sie macht es alternativen technischen Lösungen, auch wenn sie theoretisch besser sein sollten, praktisch unmöglich, den Pfad zu brechen. Mit etwas Glück oder politischer Nachhilfe (Rip and Schot 2002) überleben sie solche Zeiten in Nischen oder Reservaten am Rande der ausgetretenen Pfade.

Der Pfadabhängigkeits-Ansatz überzeugt zunächst durch die vielen Beispiele, in denen aus historisch einmaligen Konstellationen neue Techniken hervorgehen, diese sich dann zu dominanten Designs entwickeln und der einmal eingeschlagene Weg zu einem fest ausgetretenen Pfad wird. Er trifft auf Kritik, wenn es um den Nachweis geht, ob eine alternative technische Lösung technisch besser oder ökonomisch effizienter gewesen sei. Ihm wird auch vorgeworfen, dass er die Macht und die Interessen der sozialen Akteure unterschätzen würde. Auf das erste Problem der sozialen Deutung technischer Überlegenheit geht der sozialkonstruktivistische Ansatz ein, den wir im übernächsten Abschnitt behandeln. Auf das zweite Problem interessierter Technikprägung gehen wir zunächst ein.

Neo-marxistischer Ansatz: Herrschaft und Interessen zählen

Was als natürlicher Pfad technischen Fortschritts erscheint, ist das Produkt gesellschaftlicher Prägung. Studien zum „Social Shaping of Technology“ folgen diesem kritischen Erkenntnisinteresse (MacKenzie and Wajcman 1999), das seine Wurzeln im Werk von Karl Marx hat. Die Mechanisierung der Arbeit schreitet nur soweit voran, wie sich der Einsatz der technischen Mittel im Vergleich zu den substituierten Arbeitskräften rechnet. Daher liegt es unter bestimmten Bedingungen im Interesse der Kapitalseite, Mechanisierungslücken mit belastenden Arbeitsbedingungen zu belassen oder Produktinnovationen so lange in der Schublade zu lagern, bis die vorherigen Investitionen amortisiert sind.

Die Gruppe der „Radical Economists“ in den USA (Braverman 1977; Noble 1977) hat zusätzlich aufgezeigt, dass es viele Fälle von interessierter Einflussnahme auf die Technikentwicklung gegeben hat: Wie die Feudalherren schon früh im Mittelalter die flexiblen und dezentralen Handmühlen zerstören ließen, um zentrale und zentral kontrollierbare Wind- und Wassermühlen an ihre Stelle zu setzen (Marglin 1977), so haben auch kapitalistische Unternehmer aufwändige und noch nicht als effizient erwiesene Techniken wie die die ersten NC-Werkzeugmaschinen oder die Tomatenpflückmaschine durchgesetzt, weniger aus Kostengründen, sondern eher aus Kontrollinteressen (Noble 1984; Noble 1986). Die Feudalklasse war nicht an einer effektiveren Technologie interessiert, sondern an einer monopolistischen Technostruktur, mit denen sich die Getreideernten und steuerlichen Abgaben kontrollieren ließen. Die Klasse der Kapitalisten war in diesen Fällen an einer mächtigen mechanischen Apparatur interessiert, mit der das Management den Arbeitsprozess und die widerständige Arbeiterschaft in den Griff bekommen konnte (Lazonick 1992). Auf eine kurze Formel gebracht: Herrschaftsinteressen gehen vor technischer Verbesserung, Kontrollinteressen vor ökonomischem Kalkül.

Ähnliche Widerstände gegen technische Neuerungen, Einflüsse auf Richtungen der technischen Entwicklung oder auf die konkrete Gestalt einer Technik lassen sich auch heute überall finden. Computersysteme haben noch nicht nachweislich zur Steigerung der Produktivität geführt, aber sie haben sicherlich zur Kontrolle aller Tätigkeiten von der Kassiererin bis zum Analysten beigetragen. Gegen technologische Alternativen zu den gegenwärtig dominanten Energie- und Verkehrstechniken gibt es massive Einwände und Hindernisse, würden doch andere Energieträger oder Transportmittel die Interessen der etablierten Großkonzerne stark tangieren.

Dieser Ansatz gerät an seine Grenzen, wenn es um die Entstehung neuer Technikprojekte in den frühen Phasen der Technikgenese geht: Die Auswahl und weitere Prägung einer Technik durch ökonomische, politische oder militärische Interessen in letzter Instanz scheinen in der Regel leicht Zustimmung zu finden; aber wie überhaupt eine neue Technik als Variante konstruiert und als nützliche Innovation für die Gesellschaft definiert wird, das bedarf einer feineren Analyse.

Sozialkonstruktivistischer Ansatz: Projekte und kulturelle Deutungen zählen

Ökonomen und Soziologen, die sich nicht genauer mit der jeweiligen Technik und mit der Genese der jeweiligen Technikvarianten befassen, gehen gerne davon aus, dass sich die nach technologischen Maßstäben bessere Technik durchsetzt. Die Geschichte der Technik wird dann auch wie die Geschichte politischer Revolutionen aus der Sicht der Sieger geschrieben. Vergessen wird dabei, dass es zur Zeit des Gärens und Suchens verschiedene Varianten und Projekte der Technisierung nebeneinander gegeben hat; verdrängt wird häufig, dass es zu jener Zeit keine Sicherheit und keinen Konsens über die entscheidenden Kriterien technischer Überlegenheit gegeben hat; unterdrückt wird manchmal die Tatsache, dass mit der – aus welchen Gründen auch immer – durchgesetzten Technik auch gleichzeitig die Maßstäbe für technische Effizienz neu definiert werden, die ihre Überlegenheit nachträglich legitimieren.

Sozialkonstruktivistische Studien gehen davon aus, dass auch Techniken, Testverfahren und technologische Überlegenheiten wie andere soziale Tatsachen gesellschaftlich geschaffen werden (Bijker, Hughes et al. 1987; Bijker 1995). Gesellschaftliche Gruppen, die sich um ein besonderes Projekt der Technisierung herum bilden, gewinnen an Bedeutung. Kulturelle Deutungen geben unterschiedlichen Entwürfen, Nutzungskonzepten und Leistungserwartungen neuer Technikkombinationen erst ihren Sinn (Dierkes, Hoffmann et al. 1992; Rammert 1993).

Aus dieser sozialkonstruktivistischen Sicht folgen die zentralen methodologischen Regeln, erstens die „black box“ der jeweiligen Technik zu öffnen, d.h. die darin enthaltenen Varianten an technischen Problemdefinitionen und Lösungen in ihrer Vielfalt und Kontingenz aufzuzeigen („interpretative flexibility“ und „constructive variability“), und zweitens alle Varianten aus „symmetrischer“ Sicht zu behandeln, d.h. ihren Erfolg nicht aus einer technologischen Überlegenheit zu erklären, sondern als Folge einer gelungenen sozialen Schließung der Kontroversen darüber, durch ein Ende der Ingenieurdiskussionen und der gesellschaftlichen Debatten („rhetorical and social closure“). Wie das im empirischen Einzelfall funktioniert, haben Trevor Pinch und Wiebe Bijker am Beispiel der Fahrradentwicklung vorgeführt (Pinch and Bijker 1987). Sie fanden verschiedene Varianten vor, wie ein Fahrrad entworfen werden konnte, z.B. Hochräder oder Laufräder mit zwei ähnlich großen Rädern, mit Eisenringen, Hartgummi- oder Ballonreifen. Um die jeweiligen Technikvarianten bildeten sich verschiedene gesellschaftliche Gruppen aus Konstrukteuren und Nutzern, die ein technisch gutes Fahrrad jeweils anders definierten, z.B. schnell für den Sport

(Hochrad) oder sicher für Jedermann (Niedrigrad) oder auch geeignet für Frauen mit Rücken. Die Kontroverse zwischen den Gruppen kam erst zum Stillstand, als sich ein ballonbereiftes Niedrigrad als Kompromiss zwischen den verschiedenen Gruppen – und als überraschender Sieger im Rennsport – durchsetzte.

Die Stärke des Sozialkonstruktivismus ist zugleich auch seine Schwäche: Sich auf Situationen der Projektion und Definition wie auch auf Episoden der Konstruktion und Aushandlung zu konzentrieren, schärft den soziologischen Blick für die Offenheit und Variabilität technischer Neuerung, schließt jedoch die fördernden oder fesselnden Rahmen sozialer Institutionen und die Mechanismen längerfristiger Pfadentwicklung zu stark aus den theoretischen Überlegungen aus.

Neo-institutionalistischer Ansatz: Institutionen und Akteurkonstellationen zählen

Situationen der Technikentwicklung sind in unterschiedliche institutionelle Bedingungen eingebettet: Sie finden unter dem Regime mittelalterlicher Zünfte, aufklärerischer Fürstenthöfe, früher Fabrikkapitalisten oder hochmoderner Innovationsnetzwerke statt. Die daran beteiligten sozialen Akteure bewegen sich ebenfalls in verschiedenen institutionellen Sphären: Forscher, Erfinder, Ingenieure, Patentierer, Förderer und Finanziere finden wir im Bereich akademischer Wissenschaft und industrieller Laboratorien, öffentlicher Forschung und privater Stiftungen oder in gemischten Institutionen von „private-public partnership“ oder interaktiver Innovationsnetzwerke.

Der Schlüsseltext für die Innovationssoziologie fragt nach den zentralen Koordinationsmechanismen zwischen so heterogenen Akteuren, wie sie an der biotechnologischen Entwicklung im Silicon Valley beteiligt waren: Es wird argumentiert, dass weder Märkte noch Hierarchien entscheidend waren, sondern Netzwerkformen der Organisation (Powell 1990) Netzwerke werden als eine eigenständige Form der Koordination angesehen. Sie weisen nicht die Unverbindlichkeit und Kurzfristigkeit tauschorientierter Märkte, aber auch nicht die Reglementierung und Festigkeit herrschaftsbasierter Bürokratien auf. Sie eignen sich in ihrer offenen Interdependenz und der Mittelfristigkeit ihrer vertrauensvollen Kooperation besonders für die Zusammenarbeit zwischen heterogenen Akteuren, die wechselseitig aufeinander angewiesen sind, und bei Zuständen hoher Unsicherheit, die weder wirtschaftliche Berechenbarkeit noch bürokratische Regulierbarkeit erlauben. Firmen, die Forschung und Entwicklung organisieren, kennen dieses Problem als „Innovations-Dilemma“ (Rammert 1988): Unterwerfen sie die Wissenschaftler und ihr innovatives Handeln zu sehr den üblichen Routinen betrieblicher Kontrolle und wirtschaftlichen Kalküls, dann laufen sie Gefahr, die erwünschte Kreativität im Keim zu ersticken und das anvisierte innovative Potential kleinlich einzuzäunen; ließe man umgekehrt der Forschung freien Lauf und verzichtete auf Zwischenziele und jegliche Anwendungsorientierung, finanzierte man zwar eine tolle Truppe origineller Denker und Forscher, aber ohne absehbaren Gewinn.

Innovationsnetzwerke können als eine angemessene institutionelle Antwort auf eine neue Situation interpretiert werden, die angesichts der hohen Unsicherheit gegenwärtiger Hochtechnologien und der damit verbundenen immensen Kapitalrisiken eine Verteilung von Wissensarbeit und Risiken auf verschiedene Akteure und zugleich eine lockere, aber verbindliche Kooperation zwischen ihnen erfordert. Neben die beiden Schumpeterschen Typen der ‚Innovation durch Markt‘ (Erfinder-Unternehmer wie die Siemens-Brüder und Bell zur Gründerzeit) und der ‚Innovation durch Organisation‘ (Konzernwissenschaftsbasierter chemischer und elektrotechnischer Industrie mit eigenen Forschungs- und Entwicklungslabors) tritt zunehmend der post-schumpeterianische Typ der ‚Innovation im Netz‘ (Rammert 1997). Weitere Untersuchungen stützen sich explizit auf die Idee der

Technikentwicklung als Institutionalisierungsprozess (Bender 2005; Werle 2005) und suchen nach spezifischen Mustern für bestimmte Technologietypen („low tech – high tech“), Industriebranchen und Entwicklungspfade (Dolata 2003; Hirsch-Kreinsen, Jacobson et al. 2005); andere Studien vergleichen die institutionellen Arrangements zwischen den Feldern der Wissenschaft, der Wirtschaft und der Politik, wie sie sich als unterschiedliche nationale Innovationssysteme (Edquist 1993; Nelson 1993) ausprägen; weitere Studien gehen über die nationale Ebene hinaus, interessieren sich für neue Regime der Wissensproduktion (Rammert 2003; Barben 2007) oder für homologe Muster wissenschaftlicher Institutionen weltweit, gleich ob es sich um die Einrichtung von Wissenschaftsministerien, Transfereinrichtungen, Unternehmeruniversitäten oder Innovationsregionen handelt (Etzkowitz and Leydesdorff 1997; Heidenreich 2000; Drori, Meyer et al. 2003; Krücken, Kosmützky et al. 2007).

Der neo-institutionalistische Ansatz eignet sich hervorragend zur Bildung von Typologien und zur Analyse der verschiedenen Muster, die sich historisch als dominant durchgesetzt haben oder sich nebeneinander in Kooperation oder Konkurrenz entwickeln. Er schließt am stärksten an die Theorietraditionen klassischer soziologischer Theorie an. Allerdings ist er für Prozesse der Institutionenbildung und –auflösung durch praktisches Handeln bisher wenig aufschlussreich, hat kaum Sinn für die Beziehungen zwischen den Akteuren und kann auch nicht recht die produktive oder resistente Rolle von Technologien in seinen Ansatz einbauen. Daher gibt es viele Versuche, ihn mit den Ansätzen der Theorie rationaler Akteure, der pragmatistischen Technik- und Sozialtheorie und mit den Netzwerkperspektiven der formalen Netzwerktheorie oder der Akteur-Netzwerk-Methodologie zu verbinden (Callon 1995; Mayntz and Schneider 1995; Werle 1995; Weyer 2004).

4. Auf der Suche nach einer integrativen Theorie gesellschaftlich-technischer Innovation

Technik und Innovation sind zweifellos soziale Institutionen und zusätzlich zentrale Institutionen der Wirtschaft der Gesellschaft. Allerdings wurde dieser Tatsache in der ökonomischen und soziologischen Theoriebildung bisher noch nicht genügend Rechnung getragen. Zur Selbstverständlichkeit der Technik als Ressource und zur Besonderheit der Innovation als überraschendes Ereignis traten die Teilung der Sozialwissenschaften zwischen Ökonomie und Soziologie und die Zersplitterung der vielen theoretischen Ansätze erschwerend hinzu. Nach dieser kurzen Bestandsaufnahme sehen wir allerdings auch die Möglichkeit und den Weg hin zu einer integrativen Theorie gesellschaftlich-technischer Innovation.

Zunächst gibt es eine gemeinsam geteilte Auswahl zentraler Themen und dazu jeweils anerkannter Studien: Es sind die Fragen nach den Quellen der Entdeckung und Erfindung (Gilfillan 1936; Jewkes, Sawers et al. 1959), nach den Verlaufs-, Verbreitungs- und Aneignungsformen (Utterback 1994; Van de Ven, Polley et al. 1999; Rogers 2003) und nach den Akteuren und Agenten der Innovation, vom Erfinder-Unternehmer bis zum Endnutzer (Hippel 1988; Rammert 1992; Hippel 2005). Es sind die Fragen nach den Konstellationen zwischen ihnen, seien es Arenen, Innovationsnetzwerke oder soziotechnische Konstellationen (Kowol and Krohn 1995; Weyer, Kirchner et al. 1997; Hage and Hollingsworth 2000; Latour 2006), nach den Paradoxien und Dilemmata der Innovation (Rammert 1988; Sauer and Lang 1999), nach der institutionellen Ordnung, den Systemen oder Regimen der Innovation, und nach dem Wandel zwischen Pfadabhängigkeit und Steuerbarkeit (Garud and Karnoe 2001).

Dann finden wir trotz des breiten Spektrums theoretischer Ansätze eine beschränkte Auswahl von Größen, die für die Erklärung zählen, die sich nicht immer ausschließen müssen, sondern sich auch ergänzen ließen. Routinen wie rationale Wahlen sind zu berücksichtigen. Pfadabhängigkeiten wie auch kritische Ereignisse müssen in einem Theorierahmen zusammengebracht werden. Genau anzugeben wäre, wann ökonomische Interessen, politische Herrschaft und wann kreative Akteure und kulturelle Deutungen von Gewicht sind. Die Technikgeneseforschung hat zum Beispiel schon ein Modell dafür vorgegeben, wie Projekte, Deutungen und Strategien von Akteuren, Akteurkonstellationen und institutionalisierte Variations- und Selektionsmechanismen zusammengedacht werden können. Auch für eine integrative Theorie der gesellschaftlich-technischen Innovation sind solche Modellbildungen angesagt, mit denen sich Fallstudien zu vielen einzelnen Innovationen, Vergleiche zwischen erfolgreichen und gescheiterten Innovationen, Versuche zur vergleichbaren Beschreibung von Innovationsverläufen und Kontrastanalysen von institutionellen Fakten, kulturellen Deutungen und beobachteten Praktiken durchführen lassen.

Literaturverzeichnis

Arrow, K. (1962). *Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention*. National Bureau of Economic Research (ed.): *The Rate and Direction of Inventive Activity*. Princeton, University Press.

Arthur, B. (1989). "Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events." *Economic Journal* 99: 116-131.

Barben, D. (2007). *Politische Ökonomie der Biotechnologie. Innovation und gesellschaftlicher Wandel im internationalen Vergleich*. Frankfurt/M., Campus.

Basalla, G. (1988). *The Evolution of Technology*. Cambridge, Cambridge University Press.

Beck, B. B. (1980). *Animal Tool Behavior*. New York, Garland.

Beck, U. (1986). *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*. Frankfurt/M., Suhrkamp.

Beckmann, M. P. and C. Betsholtz (2000). "Comparison of biological properties and transforming potential of human PDGF-A and PDGF-B chains." *Science* 77: 33-38.

Bell, C. (1979). *Die nachindustrielle Gesellschaft*. Frankfurt/M., Campus (zuerst 1973).

Bender, G. (2005). "Technologieentwicklung als Institutionalisierungsprozess." *Zeitschrift für Soziologie* 34: 170-187.

Bijker, W. E. (1995). *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs. Towards a Theory of Sociotechnical Change*. Cambridge, Mass., MIT Press.

Bijker, W. E., T. P. Hughes, et al., Eds. (1987). *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge, MIT Press.

- Blättel-Mink, B., Ed. (2006). Kompendium der Innovationsforschung. Wiesbaden, VS.
- Böhret, C. (1986). Politik und Technik – Eine Aufgabe fachwissenschaftlicher und multidisziplinärer Forschung. Politik und die Macht der Technik. H.-H. Hartwich. Opladen, Westdeutscher Verlag: 12-22.
- Braun-Thürmann, H. (2005). Innovation. Bielefeld, transcript.
- Braverman, H. (1977). Die Arbeit im modernen Produktionsprozeß. Frankfurt/M., Campus.
- Callon, M. (1995). Technological Conception and Adoption Network: Lessons für the CTA Practitioner. Managing Technology in Society. A. Rip, T. J. Misa and J. W. Schot. London, Pinter: 307-330.
- Castells, M. (1996). The Rise of the Network Society. Oxford, Blackwell.
- Coombs, R., Harvey, M., Tether, B. S. (2003). "Analyzing Distributed Processes of Provision and Innovation." *Industrial and Corporate Change* 12(6): 1125-1155.
- Dahrendorf, R. (1967). Homo Sociologicus. Pfade aus Utopia. R. Dahrendorf. München, Piper: 128-194.
- David, P. (1975). Technical Choice, Innovation and Economic Growth. Cambridge, Cambridge University Press.
- David, P. (1985). "Clio and the Economics of QUERTY." *American Economic Review* 75: 332-337.
- David, P. A. (1993). Path-Dependence and Predictability in Dynamic Systems with Local Network Externalities: A Paradigm of Historical Economics. *Technology and the Wealth of Nations*. D. Foray and C. Freeman. London, OECD: 208-231.
- Dierkes, M., U. Hoffmann, et al. (1992). Leitbild und Technik. Zur Entstehung und Steuerung technischer Innovationen. Berlin, Edition Sigma.
- Dolata, U. (2003). Unternehmen Technik. Akteure, Interaktionsmuster und strukturelle Kontexte der Technikentwicklung. Berlin, Edition Sigma.
- Dolata, U. and R. Werle, Eds. (2007). Gesellschaft und die Macht der Technik. Sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung. Frankfurt/M., Campus.
- Dosi, G. (1982). "Technological Paradigms and Technological Trajectories." *Research Policy* 11: 147-166.
- Drori, G. S., J. W. Meyer, et al. (2003). Science in the Modern World Polity. Stanford, Stanford University Press.

- Edquist, C., (ed.) (1993). *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. London, Pinter.
- Elster, J. (1983). *Explaining Technical Change. A Case Study in the Philosophy of Science*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Etzkowitz, H., Leydesdorff, L. (eds) (1997). *Universities and the Global Knowledge Economy. A Triple Helix of University-Industry-Government Relations*. London, Pinter.
- Garud, R., Karnoe, P. (eds) (2001). *Path Dependence and Creation*. Mahwah, N. J., Lawrence Erlbaum.
- Gilfillan, S. C. (1936). *The Sociology of Invention*. Chicago, Follet.
- Godelier, M. (1999). *Das Rätsel der Gabe: Geld, Geschenke, heilige Objekte*. München, Beck.
- Habermas, J. (1976). *Zur Rekonstruktion des Historischen Materialismus*. Frankfurt/M., Suhrkamp.
- Hage, J. and J. R. Hollingsworth (2000). "A Strategy for Analysis of Idea Innovation Networks and Institutions." *Organization Studies* 21: 971-1004.
- Halfmann, J., G. Bechmann, et al., Eds. (1995). *Technik und Gesellschaft. Jahrbuch 8: Theoriebausteine der Techniksoziologie*. Frankfurt/M., Campus.
- Hall, P., Soskice, D (2001). *Varieties of Capitalism*. Oxford, Oxford University Press.
- Heidenreich, M. (2000). *Regionale Netzwerke in der globalen Wissensgesellschaft. Soziale Netzwerke*. J. Weyer, (Hg.). München, Oldenbourg: 87-110.
- Hirsch-Kreinsen, H., Jacobson, D. and Laestadius, S. (ed.) (2005). *Low-tech Innovation in the Knowledge Economy*. Frankfurt/M., Peter Lang.
- Hughes, T. P. (1983). *Networks of Power - Electrification in Western Society, 1880 - 1930*. Baltimore, John Hopkins University Press.
- Hughes, T. P. (1987). *The Evolution of Large Technological Systems. The Social Construction of Technological Systems*. W. E. Bijker, T. P. Hughes and T. J. Pinch. Cambridge, MIT Press: 51-82.
- Jewkes, J., Sawers, D., Stillerman, R. (1959). *The Sources of Invention*. New York, St. Martin's Press.
- Joas, H. (1992). *Die Kreativität des Handelns*. Frankfurt/M., Suhrkamp.
- Kern, H., Schumann, M. (1984). *Das Ende der Arbeitsteilung? Rationalisierung in der industriellen Produktion*. München, Beck.

Kline, S. J. and N. Rosenberg (1986). An Overview of Innovation. The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth. R. Laudan and N. Rosenberg. Washington, National Academy Press: 275-305.

Knorr Cetina, K. and U. Bruegger (2002). "Global Microstructures. The Virtual Societies of Financial Markets." *American Journal of Sociology* 107: 905-950.

Kowol, U., Krohn, W. (1995). Innovationsnetzwerke. Ein Modell der Technikgenese. *Technik und Gesellschaft. Jahrbuch 8. J. Halfmann, Bechmann, G., Rammert, W. (Hg.). Frankfurt/M., Campus: 77-105.*

Krücken, G., A. Kosmützky, et al., Eds. (2007). *Towards a Multiversity? Universities between Global Trends and National Traditions.* Bielefeld, transcript.

Kuznets, S. S. (1953). *Economic Change.* New York.

Landes, D. S. (1969). *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present.* Cambridge, Cambridge University Press.

Latour, B. (2006). Ethnografie einer Hochtechnologie: Das Pariser Projekt »Aramis« eines automatischen U-Bahn-Systems. *Technografie. Zur Mikrosoziologie der Technik.* C. S. H. Werner Rammert, Campus: S. 25-60.

Lazonnick, W. (1992). *Organization and Technology in Capitalist Development.* Cheltenham, Edward Elgar.

Luhmann, N. (1987). *Soziologische Aufklärung 4: Beiträge zur funktionalen Differenzierung der Gesellschaft.* Opladen, Westdeutscher Verlag.

MacKenzie, D., Wajcman, J. (eds) (1999). *The Social Shaping of Technology.* Second edition. Buckingham, Open University Press.

Marglin, S. (1977). Was tun die Vorgesetzten? Ursprünge und Funktionen der Hierarchie in der kapitalistischen Produktion. *Technologie und Politik, H. 8.* Reinbek, Rowohlt.

Marx, K. (1844). *Pariser Manuskripte (wiederveröffentlicht in Texte zu Theorie und Praxis II, Reinbek 1968).*

Marx, K. (1969 [1867]). *Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie, Bd. I.* Berlin, Dietz-Verlag

Mauss, M. (1990). *Die Gabe. Form und Funktion des Austauschs in archaischen Gesellschaften.* Frankfurt/M., Suhrkamp.

Mayntz, R. and V. Schneider (1995). Akteurzentrierter Institutionalismus in der Technikforschung. *Technik und Gesellschaft. Jahrbuch 8. J. Halfmann, G. Bechmann and W. Rammert.* Frankfurt/M., Campus: 107-130.

- Mensch, G. (1977). Das technologische Patt. Innovationen überwinden die Depression. Frankfurt/M., Fischer.
- Merton, R. K. (1968). Social Theory and Social Structure. New York, Free Press.
- Mumford, L. (1963 <1934>). Technics and Civilization. New York, Harcourt, Brace & World.
- Mumford, L. (1977). Der Mythos der Maschine. Kultur, Technik und Macht. Frankfurt/M., Fischer.
- Naschold, F. (1986). Politik und Produktion: Thesen zu Politik und Technologieentwicklung. Opladen, Westdeutscher Verlag.
- Nelson, R., (ed.) (1993). National Innovation Systems: A Comparative Analysis. Oxford, Oxford University Press.
- Nelson, R., Winter, S. (1977). "In Search of a Useful Theory of Innovation." Research Policy 6: 36-76.
- Nelson, R., Winter, S. (1982). An Evolutionary Theory of Economic Change. Cambridge, MA, Belknap Press for Harvard U. Pr.
- Noble, D. F. (1977). America By Design. Science, Technology and the Rise of Corporate Capitalism. New York, Alfred A. Knopf.
- Noble, D. F. (1984). Social Forces of Production. A Social History of Industrial Automation. Oxford, U. P.
- Noble, D. F. (1986). "Maschinenstürmer oder die komplizierten Beziehungen der Menschen zu ihren Maschinen." Berlin: Wechselwirkung.
- OECD (2001). "Innovative Networks: Co-operation in National Innovation Systems." Paris, OECD Office of Publication.
- Ogburn, W. F. (1936). Technological Trends and National Policy. Washington.
- Ogburn, W. F. (1946). The Social Effects of Aviation. Boston, Houghton Mifflin.
- Ogburn, W. F. (1957). "Culture Lag as Theory." Sociology and Social Research XLI (Jan): 167-173.
- Perrow, C. (1987). Normale Katastrophen. Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik. Frankfurt/M., Campus.
- Pinch, T. J. and W. E. Bijker (1987). The Social Construction of Facts and Artifacts: Or How the Sociology of Science and the Sociologie of Technology Might Benefit Each Other. The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology

and History of Technology. W. E. Bijker, T. P. Hughes and T. J. Pinch. Cambridge/MA, MIT Press: 17-50.

Polanyi, K. (1978). The Great Transformation. Politische und ökonomische Ursprünge von Gesellschaften und Wirtschaftssystemen. Frankfurt/M., Suhrkamp.

Popitz, H. (1989). Epochen der Technikgeschichte. Tübingen, Mohr (Siebeck).

Popitz, H., Bahrddt, H.P., Jüres, E.A. , Kesting, H. (1957). Technik und Industriearbeit. Soziologische Untersuchungen in der Hüttenindustrie. Tübingen, Mohr.

Powell, W. W. (1990). Neither Market, Nor Hierarchy: Network Forms of Organization. Research in Organization Behavior. B. Staw, Cummings, L. L. (ed.). Greenwich, JAI Press. 12: 295-336.

Rabinow, P., Dan-Cohen, Talia (2005). A Machine to Make a Future. Biotech Chronicles. Princeton, Princetone University Press.

Rammert, W. (1988). Das Innovationsdilemma. Technikentwicklung im Unternehmen. Opladen, Westdeutscher Verlag.

Rammert, W. (1992). "Wer oder was steuert den technischen Fortschritt? Technischer Wandel zwischen Steuerung und Evolution." Soziale Welt 43(1): 7-25.

Rammert, W. (1993). Technik aus soziologischer Perspektive. Forschungsstand – Theorieansätze – Fallbeispiele. Ein Überblick. Opladen, Westdeutscher Verlag.

Rammert, W. (1997). Auf dem Weg zu einer post-schumpeterianischen Innovationsweise. Institutionelle Differenzierung, reflexive Modernisierung und interaktive Vernetzung im Bereich der Technikentwicklung. Technikentwicklung und industrielle Arbeit. D. Bieber. Frankfurt/M., Campus: 45-71.

Rammert, W. (1998). Giddens und die Gesellschaft der Heizelmännchen. Zur Soziologie technischer Agenten und Systeme Verteilter Künstlicher Intelligenz. Sozionik. Soziologische Ansichten über künstliche Sozialität. T. Malsch. Berlin, Edition Sigma: 91-128.

Rammert, W. (2002). The Cultural Shaping of Technologies and the Politics of Technodiversity. Shaping Technology, Guiding Policy: Concepts, Spaces & Tools. K. H. Sørensen and R. Williams. Cheltenham, Edward Elgar: 173-194.

Rammert, W. (2003). "Zwei Paradoxien einer innovationsorientierten Wissenspolitik: Die Verknüpfung heterogenen und die Verwertung impliziten Wissens." Soziale Welt 54(4): 483-508.

Rammert, W. (2007). Technik – Handeln – Wissen. Zu einer pragmatistischen Technik- und Sozialtheorie. Wiesbaden, VS.

- Rip, A. and J. W. Schot (2002). Identifying Loci for Influencing the Dynamics of Technological Development. *Shaping Technology, Guiding Policy: Concepts, Spaces and Tools*. K. H. Sørensen and R. Williams. Cheltenham, Edward Elgar: 155-172.
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusions of Innovations*. Detroit.
- Rosenberg, N. (1976). "Marx als Kenner der Technologie." *Monthly Review* 2(3): 58-77.
- Rosenberg, N. (1982). *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge, U. P.
- Rumelhart, C., McClelland, I. (Hg.) (1986). *Parallel Distributed Processing. Vol I. Foundations*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Sauer, D., Lang, C. (Hg.) (1999). *Paradoxien der Innovation. Perspektiven sozialwissenschaftlicher Innovationsforschung*. Frankfurt/M., Campus.
- Schmid, M. (1998). Rationales Verhalten und technische Innovation. *Bemerkungen zum Erklärungspotential ökonomischer Theorien. Technik und Sozialtheorie*. W. Rammert. Frankfurt/M., Campus: 189-224.
- Schulz-Schaeffer, I. (2007). *Zugeschriebene Handlungen. Ein Beitrag zur Theorie sozialen Handelns*. Weilervist: Velbrück (im Erscheinen).
- Schumpeter, J. (1912). *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. Berlin.
- Schumpeter, J. (1946). *Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie*. Bern, Francke (zuerst 1942).
- Schumpeter, J. (1961). *Konjunkturzyklen*. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht (zuerst 1939).
- Simon, H. (1954). "A Behavioural Theory of Rational Choice." *Quarterly Journal of Economics* 69: 99-118.
- Staudenmaier, J. M. (1985). *Technology's Storytellers: Reweaving the Human Fabric*. Cambridge/MA, MIT Press.
- Touraine, A. (1972). *Die postindustrielle Gesellschaft*. Frankfurt/M., Suhrkamp.
- Tushman, M., Rosenkopf, L. (1992). "Organizational Determinants of Technological Change: Towards a Sociology of Technological Evolution." *Research in Organization Behavior* 14: 311-347.
- Usher, A. P. (1954). *A History of Mechanical Invention*. Cambridge/MA, Harvard University Press.
- Utterback, J. M. (1994). *Mastering the Dynamics of Innovation*. Boston, Harvard Business School Press.

- van de Ven, A. H., Angle, H. L., Poole, M. S. (1989). *Research on the Management of Innovation: The Minnesota Studies*. New York, Ballinger, Harper & Row.
- van de Ven, A. H., Polley D. E., Garud, R., Venkataraman, S. (1999). *The Innovation Journey*. New York, Oxford University Press.
- von Hippel, E. (1988). *The Sources of Innovation*. Oxford, Oxford University Press.
- von Hippel, E. (2005). *Democratizing Innovation*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Weber, M. (1976). *Wirtschaft und Gesellschaft. Grundriß der verstehenden Soziologie*, 5. revidierte Auflage. Tübingen, Mohr (zuerst 1921).
- Werle, R. (1995). Rational Choice und rationale Technikentwicklung. Einige Dilemmata der Technikkoordination. *Technik und Gesellschaft. Jahrbuch 8*. Frankfurt/M., Campus: 49-76.
- Werle, R. (2002). Technik als Akteurfiktion. Können Maschinen handeln? W. Rammert, Schulz-Schaeffer, I. (Hg.). Frankfurt/M., Campus: 119-139.
- Werle, R. (2005). "Institutionelle Analyse technischer Innovation." *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 57: 308-332.
- Weyer, J. (2004). Von Innovationsnetzwerken zu hybriden soziotechnischen Systemen. Neue Perspektiven der Techniksoziologie. Technikvermittlung und Technikpopularisierung. Historische und didaktische Perspektiven. L. Bluma. Münster, Waxmann: 9-31.
- Weyer, J., U. Kirchner, et al. (1997). *Technik, die Gesellschaft schafft. Soziale Netzwerke als Orte der Technikgenese*. Berlin, Edition Sigma.
- White, L. (1962). *Medieval Technology and Social Change*. Oxford, U. P.
- Windeler, A. (2003). Kreation technologischer Pfade: ein strukturationstheoretischer Analyseansatz. *Strategische Prozesse und Pfade*. G. Schreyögg and J. Sydow. Wiesbaden, Gabler: 295-328.
- Windeler, A. and C. Schubert (2007). Technologieentwicklung und Marktkonstitution. Märkte als soziale Strukturen. J. Beckert, R. Diaz-Bone and H. Ganßmann. Frankfurt/M., Campus: 217-233.
- Winner, L. (1977). *Autonomous Technology. Technics-out-of-Control as a Theme in Political Thought*. Cambridge, MIT Press.

In der Reihe „Working Papers“ sind bisher erschienen:

2/2008	Holger Braun-Thürmann	Die Ökonomie der Wissenschaften und ihre Spin-offs Bestell-Nr.: TUTS-WP-2-2008
1/2008	Werner Rammert	Technik und Innovation Bestell-Nr.: TUTS-WP-1-2008
8/2007	Jörg Potthast	Die Bodenhaftung der Flugsicherung Bestell-Nr.: TUTS-WP-8-2007
7/2007	Kirstin Lenzen	Die innovationsbiographische Rekonstruktion technischer Identitäten am Beispiel der Augmented Reality-Technologie. Bestell-Nr.: TUTS-WP-7-2007
6/2007	Michael Hahne Martin Meister Renate Lieb Peter Bioniok	Sequenzen-Routinen-Positionen – Von der Interaktion zur Struktur. Anlage und Ergebnisse des zweiten Interaktivitätsexperimentes des INKA-Projektes. Bestell-Nr.: TUTS-WP-6-2007
5/2007	Nico Lüdtke	Lässt sich das Problem der Intersubjektivität mit Mead lösen? – Zu aktuellen Fragen der Sozialtheorie Bestell-Nr. TUTS-WP-5-2007
4/2007	Werner Rammert	Die Techniken der Gesellschaft: in Aktion, in Interaktivität und hybriden Konstellationen. Bestell-Nr. TUTS-WP-4-2007
3/2007	Ingo Schulz-Schaeffer	Technik als sozialer Akteur und als soziale Institution. Sozialität von Technik statt Postsozialität Bestell-Nr. TUTS-WP-3-2007
2/2007	Cornelius Schubert	Technology Roadmapping in der Halbleiterindustrie Bestell-Nr. TUTS-WP-2-2007
1/2007	Werner Rammert	Technografie trifft Theorie: Forschungsperspektiven einer Soziologie der Technik Bestell-Nr. TUTS-WP-1-2007
4/2006	Esther Ruiz Ben	Timing Expertise in Software Development Environments Bestell-Nr. TUTS-WP-4-2006
3/2006	Werner Rammert	Technik, Handeln und Sozialstruktur: Eine Einführung in die Soziologie der Technik Bestell-Nr. TUTS-WP-3-2006

2/2006	Alexander Peine	Technological Paradigms Revisited – How They Contribute to the Understanding of Open Systems of Technology Bestell-Nr. TUTS-WP-2-2006
1/2006	Michael Hahne	Identität durch Technik: Wie soziale Identität und Gruppenidentität im soziotechnischen Ensemble von Ego-Shooterclans entstehen Bestell-Nr. TUTS-WP-1-2006
7/2005	Peter Biniok	Kooperationsnetz Nanotechnologie – Verkörperung eines neuen Innovationsregimes? Bestell-Nr. TUTS-WP-7-2005
6/2005	Uli Meyer Cornelius Schubert	Die Konstitution technologischer Pfade. Überlegungen jenseits der Dichotomie von Pfadabhängigkeit und Pfadkreation Bestell-Nr. TUTS-WP-6-2005
5/2005	Gesa Lindemann	Beobachtung der Hirnforschung Bestell-Nr. TUTS-WP-5-2005
4/2005	Gesa Lindemann	Verstehen und Erklären bei Helmuth Plessner Bestell-Nr. TUTS-WP-4-2005
3/2005	Daniela Manger	Entstehung und Funktionsweise eines regionalen Innovationsnetzwerks – Eine Fallstudienanalyse Bestell-Nr. TUTS-WP-3-2005
2/2005	Estrid Sørensen	Fluid design as technology in practice – Spatial description of online 3D virtual environment in primary school Bestell-Nr. TUTS-WP-2-2005
1/2005	Uli Meyer Ingo Schulz-Schaeffer	Drei Formen interpretativer Flexibilität Bestell-Nr. TUTS-WP-1-2005
3/2004	Werner Rammert	Two Styles of Knowing and Knowledge Regimes: Between ‘Explication’ and ‘Exploration’ under Conditions of ‘Functional Specialization’ or ‘Fragmental Distribution’ Bestell-Nr. TUTS-WP-3-2004
2/2004	Jörg Sydow Arnold Windeler Guido Möllering	Path-Creating Networks in the Field of Text Generation Lithography: Outline of a Research Project Bestell-Nr. TUTS-WP-2-2004
1/2004	Corinna Jung	Die Erweiterung der Mensch-Prothesen-Konstellation. Eine technografische Analyse zur ‚intelligenten‘ Beinprothese

		Bestell-Nr. TUTS-WP-1-2004
10/2003	Cornelius Schubert	Patient safety and the practice of anaesthesia: how hybrid networks of cooperation live and breathe Bestell-Nr. TUTS-WP-10-2003
9/2003	Holger Braun- Thürmann Christin Leube, Katharina Fichtenau Steffen Motzkus, Saskia Wessäly	Wissen in (Inter-)Aktion - eine technografische Studie Bestell-Nr. TUTS-WP-9-2003
8/2003	Eric Lettkemann Martin Meister	Vom Flugabwehrgeschütz zum niedlichen Roboter. Zum Wandel des Kooperation stiftenden Universalismus der Kybernetik Bestell-Nr. TUTS-WP-8-2003
7/2003	Klaus Scheuermann Renate Gerstl	Das Zusammenspiel von Multiagentensystem und Mensch bei der Terminkoordination im Krankenhaus: Ergebnisse der Simulationsstudie ChariTime Bestell-Nr. TUTS-WP-7-2003
6/2003	Martin Meister, Diemo Urbig, Kay Schröter, Renate Gerstl	Agents Enacting Social Roles. Balancing Formal Structure and Practical Rationality in MAS Design Bestell-Nr. TUTS-WP-6-2003
5/2003	Roger Häußling	Perspektiven und Grenzen der empirischen Netzwerkanalyse für die Innovationsforschung am Fallbeispiel der Konsumgüterindustrie Bestell-Nr. TUTS-WP-5-2003
4/2003	Werner Rammert	Die Zukunft der künstlichen Intelligenz: verkörpert – verteilt – hybrid Bestell-Nr. TUTS-WP-4-2003
3/2003	Regula Burri	Digitalisieren, disziplinieren. Soziotechnische Anatomie und die Konstitution des Körpers in medizinischen Bildgebungsverfahren Bestell-Nr. TUTS-WP-3-2003
2/2003	Werner Rammert	Technik in Aktion: Verteiltes Handeln in soziotechnischen Konstellationen Bestell-Nr. TUTS-WP-2-2003
1/2003	Renate Gerstl, Alexander Hanft,	Modellierung der praktischen Rolle in Verhandlungen mit einem erweiterten Verfahren des fallbasierten

	Sebastian Müller, Michael Hahne, Martin Meister, Dagmar Monett Diaz	Schließens Bestell-Nr. TUTS-WP-1-2003
9/2002	Werner Rammert	Gestörter Blickwechsel durch Videoüberwachung? Ambivalenzen und Asymmetrien soziotechnischer Beobachtungsordnungen Bestell-Nr. TUTS-WP-9-2002
8/2002	Werner Rammert	Zwei Paradoxien einer Wissenspolitik: Die Verknüpfung heterogenen und die Verwertung impliziten Wissens Bestell-Nr. TUTS-WP-8-2002
6/2002	Martin Meister, Diemo Urbig, Renate Gerstl, Eric Lettkemann, Alexander Osthrenko, Kay Schröter	Die Modellierung praktischer Rollen für Verhandlungssysteme in Organisationen. Wie die Komplexität von Multiagentensystemen durch Rollenkonzeptionen erhöht werden kann Bestell-Nr. TUTS-WP-6-2002
5/2002	Cornelius Schubert	Making interaction and interactivity visible. On the practical and analytical uses of audiovisual recordings in high-tech and high-risk work situations Bestell-Nr. TUTS-WP-5-2002
4/2002	Werner Rammert Ingo Schulz-Schaeffer	Technik und Handeln - Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Artefakte verteilt. Bestell-Nr. TUTS-WP-4-2002
3/2002	Werner Rammert	Technik als verteilte Aktion. Wie technisches Wirken als Agentur in hybriden Aktionszusammenhängen gedeutet werden kann. Bestell-Nr.: TUTS-WP-3-2002
2/2002	Werner Rammert	Die technische Konstruktion als Teil der gesellschaftlichen Konstruktion der Wirklichkeit Bestell-Nr. TUTS-WP-2-2002
1/2002	Werner Rammert	The Governance of Knowledge Limited: The rising relevance of non-explicit knowledge under a new regime of distributed knowledge production Bestell-Nr. TUTS-WP-1-2002
2/2001	Ingo Schulz-Schaeffer	Technikbezogene Konzeptübertragungen und das Problem der Problemähnlichkeit. Der Rekurs der

		Multiagentensystem-Forschung auf Mechanismen sozialer Koordination Bestell-Nr. TUTS-WP-2-2001
1/2001	Werner Rammert	The Cultural Shaping of Technologies and the Politics of Technodiversity Bestell-Nr. TUTS-WP-1-2001
10/2000	Frank Janning Klaus Scheuermann Cornelius Schubert	Multiagentensysteme im Krankenhaus. Sozionische Gestaltung hybrider Zusammenhänge Bestell-Nr. TUTS-WP-10-2000
9/2000	Holger Braun	Formen und Verfahren der Interaktivität – Soziologische Analysen einer Technik im Entwicklungsstadium Bestell-Nr. TUTS-WP-9-2000
8/2000	Werner Rammert	Nichtexplizites Wissen in Soziologie und Sozionik. Ein kursorischer Überblick Bestell-Nr. TUTS-WP-8-2000
7/2000	Werner Rammert	Ritardando and Accelerando in Reflexive Innovation, or How Networks Synchronise the Tempi of Technological Innovation Bestell-Nr. TUTS-WP-7-2000
5/2000	Jerold Hage Roger Hollingsworth Werner Rammert	A Strategy for Analysis of Idea Innovation, Networks and Institutions National Systems of Innovation, Idea Innovation Networks, and Comparative Innovation Biographies Bestell-Nr. TUTS-WP-5-2000
4/2000	Holger Braun	Soziologie der Hybriden. Über die Handlungsfähigkeit von technischen Agenten Bestell-Nr. TUTS-WP-4-2000
3/2000	Ingo Schulz-Schaeffer	Enrolling Software Agents in Human Organizations. The Exploration of Hybrid Organizations within the Socionics Research Program Bestell-Nr. TUTS-WP-3-2000
2/2000	Klaus Scheuermann	Menschliche und technische ‚Agency‘: Soziologische Einschätzungen der Möglichkeiten und Grenzen künstlicher Intelligenz im Bereich der Multi-agentensysteme Bestell-Nr. TUTS-WP-2-2000
1/2000	Hans-Dieter Burkhard Werner Rammert	Integration kooperationsfähiger Agenten in komplexen Organisationen. Möglichkeiten und Grenzen der Gestal-

ung hybrider offener Systeme
Bestell-Nr. TUTS-WP-1-2000

1/1999 Werner Rammert

Technik Stichwort für eine Enzyklopädie
Bestell-Nr. TUTS-WP-1-1999