

Produktionstechnische Innovationsmuster: Strukturelle Veränderungen und Steuerungsprobleme

Hirsch-Kreinsen, Hartmut

Veröffentlichungsversion / Published Version

Sammelwerksbeitrag / collection article

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:

SSG Sozialwissenschaften, USB Köln

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Hirsch-Kreinsen, H. (1997). Produktionstechnische Innovationsmuster: Strukturelle Veränderungen und Steuerungsprobleme. In D. Bieber, M. Deiß, H. Hirsch-Kreinsen, & K. Schmierl (Hrsg.), *Neue Strukturen des Technikmarktes: zur Entwicklung und Auslegung von Rechnersystemen für die industrielle Produktion* (S. 33-57). München: Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V. ISF München. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-237956>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Produktionstechnische Innovationsmuster: Strukturelle Veränderungen und Steuerungsprobleme

1. Produktionstechnische Innovationsmuster
2. Fortlaufende Ausdifferenzierung des Innovationsmusters ...
3. ... aber bislang funktionierende Rückkopplungsmechanismen
4. Beschleunigter Wandel seit den 80er Jahren
5. Probleme der Rückkopplung
6. Zur Anpassungsfähigkeit von Netzwerken

1. Produktionstechnische Innovationsmuster

Die Besonderheiten von Produktionstechniken begründen sich darin, daß sie als Produktionsmittel zentrales Element im Prozeß industriell-kapitalistischer Rationalisierung sind und sich unter seinen spezifischen Bedingungen „bewähren“ müssen. Diese Techniken¹ müssen so beschaffen sein, daß sie eine in kosten- wie zeitmäßiger Hinsicht konkurrenzfähige Produktion von Waren hinreichender Qualität erlauben. Ihre Anwendung und ihre Innovation stehen unter dem Druck des Rentabilitätskalküls der Anwender, das auf die Minimierung von Innovationskosten und die Amortisierung vorhandener Maschinen und Anlagen drängt. Vorherrschend sind in der industriellen Produktion Prozesse „schleichender“ Rationalisierung, die auf eine nur schrittweise und allmähliche Weiterentwicklung und Modifizierung technischer Anlagen und Systeme setzen. Jeder Betriebspraktiker kennt zwar eine Vielzahl von Innovationsdefiziten der Anlagen in seinem Betrieb, weiß aber zugleich, daß diese aufgrund laufender Produktionserfordernisse und Kostenüberlegungen frühestens erst mit der nächsten oder gar übernächsten größeren Umstellung beseitigt werden können. Entwicklungssprünge oder „technologische Paradigmenwechsel“ (Dosi 1982), die durch die Nutzung von neuem wissenschaftlichen und technologischen Wissen oder grundlegend neuen industriellen Rationalisie-

¹

Unter Produktionstechnik werden Maschinen für Produktionsprozesse mit diskreten Bearbeitungsschritten verstanden; zentral sind hierfür Prozesse der Metallbearbeitung, d.h. Werkzeugmaschinen und damit zusammenhängende Rechnersysteme für die Planung, Steuerung und Organisation der Produktionsprozesse.

rungsstrategien angestoßen werden, sind daher eher die Ausnahme, und produktions-technische Entwicklung weist einen ausgeprägt inkrementellen Charakter auf.

Aufgrund dieses besonderen Charakters von Produktionstechniken sind ihre Entwicklungsprozesse auf den verschiedenen Stufen relativ direkt dem Einfluß von Anwenderinteressen und -problemen ausgesetzt, und es finden sich enge Rückkopplungsprozesse zwischen Entwicklung und Anwendung. Sofern produktions-technische Entwicklung überhaupt Gegenstand der bisherigen sozialwissenschaftlichen Technikforschung war, wurde sie deshalb als organisationsinterner und organisationsexterner „rekursiver“ Prozeß (Asdonk u.a. 1991) oder als „Kreislaufprozeß zwischen Entwicklung, Herstellung, Anwendung und Weiterentwicklung“ (Hirsch-Kreinsen 1993) begriffen.

Auszugehen ist nun davon, daß dieser Kreislaufprozeß innerhalb und zwischen Organisationen verläuft. In intra-organisationaler Perspektive handelt es sich dabei beispielsweise um das Zusammenspiel von Unternehmensbereichen und Abteilungen wie Forschung und Entwicklung, Konstruktion, Produktion und Vertrieb. Fraglos wird damit ein wichtiger Ausschnitt produktions-technischer Innovationsprozesse bezeichnet.² Die Relevanz des Anwendungsfeldes und der ökonomischen Interessen und Strategien potentieller Anwender von Produktionstechnik verweist jedoch auf den großen Einfluß inter-organisationaler Kreislaufzusammenhänge auf den Prozeß der Technikentwicklung. Wesentlich sind hierbei einmal die Austauschprozesse zwischen Herstellern und Anwendern,³ sowie - wie später gezeigt werden soll - die Rolle einer ganzen Reihe weiterer, sehr verschiedener Organisationen, Unternehmen, Institute und Akteure. Diese inter-organisationalen Arrangements kollektiver und korporativer Akteure wurden an anderer Stelle als „produktionstechnische Innovationsmuster“ gefaßt (Hirsch-Kreinsen 1993, S. 48 ff.). Versucht man, diese Arrangements genauer zu fassen, so lassen sich folgende Dimensionen herausarbeiten:

- Die Art des industriellen Anwendungsbezugs der Entwicklungsprozesse und die darüber sich konstituierende Hersteller-Anwender-Beziehung,
- die in diesem Zusammenhang vorfindbare Konstellation der Entwickler und Hersteller von Produktionstechnik sowie
- die damit verwobene Struktur des technischen Personals, das die Technikentwicklung im einzelnen trägt und vorantreibt.

² Innerbetriebliche Innovationsprozesse von Produktionstechniken standen in unterschiedlicher Perspektive bei einer Studie aus Bielefeld (Asdonk u.a. 1991) und vor allem bei zwei neueren SOFI-Studien im Zentrum der Fragestellung (Wolf u.a. 1992; Kalkowski u.a. 1995).

³ Die Relevanz von Hersteller-Anwender-Beziehungen für die Innovationsprozesse von Produktionstechniken arbeiten beispielsweise Deiß u.a. (1990) heraus.

Mit dem Begriff des Innovationsmusters wird die Ebene der am Innovationsprozeß beteiligten Institutionen und Organisationen und ihrer Austauschbeziehungen ins Zentrum der Analyse gerückt. Dieses Konzept steht im Kontext der derzeitigen „Renaissance institutionalistischen Denkens“ in der sozialwissenschaftlichen Technikforschung (Schneider, Mayntz 1995), das nicht zuletzt auch im Rahmen einer ganzen Reihe techniksoziologischer Untersuchungen über die Entstehungsbedingungen und Folgewirkungen großtechnischer Systeme seine Fruchtbarkeit bewiesen hat.

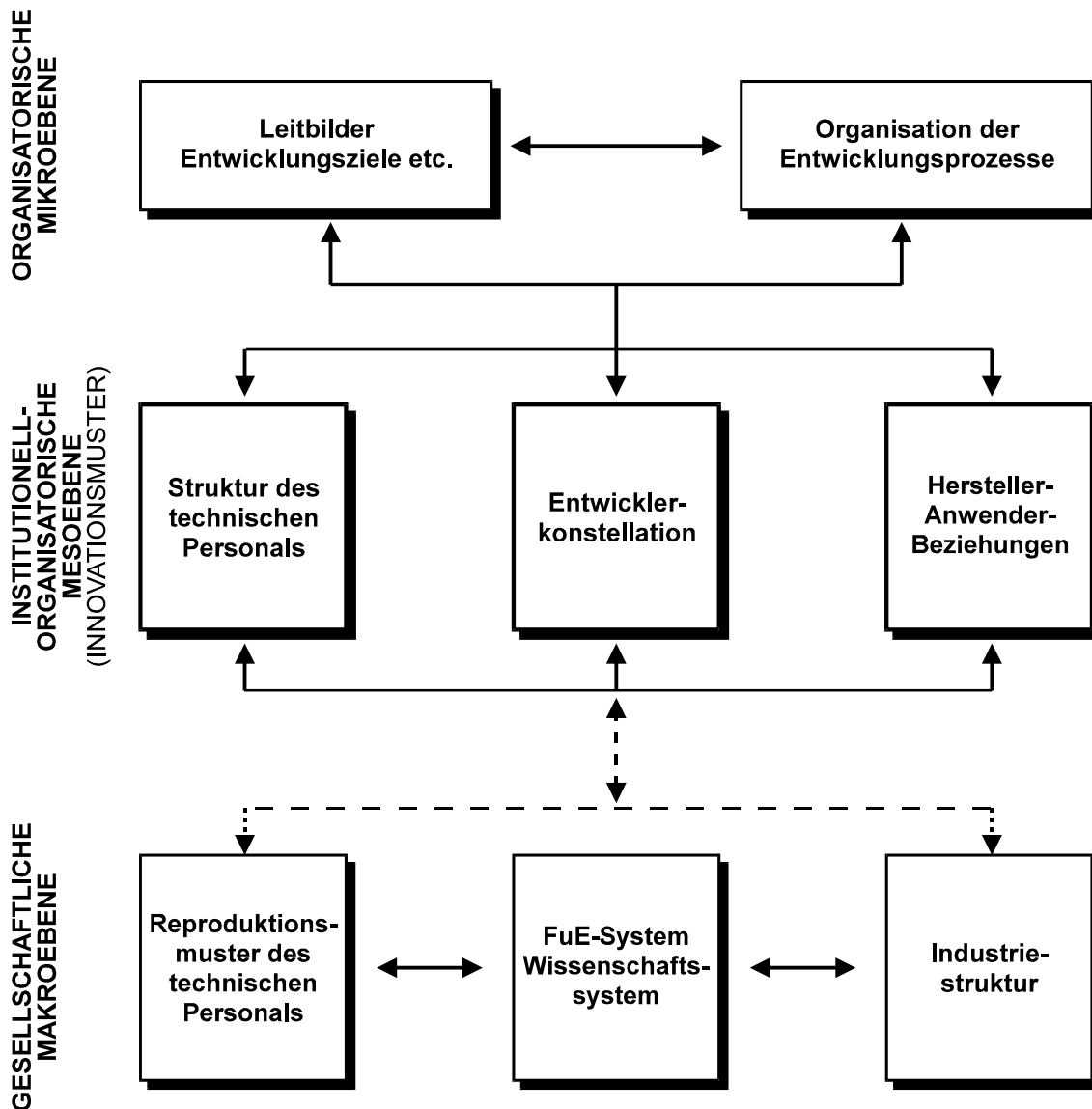
Techniksoziologisch zielt dieses Konzept auf eine doppelte Abgrenzung: Einerseits geht es um die (endgültige) Überwindung subsumtionstheoretischer Interpretationsansätze, die technische Entwicklung allein als Resultat ökonomischer oder auch technologisch-wissenschaftlicher „Sachzwänge“ begreifen (vgl. hierzu z.B. Krohn, Rammert 1985). Andererseits wird eine Grenzlinie zum Sozialkonstruktivismus in seinen verschiedenen Spielarten gezogen, in dessen Sichtweise Technik lediglich Resultat sozialer Aushandlungsprozesse auf der Mikroebene einzelner Organisationen ist, ohne daß institutionelle und gesellschaftsstrukturelle Einflüsse oder technologische Restriktionen Berücksichtigung finden (z.B. Pinch, Bijker 1984; Knorr-Cetina 1991).

Demgegenüber wird hier grundsätzlich Technikentwicklung als Prozeß gefaßt, der in seinem Verlauf den wechselseitigen Einflüssen verschiedener Ebenen ausgesetzt ist. Mit dem Begriff Innovationsmuster wird danach eine „Mesoebene“ der am Innovationsprozeß beteiligten Institutionen und Organisationen bezeichnet. Sie ist einerseits analytisch abzugrenzen gegenüber der „Mikroebene“ handelnder Individuen und Gruppen, denen sie einen Rahmen vorgibt. Gemeint sind hiermit beispielsweise die arbeitsorganisatorischen Formen der Entwicklungsprozesse und die jeweils verfolgten technischen Leitbilder und Entwicklungsziele. Die Mesoebene ist andererseits zu unterscheiden von der „Makroebene“ sozioökonomischer Strukturen: der jeweiligen Industriestruktur, der Beschaffenheit des Wissenschaftssystems und den Reproduktionsmustern des technischen Personals (vgl. dazu König 1993; Schneider, Mayntz 1995). Die institutionellen und organisatorischen Arrangements von Innovationsmustern sind freilich von den Momenten der beiden anderen Ebenen nicht unabhängig, ohne daß jedoch Determinationszusammenhänge gegeben sind (siehe nachstehende Abbildung).

Aufgrund der Relevanz ökonomischer und industriestruktueller Momente ist für den Verlauf der produktionstechnischen Entwicklung das Zusammenspiel der institutionellen Arrangements mit sozioökonomischen Bedingungen maßgeblich. Der Anwendungsbezug eines Innovationsmusters steht in engem Zusammenhang mit den jeweiligen Industriestrukturen und ihren charakteristischen markt- und produktionsökonomischen Bedingungen, die Entwicklerkonstellation verweist auf das jeweilige Wissenschafts- und Forschungssystem, und die Struktur des technischen Personals ist Resultat seiner gesellschaftlichen Reproduktionsverläufe. Über die damit zusammenhängenden Interes-

sen und Strategien der beteiligten Akteure werden die Pfade der Entwicklung bestimmt. In deren Rahmen sind fraglos in Hinblick auf die konkrete Auslegung einzelner Anlagen und Systeme Wahlmöglichkeiten gegeben, ihre Grenzen können indes nur schwer überschritten werden.

Innovationsbedingungen von Fertigungstechnik



Freilich sind Innovationsmuster langfristig nicht statisch. Sie verändern sich im Zusammenhang mit der fortschreitenden technischen Entwicklung wie aber auch in Folge der Dynamik sozioökonomischer Strukturen. Insofern ist der oben als Kreislaufprozeß gefaßte Zusammenhang zwischen Entwicklung, Anwendung und Weiterentwicklung kein technisch-ökonomischer Automatismus, sondern er unterliegt historisch vielfältigen Einflüssen und verändert sich beständig. Im folgenden soll diesen Veränderungsprozessen und ihren Konsequenzen für Technikentwicklung und Technikanwendung

genauer nachgegangen werden. Angeknüpft wird dabei an die These, daß im Verlauf der Industrialisierung Innovationsmuster produktionstechnischer Entwicklung in einem Prozeß fortlaufender Ausdifferenzierung begriffen sind (vgl. Bieber 1996). Folge ist die beständige Gefahr einer Autonomisierung der Institutionen der Technikentwicklung gegenüber der industriellen Praxis und den Interessen der Technikanwender.⁴ Es besteht ein Spannungsverhältnis zwischen den Institutionen der Technikentwicklung und den Erfordernissen der industriellen Praxis,⁵ das durch stets neue Formen von Rückkopplungsprozessen beherrschbar gemacht werden muß.

Die Rückkopplungsprozesse zeigten vor allem in der jüngeren Vergangenheit der letzten beiden Jahrzehnte bei der produktionstechnischen Entwicklung in Deutschland eine hohe Funktionsfähigkeit. Gegenwärtig erodieren sie aufgrund neuer wissenschaftlicher und technologischer Entwicklungspotentiale und besonders der krisenhaften ökonomischen Entwicklung, durch die die eingespielten institutionellen und organisatorischen Arrangements des Innovationsmusters unter nachhaltigen Veränderungsdruck geraten.

Diese These wird im folgenden in mehreren Schritten entfaltet: Erstens wird - ausgehend von generellen historischen Entwicklungstendenzen - das in Deutschland über Jahrzehnte hinweg eingespielte „praxisorientierte“ Innovationsmuster skizziert. Zweitens werden die Ursachen seiner beschleunigten Ausdifferenzierung untersucht und die damit verbundenen Folgen und Probleme für aktuelle und zukünftige Innovationsprozesse bezeichnet. Schließlich wird im Lichte dieser Befunde die aktuelle sozialwissenschaftliche Diskussion über die besondere Funktionsfähigkeit von Netzwerken für Innovationen aufgegriffen und kritisch beleuchtet.

2. Fortlaufende Ausdifferenzierung des Innovationsmusters ...

Historisch sind im Zuge der Industrialisierung schon frühzeitig Tendenzen einer Ausdifferenzierung der an produktionstechnischer Entwicklung beteiligten Institutionen und Organisationen erkennbar. Rosenbergs instruktive Analyse der Entstehung des amerikanischen Werkzeugmaschinenbaus (Rosenberg 1975) belegt diese Tendenz der Ausdifferenzierung schon für das letzte Jahrhundert. Zu nennen sind auf der Entwicklerseite

4 Dies im Sinne der Verselbständigung von Teilsystemen als generelles Folgeprobleme von Prozessen funktioneller Differenzierung. Verselbständigung meint hier die Fähigkeit von Teilsystemen zur Abwehr von externen Interventionen, zur Neutralisierung von Umwelteinflüssen und zur Immunisierung gegenüber den Interessen anderer Teilsysteme - sei es als Betroffene oder Abnehmer der Leistungen des sich verselbständigenden Teilsystems (Mayntz 1988, S. 36).

5 Industrielle Praxis umfaßt ein weites Feld kontingenter Bedingungen, die von den stofflichen Unwägbarkeiten der Fertigung bis hin zu nicht antizipierbaren sozialen Einflüssen reichen. Sowohl bei Anwendern als auch bei Entwicklern werden die daraus resultierenden Probleme häufig als ausschließlich technische und als technisch-wissenschaftlich lösbare angesehen.

hier Momente wie die Ausgründung eigenständiger Konstruktionsabteilungen und später selbständiger Maschinenbaufabriken, das Aufkommen von Forschungsinstitutionen und der Ingenieurwissenschaften und generell die die massive Zunahme technisch und wissenschaftlich gebildeten Personals. Auf der Anwenderseite korreliert dies mit einem Prozeß gleichfalls fortschreitender Ausdifferenzierung der Einsatzbedingungen von Technik durch die zunehmende Arbeitsteiligkeit von Produktionsprozessen und dem Aufkommen neuer Anwenderbranchen.

Im Verlauf der fortschreitenden Industrialisierung wurden die mit der Ausdifferenzierung verbindenden zentrifugalen Kräfte der an der Technikentwicklung beteiligten Akteure durch funktionierende Rückkopplungsmechanismen gebremst, und die Technikentwicklung blieb an die Bedingungen der industriellen Praxis gebunden. Es erhält sich über viele Jahrzehnte hinweg ein prekäres, in einzelnen historischen Phasen immer wieder gestörtes Gleichgewicht zwischen den aufgrund spezifischer Interessen und praxisferner Zielsetzungen und Leitbilder tendenziell autonom gesetzten Zielen und Kriterien der produktionstechnischen Entwicklung einerseits und den Erfordernissen industrieller Praxis andererseits.

In historischer Perspektive müßte der Frage genauer nachgegangen werden, in welchen Entwicklungsphasen dieses Spannungsverhältnis aufgrund auftretender institutioneller Brüche besonders schwierig zu beherrschen war. Vermutet werden kann dies beispielsweise für den Zeitraum um die letzte Jahrhundertwende, als sich in Deutschland die ingenieurwissenschaftlichen Institutionen herausbildeten und als neue, zunächst einmal praxisferne Institutionen den Prozeß der Technikentwicklung in ihrem an wissenschaftlichem Status und akademischer Reputation orientierten Interesse zu beeinflussen suchten. Eine ähnliche Situation ist für die 20er Jahre zu vermuten, als mit der Einführung des Elektromotors für die Maschinenantriebe statt der bis dahin verwendeten Transmissionsysteme mächtige, aber anwendungsferne Entwickler aus der Elektrotechnischen Industrie die Entwicklungsprozesse zu beeinflussen begannen. Den von ihnen verfolgten Entwicklungszielen ging es zunächst vermutlich mehr um die elektrotechnische Funktionsfähigkeit der entwickelten Komponenten denn um ihre praktische Anwendbarkeit unter den verschiedensten industriellen Bedingungen. Folge war, daß viele Anwender mit den neu konzipierten Maschinenantrieben zunächst einmal nichts anzufangen wußten. Schließlich läßt sich die nur zögerliche Einführung der NC-Technik bis Anfang der 70er Jahre und die damit verbundene Integration von Steuerungsherstellern in den Innovationsprozeß als eine solche Situation auffassen.

Rosenberg faßt das sich immer wieder einspielende Gleichgewicht als „technologische Konvergenz“. Gemeint ist damit, daß die gleichen oder ähnlichen technologischen Prinzipien und Verfahren in den verschiedensten, im Zuge der Industrialisierung sich fortlaufend ausdifferenzierenden Industriesektoren Verwendung finden. Rosenberg beschreibt diesen Prozeß am Beispiel der Diffusion und ständigen Verbesserung der Revolverdrehbank und der Universalfräsmaschine in den USA. Die Entwicklung dieser Techniken nahm im 19. Jahrhundert ihren Ausgangspunkt bei der Waffenherstellung,

um dann mit ständiger Anpassung und Weiterentwicklung in die Industrien der Nähmaschinenproduktion, Fahrradherstellung und schließlich der Automobilproduktion zu diffundieren. Diese Werkzeugmaschinen bildeten als verallgemeinerte Techniken eine wichtige fertigungstechnische Voraussetzung dafür, daß beispielsweise Massenproduktion in den USA sich durchsetzen konnte (vgl. auch Hounshell 1991).

Kern des Vorgangs technologischer Konvergenz verschiedener Industriezweige und Produktionsprozesse ist mithin der Transfer gleicher oder ähnlicher technologischer Prinzipien und Verfahren wie Fräsen, Drehen oder Schleifen von einzelnen, für spezialisierte Anwendungsfälle ausgelegten Maschinen und Anlagen hin zu generellen, in verschiedenen Industriezweigen und Prozeßtypen nutzbaren Fertigungstechniken. Dieser Prozeß des Transfers von Fertigungstechnik ist damit Voraussetzung wie auch Folge des industriellen Wachstumsprozesses, da er ökonomische Entwicklungsmöglichkeiten eröffnet und zugleich Resultat einer wachsenden Nachfrage nach neuen Fertigungstechniken ist. Wesentlicher Akteur war - so Rosenberg - die im 19. Jahrhundert aufkommende Werkzeugmaschinenindustrie, von deren Entwicklungs- und Innovationsfähigkeit es entscheidend abhing, daß die kostensenkenden und kapitalsparenden fertigungstechnischen Innovationen in der Industrie rasch diffundierten und ökonomisches Wachstum stimulierten.

3. ... aber bislang funktionierende Rückkopplungsmechanismen

Dieser Prozeß der „technologischen Konvergenz“ spielte sich in den letzten Jahrzehnten in Deutschland im Rahmen eines Innovationsmusters ein, das als „praxisorientiert“ charakterisiert werden kann (vgl. Hirsch-Kreinsen 1993). Es bezeichnet eine nur begrenzte Autonomisierung produktionstechnischer Entwicklung. Innovationen werden in diesem Rahmen in hohem Maße von anwendungspraktischer Erfahrung und Werkstattwissen und von daraus abgeleiteten ingenieurwissenschaftlichen Regelwissen und Systematiken bestimmt. Im einzelnen lassen sich folgende zentrale Rückkopplungsmechanismen zwischen den Akteuren der Technikentwicklung ausmachen:

(1) Erstens findet ein enges Zusammenspiel zwischen Entwicklern bzw. Herstellern einerseits und Anwendern andererseits im Rahmen relativ stabiler „Maschinenbaukulturen“ statt. Es handelt sich dabei um Marktsegmente, die sich einmal nach Bearbeitungsverfahren wie Drehen, Fräsen, Schleifen usw. unterscheiden. Zum anderen unterscheiden sie sich nach Anwendungsfeld und Kundenbezug, wie es die grobe Unterscheidung zwischen der Herstellung von Standardmaschinen für einen vergleichsweise anonymen Markt und der Entwicklung von Sondermaschinen für spezielle Anwendungsfälle deutlich werden läßt (z.B. Deiß u.a. 1990). Die Herstellung von Standardmaschinen orientiert sich in der Regel an einem bestimmten, etwa branchenmäßig abgrenzbaren An-

wendungsfeld, dessen spezifische Erfordernisse bei der Entwicklung der Maschinen unabhängig von den Bedingungen und Interessen einzelner Anwender Berücksichtigung finden; typisch ist hier der Fall eines Drehmaschinenherstellers, der seine Maschinenentwicklung vor allem auf die Anwendungsbedingungen einer großen Zahl von geographisch auf eine bestimmte Gegend sich konzentrierenden Kleinunternehmen und „Garagenbetrieben“ abstellt und dort auch seine Maschinen schwerpunktmäßig absetzt. Im Fall des Sondermaschinenbaus hingegen besteht in der Regel ein hoher und langjährig eingespielter Einfluß einzelner, u.U. großer Anwender auf die Entwicklung und Weiterentwicklung der technischen Systeme; derartige festgefügte Hersteller-Anwender-Beziehungen finden sich beispielsweise zwischen einzelnen Werkzeugmaschinenbetrieben und Automobilherstellern. Zwischen diesen verschiedenen Marktsegmenten bestehen horizontal nur wenig Kooperationsbezüge, wohl aber innerhalb dieser Segmente in vertikaler Hinsicht zwischen den Herstellern und den Anwendern. Basis für diese vergleichsweise enge Verschränkung⁶ ist ein hohes Maß an wechselseitiger Kenntnis der Interessen und Bedingungen der einzelnen Partner - soziologisch kann von „Vertrauen“ gesprochen werden (vgl. z.B. Mahnkopf 1994).

Besonderes Merkmal dieser vertikalen Kooperationsbezüge sind relativ enge langjährige Beziehungen zwischen Betrieben des Werkzeugmaschinenbaus und ingenieurwissenschaftlichen Instituten, über die Innovationsressourcen bereitgestellt werden. So existieren seit Jahrzehnten stabile und enge Formen der Zusammenarbeit zwischen dem Werkzeugmaschinenbau und einer ganzen Reihe von ingenieurwissenschaftlichen Maschinenbauinstituten verschiedener Technischer Universitäten und Hochschulen, an denen im direkten Auftrag von Werkzeugmaschinenbetrieben sowohl fertigungsorientierte Grundlagenforschung als auch angewandte Forschung und Entwicklung betrieben werden. Experten des Werkzeugmaschinenbaus sehen daher in diesen Kooperationsbeziehungen eine wichtige Grundlage für die kontinuierlichen Innovationsprozesse im Werkzeugmaschinenbau (vgl. auch Laske 1995; Ruth 1995).

(2) Zweitens basieren diese Kooperationsbeziehungen auf Personalstrukturen, die nicht nur intra-, sondern auch inter-organisatorisch eine hohe Kompatibilität und wechselseitige Durchlässigkeit aufweisen. Gewährleistet wird damit ein kontinuierlicher Fluß an Wissen und Erfahrungen zwischen den verschiedenen Organisationen der Technikentwicklung. Wichtige personell-qualifikatorische Basis dieser kooperativen Rückkopplungsschleifen ist ein fertigungspraktisch erfahrenes, zugleich aber auch wissenschaftlich gebildetes Entwicklungspersonal. Dies zeigt sich einmal an dem hohen Anteil von Fachschul- bzw. Fachhochschulabsolventen, der im Maschinenbau seit den 60er Jahren

6

Einer neueren, international vergleichenden Studie zufolge liegt hier ein großer Unterschied zum - immer wieder als beispielhaft diskutierten - japanischen Werkzeugmaschinenbau, wo der Bezug zu bestimmten Anwendungsfeldern sehr viel distanzierter ist (Ruth 1995).

bei durchschnittlich zwei Dritteln aller Ingenieure liegt (Tab. 1). Darüber hinaus stehen bislang Tätigkeiten und Karriereverläufe des technischen Personals in relativ engem Bezug zu betrieblichen Anwendungs- und Fertigungsproblemen. Die Arbeitsprozesse in den Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen zeichnen sich durch enge formelle und informelle Beziehungen zu Fertigungs- und Werkstattbereichen aus (vgl. insbesondere Wolf u.a. 1992; Kalkowski u.a. 1995). Innerhalb der Betriebe ist bis heute ein innerbetrieblicher Aufstieg aus der Werkstatt in die Konstruktionsabteilungen weit verbreitet. Nicht untypisch ist es, daß selbst die anspruchsvolleren Positionen über langjährige betriebliche Aufstiegsprozesse erreicht werden können, die in der Regel von einer Facharbeitertätigkeit ihren Ausgang nehmen.

Abschlußgrad	1961		1968		1982		1987	
	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %
TU-/TH-Abschluß	7.410	17,0	8.645	15,9	19.615	26,4	24.435	27,9
FH-Abschluß	28.910	66,3	37.865	69,4	48.520	65,3	58.835	67,1
Sonstiger Abschluß	7.280	16,7	8.040	14,7	6.165	8,3	4.430	5,0
	43.600	100,0	54.550	100,0	74.300	100,0	87.700	100,0
Quelle: VDMA 1988								
Tab. 1	Ingenieurstruktur im Maschinenbau nach Abschlußgrad							

Der kontinuierliche Wissensfluß wird schließlich durch industrienaher Karrieremuster von Ingenieurwissenschaftlern gesichert. So ist bekanntlich bisher der berufliche Werdegang von Maschinenbauprofessoren an erfolgreiche Karriereabschnitte in der Industrie gebunden. Auch auf der Assistentenebene existieren enge personelle Kontakte zwischen wissenschaftlichen Instituten und der Industrie, die über einen laufenden Personalwechsel von den Instituten in die Betriebe auf Dauer gestellt werden. Voraussetzung hierfür ist die traditionell hohe Kompatibilität zwischen der Branchenstruktur und den Konstruktionserfordernissen des Werkzeugmaschinenbaus einerseits und der Fachrichtungsstruktur der ingenieurwissenschaftlichen Institute andererseits; zu denken ist hier an Teildisziplinen des Maschinenbaus wie Zerspanungslehre, Konstruktionssystematik, Meßtechnik oder Automatisierungstechnik.

(3) Drittens ist die vermittelnde Funktion von Verbänden und ingenieurwissenschaftlichen Communities der verschiedensten Art zu nennen, die eine beständige Kooperation zwischen den Organisationen der Technikentwicklung sicherstellen. Zu nennen sind hier vor allem die bekannten Verbände wie der VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.), der vor mehr als 100 Jahren von der Industrie und Vertretern von Hochschulen gegründete VDW (Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V.), der VDI (Verein Deutscher Ingenieure) wie auch die AIF (Arbeitsgemeinschaft

industrieller Forschungsgemeinschaften). Die Verbände bieten bis heute im Rahmen fest etablierter Treffen und Gremien, an denen gleichermaßen Betriebsvertreter wie auch Wissenschaftler teilnehmen, die Möglichkeit zu kontinuierlichem Austausch von Erfahrungen und Know-how sowie zur Herstellung von Kontakten, aus denen dauerhafte FuE-Beziehungen hervorgingen und hervorgehen. Über die zum Teil staatlich finanzierte AIF werden finanzielle Mittel für anwendungsorientierte FuE-Projekte bereitgestellt, die in enger Kooperation zwischen wissenschaftlichen Instituten und Werkzeugmaschinenbetrieben bearbeitet werden.

Eine gewisse vermittelnde Rolle kommt darüber hinaus spätestens seit den 70er Jahren auch der staatlichen Technologiepolitik zu, insofern, als sie kooperative Prozesse zwischen den verschiedenen Akteuren der Technikentwicklung fördert und stützt. Zu nennen sind hier beispielsweise eine Reihe größerer produktionstechnischer Verbundprojekte wie die Entwicklung sog. Werkstattorientierter Programmierverfahren (WOP) oder die Förderung neuer Bearbeitungsverfahren (Hochgeschwindigkeitsfräsen). In ihrem jeweils begrenzten Feld kam diesen Projekten eine nicht unwichtige Beschleunigungsfunktion für die Entwicklung dieser Techniken zu.

Dieses - hier in seinen Grundzügen skizzierte - praxisbestimmte Innovationsmuster herrscht in der Bundesrepublik teilweise bis heute vor. Mit Sicherheit dominierte es die produktionstechnische Entwicklung bis weit in die 80er Jahre hinein. In seinem Rahmen wurden zuverlässig jene Produktionstechniken bereitgestellt, die sowohl für die Großunternehmen der Massen- und Serienfertigung als auch für eine große Zahl mittlerer und kleinerer Betriebe etwa aus dem Maschinenbau benötigt werden (vgl. z.B. auch Manske 1994).

4. Beschleunigter Wandel seit den 80er Jahren

Seit den 80er Jahre beginnen sich die institutionellen Arrangements produktionstechnischer Entwicklung beschleunigt auszudifferenzieren. Im einzelnen verändern sich die Arrangements des Innovationsmusters allerdings widerspruchsvoll: Einerseits ist eine wachsende Zahl vor allem von industriefernen Akteuren an den Innovationsprozessen beteiligt, andererseits ist in Teilbereichen produktionstechnischer Innovationen eine verstärkte Abschottung und Spezialisierung einzelner beteiligter Akteure beobachtbar. Die Rückkopplungsmechanismen, die bisher das prekäre Gleichgewicht zwischen den auf Autonomie drängenden Entwicklungsprozessen und den Erfordernissen der industriellen Praxis sichern, verlieren zunehmend an Wirksamkeit. Die Ursachen dieses Veränderungsprozesses liegen in neuen Nutzungspotentialen von Wissenschaft und Technologie wie aber auch in den industriestrukturellen Folgen der ökonomischen Krise der

letzten Jahre. Beide Ursachenbündel sind miteinander verschränkt und verstärken sich wechselseitig.

4.1 Neue Nutzungspotentiale von Wissenschaft und Technologie

Ein Bündel von Ursachen liegt in den wachsenden Nutzungspotentialen von Wissenschaft und Technologie, die sowohl den Charakter von Produktionstechnik als auch die damit verbundenen Entwicklerkonstellationen beträchtlich zu verändern beginnen. Die wissenschaftlichen und technologischen Potentiale werden nicht nur von der rasanten Entwicklung der Informatik und Computertechnologie, sondern auch von neuen, zu den bisherigen ingenieurwissenschaftlichen Fachrichtungen querliegenden Disziplinen wie Mikrosystemtechnik, Optik, Sensorik und den neuen Materialwissenschaften bestimmt (z.B. Meyer-Krahmer 1994). Diese Einflußgrößen induzieren einen Innovationsschub und eine erhebliche Komplexitätssteigerung von Produktionstechnik. Festmachen läßt sich diese Entwicklung am Einsatz neuer Werk- und Schneidstoffe, an modernen CNC-Steuerungen, an der fortschreitenden Integration verschiedener Bearbeitungsverfahren zu multifunktionalen Bearbeitungszellen, an der Weiterentwicklung flexibler Fertigungssysteme und den vielfältigen Formen von rechnerintegrierten Planungs- und Steuerungssystemen.

Die Entwicklung größerer wissenschaftlicher Potentiale und neuer Techniken läßt sich einmal - im Sinne eines „technology push“ - auf die in den letzten Jahrzehnten verstärkende „Eigendynamik“ der technischen Entwicklungsprozesse und vor allem der wissenschaftsimmanenten Generierung neuen Wissens zurückführen. Diese Prozesse stehen in Zusammenhang mit dem generellen Prozeß der „Industrialisierung der Wissenschafts- und Technikentwicklung“ und der Effektivierung ihrer Methoden und Verfahren, die zur beständigen Ausweitung und Komplexitätssteigerung der Wissensbestände führt (z.B. Lutz 1990).

Dieser Prozeß wird freilich verstärkt - ganz im Sinne eines „demand pull“ - von neuen Strategien der Rationalisierung und des Technikeinsatzes vieler Anwender, die sich in den letzten Jahren durchzusetzen beginnen. Diese gewandelten, systemisch auf den Gesamtprozeß der Produktion und der Wertschöpfungskette insgesamt gerichteten Rationalisierungsstrategien erfordern neue Produktionstechniken, die Bearbeitungs- und Organisationsfunktionen miteinander verknüpfen, Teilprozesse beschleunigen und sie zugleich informationstechnisch zu einem betrieblichen Gesamtsystem verknüpfen (Deiß, Hirsch-Kreinsen 1992). Voraussetzung hierfür ist die umfassende Ausschöpfung der Potentiale der Informatik und der Computertechnologie, vor allem die Ausnutzung der immer billigeren und leistungsfähigeren Systemkomponenten und ihre Verknüpfung mit den herkömmlichen konventionellen Produktionstechniken.

Institutionell und organisatorisch verbindet sich damit ein Prozeß der Ausdifferenzierung der bisherigen Akteure der Technikentwicklung. Vor allem löst sich die bislang vorherrschende hohe arbeitsprozessuale und institutionelle Identität von Entwicklung, Herstellung und Weiterentwicklung im Werkzeugmaschinenbau auf; die Werkzeugmaschinenbranche verändert ihre Strukturen nachhaltig (z.B. Kodema 1993). Der Werkzeugmaschinenbau verliert seine früher ausgeprägt singuläre Position als zugleich Entwickler und Hersteller von Produktionstechnik. Er gibt einen Teil seiner früheren Entwicklungsfunktionen an neu hinzutretende, teilweise in ausgeprägter Distanz zu den Erfordernissen industrieller Praxis stehende Akteure ab.

Zu nennen sind hier einmal die Entwickler von rechnergestützten Steuerungs- und Vernetzungskomponenten aus der Elektrotechnischen Industrie und der in den 80er Jahren schnell wachsenden Computer- und Software-Industrie. Es handelt sich dabei teilweise um Entwicklerunternehmen, die international agieren (z.B. Häusler 1990). Deren Entwicklungsstrategien haben nur einen begrenzten Bezug zu konkreten Anwendungssituationen. Sie zielen vielmehr auf eine möglichst breite Einsetzbarkeit standardisierter Techniken. Ferner gewinnt der Wissenschaftsbereich zunehmend stärkeren Einfluß auf die produktionstechnische Entwicklung; allen vorliegenden Befunden zufolge werden die Entwicklungsprozesse des Werkzeugmaschinenbaus FuE-intensiver, und es ist mehr grundlagenorientierte Entwicklung erforderlich. Typische Beispiele hierfür sind die häufig diskutierte Nutzung der Lasertechnologie für die Blechbearbeitung, die forcierte Entwicklung von CNC-Steuerungen mit integrierten Programmiersystemen zur Werkstattprogrammierung sowie die anwendungsreife Entwicklung neuer Bearbeitungsverfahren wie das Hochgeschwindigkeitsfräsen. Diese Entwicklungsschritte wurden in den 80er Jahren nicht mehr allein vom Werkzeugmaschinenbau, sondern in beträchtlichem Umfang auch in ingenieurwissenschaftlichen Instituten der Grundlagenforschung angegangen (z.B. Spur 1991). Nicht von der Hand zu weisen ist hierbei die Gefahr, daß die Entwicklungsprozesse zunehmend von Zielen und Interessen wissenschaftlicher Natur bestimmt werden, die sich zunächst ohne Berücksichtigung der Erfordernisse der industriellen Praxis auf die möglichst weitgehende Ausschöpfung der verfügbaren technologischen und wissenschaftlichen Potentiale richten.

Diese Ausdifferenzierung der institutionellen Arrangements der Technikentwickler korreliert mit einer Erosion der bislang relativ homogenen und praxisorientierten Strukturen des technischen Personals. Unübersehbar ist eine Verschiebung der Ingenieurstruktur in Richtung theoretisch ausgebildeter Ingenieure infolge der wachsenden Bedeutung von Mikroelektronik und Computerintegration in den Produkten des Werkzeugmaschinenbaus. Vorliegenden Daten zufolge nimmt schon in den 80er Jahren der Anteil der Maschinenbauingenieure vor allem zugunsten von Elektroingenieuren deutlich ab, während Informatiker einen langsam steigenden Anteil ausmachen; es steht zu erwarten, daß sich dieser Trend in den nächsten Jahren fortsetzt. Außerdem verschiebt sich deut-

lich das Verhältnis der Fachhochschulabsolventen zu den TU-/TH-Absolventen; kamen in den 60er Jahren auf einen Hochschulabsolventen ungefähr vier Absolventen der damaligen „Ingenieur-Schulen“, so sind es Ende der 80er Jahren nur noch zwei bis drei (Tab. 2).

Fachrichtung	1968		1982		1987		Veränderung 1982-87	
	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %
Maschinenbau	44.130	80,9	50.550	68,0	52.000	60,0	+ 2.050	+ 4,1
Verfahrenstechnik	1.370	2,5	3.350	4,5	4.300	4,9	+ 950	+ 28,4
Elektrotechnik	5.150	9,4	8.900	12,0	13.600	15,5	+ 4.700	+ 52,8
Wirtschaftsing.	--	--	1.550	2,1	4.750	5,4	+ 3.200	+ 206,5
Informatik	--	--	800	1,1	2.900	3,3	+ 2.100	+ 262,5
andere Fachrichtung	3.900	7,2	9.150	12,3	9.550	10,9	+ 400	+ 4,4
	54.550	100,0	74.300	100,0	87.700	100,0	+ 13.400	+ 17,9

Quelle: VDMA 1988

Tab. 2	Ingenieure im Maschinenbau nach Fachrichtungen
---------------	-------------------------------------------------------

Damit beginnen die bisherigen, praxisorientierten Tätigkeiten, Karrieremuster und vertikalen Wege des Wissenstransfers des technischen Personals zu erodieren. Dies betrifft einmal die entwicklerinternen Personalstrukturen, denen an dieser Stelle nicht weiter nachgegangen werden soll (vgl. Wolf u.a. 1992, S. 114 ff.; Kalkowski u.a. 1995, S. 153 ff.). Betroffen werden von dieser Erosion aber auch die bisherigen interorganisationalen Karrierewege von Ingenieurwissenschaftlern zwischen den industriellen und wissenschaftlichen Entwicklern, die zunehmend blockiert werden. Denn die Ausdifferenzierung der Entwicklerkonstellation läßt es schwerer werden, institutionelle und wissenschaftlich-disziplinäre Grenzen sowie die größer werdende Distanz zwischen Wissenschaftsbereich und industrieller Anwendung im Laufe eines Berufswegs zu überschreiten. Nicht zufällig finden sich daher im Bereich der Ingenieurwissenschaften vermehrt industrieferne und innerakademische Karriereverläufe, die nicht mehr den engen Praxisbezug wie früher aufweisen, sondern vielmehr auf besonderen wissenschaftlich-akademischen Leistungen basieren.

4.2 Ökonomischen Krise und Veränderungen der Industriestruktur

Der Prozeß der Ausdifferenzierung des Innovationsmusters läßt sich freilich nicht allein auf die neuen Nutzungspotentiale von Wissenschaft und Technologie zurückführen. Beschleunigt wird er, spätestens seit Beginn der 90er Jahre, von ökonomischen Momenten, die sich in den wachsenden Turbulenzen der industriellen Produktion und ihren sich

schnell wandelnden Rationalisierungserfordernissen begründen. Sie betreffen in unterschiedlicher Weise die Entwickler- und Anwenderseite.

a) Weitere Ausdifferenzierung der Entwicklerkonstellation

Auf der Entwickler- und Herstellerseite drängen eine intensiviertere Konkurrenz und ein steigender Kostendruck zu einer Konzentrierung auf zentrale Entwicklungs- und Produktionsfunktionen und der Verlagerung einer ganzen Reihe weiterer solcher Funktionen auf Zulieferer. So beschränken sich viele Werkzeugmaschinenhersteller zunehmend auf die Entwicklung, Montage und den Verkauf ihrer Produkte, während die Fertigung noch vor nicht allzu langer Zeit als „Herzstücke“ des jeweils eigenen Produktes charakterisierter Komponenten jetzt bei Zulieferunternehmen stattfindet.

Im einzelnen sind diese Veränderungen der Hersteller-Zulieferer-Beziehungen im Werkzeugmaschinenbau ein freilich widerspruchsvoller Prozeß. Unübersehbar ist eine zunehmende Tendenz der Zahl der Zulieferer, die sich vor allem durch ein immer breiteres Spektrum ihrer Spezialisierung auszeichnen. Begleitet ist diese Tendenz aber von ständigen Versuchen der Werkzeugmaschinenhersteller, die Zahl der Zulieferer zu begrenzen, um den Kooperationsaufwand kalkulierbar zu halten. Ähnlich wie in anderen Industriezweigen werden jetzt einzelne Zulieferer von wichtigen Komponenten, die früher von den Werkzeugmaschinenbauern selbst hergestellt wurden, enger an die Werkzeugmaschinenhersteller gebunden. Wo früher reine Marktbeziehungen vorherrschten, finden sich jetzt vielfach enge Kooperationsbeziehungen (vgl. hierzu ausführlicher den Beitrag von Schmierl in diesem Band).

Kostendruck und die konkurrenzbedingte Verkürzung der Innovationszyklen und -zeiten drängen zudem auf eine generelle Reorganisation der bisherigen Entwicklungs- und Konstruktionsprozesse und eine Abkehr von den vorherrschenden linear-sequentiellen Prozessen der Technikentwicklung zugunsten simultaner und parallel verlaufender Teilprozesse der Innovation. Betrifft dies zum einen die herstellerinternen Abläufe, so sind zum anderen aber auch inter-organisatorische Beziehungen zwischen den einzelnen Herstellern und Entwicklern davon betroffen: Notwendige Konsequenz ist eine Erweiterung der bisher dominanten vertikalen Kooperationsformen durch horizontale und zeitlich parallele Beziehungen zu anderen Maschinenherstellern, Lieferanten und weiteren Unternehmen und Institutionen (Rose 1995, S. 198 f.). Absehbare Folgen sind aufwendigere und komplexere Rückkopplungsschleifen zwischen den beteiligten Akteuren, insbesondere zwischen der steigenden Zahl von Entwicklern und Herstellern einerseits und den Anwendern andererseits.

b) Widerspruchsvolle Veränderungen der Hersteller-Anwender-Beziehungen

Begleitet wird dieser Prozeß der Ausdifferenzierung der Hersteller und Entwickler von der widerspruchsvollen Veränderung gewachsener Hersteller-Anwender-Beziehungen. Einerseits verlieren viele Hersteller ihren traditionellen und stabilen, oben als „Maschinenbaukultur“ apostrophierten, Bezug zur Anwendungspraxis. Zentrale Ursache hierfür ist die Tendenz zur Dezentralisierung von Unternehmen und der Verringerung der Fer-

tigungstiefe vieler Produktionsprozesse. Früher stabile Hersteller-Anwender-Beziehungen mit wenigen Partnern beginnen sich in Netzwerke mit einer tendenziell wachsenden Zahl von Akteuren zu wandeln. Verstärkend spielt hierbei die beschleunigte Internationalisierung der Produktion, d.h. der Tendenz zur Verlagerung von Produktionsstätten in die neuen Wachstumszonen der globalen Ökonomie eine wichtige Rolle. Dadurch weiten sich Absatzfelder des Werkzeugmaschinenbaus räumlich beträchtlich aus, die internationale Konkurrenz nimmt zu und die Anwendungsbedingungen variieren aufgrund der wachsenden Bedeutung divergierender national- und regionalspezifischer Produktionsmodelle zunehmend.

Andererseits findet durch die verstärkte Einbindung einzelner Werkzeugmaschinenhersteller in Zuliefernetzwerke großer Anwenderunternehmen eine Abschottung bestimmter Hersteller-Anwender-Beziehungen statt, die kaum mehr zugänglich sind für weitere Akteure. Teilweise finden sich neuerdings sehr intensive Beziehungen zwischen Herstellern und Anwendern, die unter dem Einfluß dominanter Großanwender von Fertigungstechniken geradezu exklusiven Charakter gewinnen. Dies betrifft nicht nur den bisherigen Sondermaschinenbau, sondern auch jene Bereiche, wo früher Werkzeugmaschinen standardmäßig hergestellt wurden. Vorliegenden Befunden zufolge werden beispielsweise bestimmte Werkzeugmaschinenhersteller systematisch in die Zulieferstrukturen großer Anwender (z.B. aus der Automobilindustrie oder der Elektrotechnischen Industrie) eingebunden (vgl. ausführlich Schmierl in diesem Band).

Damit in Zusammenhang steht schließlich der beschleunigte Wandel von Rationalisierungsprinzipien und -zielen, der die früheren als allgemein verbindlich akzeptierten, teilweise normativ sanktionierten Rationalisierungsmethoden und damit einhergehenden Grundsätze des Technikeinsatzes abgelöst hat. Im Zuge der Durchsetzung von Prinzipien „systemischer“ Rationalisierung sind die Entwickler tendenziell mit zunehmend komplexeren und vielfältigen Anwendungserfordernissen von Produktionstechnik konfrontiert; die organisatorischen Strukturen vieler Anwender befinden sich derzeit geradezu in einem rasanten Wandel und, um kostenträchtige Inkompatibilitäten zwischen Organisation und der dazugehörigen Technik zu vermeiden, muß die Entwicklung von Produktionstechnik mit diesem Prozeß schritthalten. Einen Hinweis hierauf gibt die ingenieurwissenschaftliche Diskussion über zukünftig sinnvolle Entwicklungsschwerpunkte von Werkzeugmaschinen und Produktionstechnik. Danach müsse in Zukunft ein breites Spektrum von Produktionstechniken verfügbar sein, das von einfachen handbedienbaren Universalwerkzeugmaschinen bis hin zu komplexen High-tech-Produktionssystemen reicht (z.B. Warnecke, Becker 1994). Auf der einen Seite müssen schnell und problemlos einsetzbare Maschinen möglichst billig und auch auf Dauer kostengünstig verfügbar sein. Auf der anderen Seite wachsen Spezifität und Komplexität der Anlagen und Systeme.

Unübersehbar war diese Situation in einem der untersuchten Anwenderbetriebe mit ca. 3.500 Beschäftigten, in dem komplexe Investitionsgüter hergestellt werden. Unter dem Druck einer weltweit massiven Konkurrenz und einem Preisverfall der Produkte von mehr als 30 % innerhalb eines Zeitraums von zwei Jahren war das Unternehmen gezwungen, seinen Fertigungsprozeß grundlegend zu rationalisieren. Basis hierfür war ein massiver Technisierungs- und Automatisierungsschub. Auf der einen Seite wurde eine begrenzte Zahl hochmoderner „stand-alone“-Werkzeugmaschinen für die Herstellung eiliger Sonder- und Ersatzteile angeschafft. Dabei handelte es sich um in ihren Abmessungen und Leistungsdaten relativ genau auf die Erfordernisse des Anwenderbetriebs abgestimmte, zugleich aber um leicht bedienbare, werkstattprogrammierbare Maschinen, die problemlos aufgestellt und in Betrieb genommen werden konnten.

Auf der anderen Seite wurden komplexe und über Leitrechner integrierte Maschinensysteme eingeführt, mit denen jeweils die komplette Herstellung großer Teile und Komponenten im Rahmen eines einzigen Arbeitsganges möglich wurde. Neben einer Beschleunigung der bisherigen Bearbeitungsprozesse zielten diese Anlagen vor allem auf die beträchtliche Reduktion von Zeiten für die Vorbereitung, das Beschicken und das Entladen der Maschinen. Neue Teile können jetzt, während die Maschinen andere Teile bearbeiten, aufgespannt werden, und sie können in einer Aufspannung ohne weitere Unterbrechungen in der Regel komplett bearbeitet werden. Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit dieser Anlagen waren freilich ihre spezifische Auslegung durch den Hersteller und vor allem ein schrittweiser und im einzelnen problembehafteter Einführungsprozeß mit langwierigen Probeläufen beim Anwender, in deren Verlauf die faktische Leistungsfähigkeit ausgetestet und teilweise noch die Auslegung verändert wurden.

Insgesamt ist der Trend zu spezialisierten, an je besondere Bedingungen anpaßbare Maschinen und Anlagen unübersehbar (VDI-Nachrichten 41/1995, S. 23). Die Werkzeugmaschinenentwicklung gewinnt damit Ähnlichkeiten mit der Entwicklung komplexer Software-Systeme: Deren Entwicklung ist nicht nach dem Modell der Herstellung eines fertigen Produkts zu begreifen, sondern als ein prinzipiell offener Prozeß, in dem sich Entwicklung, Auslegung und Implementation untrennbar miteinander verschränken.

5. Probleme der Rückkopplung

Es ist daher davon auszugehen, daß die in der Vergangenheit bewährten und eingespielten Rückkopplungsschleifen zwischen produktionstechnischer Entwicklung und Anwendung erodieren. Es ist zu bezweifeln, daß in Zukunft so zuverlässig wie in der Vergangenheit an betrieblichen Anwendungserfordernissen orientierte Produktionstechniken bereitgestellt werden.

Beispiele hierfür finden sich viele. Verwiesen sei einmal auf die nicht mehr sehr neue, aber immer wieder aufkeimende Diskussion um die Anwendungsprobleme flexibler Fertigungssysteme und Fertigungszellen, deren Konzeptionen in der Vergangenheit aufgrund technischer Anwendungsprobleme wie nicht beherrschbarer Komplexität und

damit einhergehenden Kosten ständigen Veränderungen unterlagen (vgl. z.B. schon Schulz 1986). Weiteres Beispiel ist die offensichtlich nach wie vor mangelnde Werkstattorientierung vieler CNC-Steuerungen von Werkzeugmaschinen. Dieses Problem wird in einschlägigen Fachkreisen schon seit langen Jahren intensiv diskutiert. Durchgreifende Veränderungen konnten jedoch bis heute nur begrenzt erreicht werden (z.B. Martin 1995).

Schließlich sei auf die Anwendungsschwierigkeiten von PPS-Systemen (Computergestützte Systeme der Produktionsplanung und Steuerung) verwiesen: Einerseits werden solche Planungs- und Steuerungssysteme - als „Organisationstechnologie“ gewissermaßen als funktionales Komplement zum Einsatz von Werkzeugmaschinen - seit langem als unabdingbar für die Effizienz von Produktionsprozessen angesehen, andererseits ist ihr praktischer Nutzen bis heute umstritten. Im Grunde ist es den entsprechenden Herstellern seit den 70er Jahren immer nur phasenweise gelungen, allenfalls für spezielle Anwendungsbedingungen problemlos einsetzbare Systeme dieser Art zu liefern; nicht überraschend ist daher, daß bis heute nicht wenige Betriebsleiter der Meinung sind, ihr Betrieb könne völlig auf ein solches System verzichten.⁷

Auszugehen ist insgesamt von einem wachsenden Spannungsverhältnis zwischen Tendenzen der Autonomisierung der Institutionen der Technikentwicklung einerseits und den sich schnell verändernden Erfordernissen der industriellen Praxis andererseits. Eine stabile „Allianz“ zwischen Entwicklern und Herstellern und Anwenderbetrieben, wie sie in der Vergangenheit im Bereich produktionstechnischer Entwicklung anzutreffen war, kommt entweder gar nicht mehr zustande oder wird doch immer wieder empfindlich gestört. Die früher eingespielten Vertrauensbeziehungen zwischen den Akteuren im Rahmen der relativ stabilen „Maschinenbaukulturen“ werden aufgebrochen. Maßgeblich industrieferne Entwickler verfolgen ganz offensichtlich Entwicklungsstrategien, die nur bedingt mit konkreten Anwendungserfordernissen kompatibel sind und die sich in hohem Maße an einer möglichst universellen Einsetzbarkeit standardisierter Technikkomponenten orientieren.

Umgekehrt sind viele Anwender kaum mehr an intensiven Beziehungen zu bestimmten Herstellern und an gemeinsamen Entwicklungsanstrengungen interessiert. Aufgrund des wachsenden Kostendrucks sind sie nur mehr am Preis einer Anlage oder eines Systems interessiert, und sie wollen sich die Möglichkeit eines jederzeitigen Wechsels zwischen verschiedenen Herstellern offenhalten (vgl. hierzu Schmierl in diesem Band). Wie ausgeführt, kommen daher dauerhafte Hersteller-Anwender-Beziehungen allenfalls in neuer Form punktuell zustande. Der Rationalisierungsdruck drängt viele Anwender dazu, möglichst speziell auf ihre Bedingungen ausgelegte und maßgeschneiderte Anlagen einzusetzen, deren Entwicklung sich allein in enger Zusammenarbeit mit ausgewählten

7

Die Anwendungsprobleme dieser Systeme werden instruktiv schon in verschiedenen arbeitssoziologischen Studien der 80er Jahre dokumentiert (Hirsch-Kreinsen 1984; Manske, Wobbe 1987; Hildebrandt, Seltz 1989; Manske 1991).

Entwicklern und Herstellern realisieren läßt. Andere Anwenderbetriebe sind daher infolge mangelnder Alternativen auf den Einsatz von Produktionsmitteln angewiesen, die nicht mit ihren spezifischen Anwendungsbedingungen kompatibel sind, vielfältige Anwendungsprobleme nach sich ziehen und daher nur einen suboptimalen Einsatz ermöglichen. Dies gilt nicht zuletzt auch für die Frage, welche Formen der Arbeitsorganisation an diesen Anlagen realisierbar sind und inwieweit beispielsweise die Reproduzierbarkeit von Qualifikationen und Erfahrungen der Arbeitskräfte gewährleistet ist.⁸

Insgesamt verhindern diese Entwicklungsmomente, daß der eingangs angeführte Prozeß der „technologischen Konvergenz“, d.h. eben die praxisorientierte Entwicklung und breite Diffusion von Produktionstechnik, auch in Zukunft wie bisher problemlos vonstatten gehen. Mit dem Erlahmen der über lange Jahrzehnte hinweg wirksamen Rückkopplungsmechanismen verbinden sich erhebliche Steuerungs- und Koordinationsprobleme produktionstechnischer Entwicklung. Faßt man die hierfür genannten Ursachen zusammen, so zeigen sich vordringlich folgende Probleme:

- Die fortschreitende institutionelle und organisatorische Differenzierung des Innovationsmusters ist bislang nicht von einer entsprechenden Anpassung und Veränderung der Abstimmungs- und Rückkopplungsprozesse zwischen den beteiligten Akteuren begleitet. Es fehlen bislang sowohl in vertikaler als auch horizontaler Richtung komplexere Rückkopplungsmechanismen, die die bisherige zentrale, steuernde Rolle des Werkzeugmaschinenbaus im Rahmen der institutionellen Arrangements ersetzen und die nicht zuletzt auch die immer kürzeren Innovationszeiten und Innovationszyklen für die Entwickler und Hersteller beherrschbar werden lassen.
- Nicht erkennbar ist weiterhin, wie die neuen Segmentationslinien zwischen den Arrangements einzelner Akteure dauerhaft überwunden werden können: Horizontal geht es um die voneinander abgeschotteten neuen Marktsegmente, die unter der Dominanz einiger weniger Großanwender stehen; in vertikaler Hinsicht handelt es sich um die Distanz zwischen relevanten Entwicklern und Herstellern auf der einen Seite und den Anwendern auf der anderen Seite.
- Angesichts der zunehmenden Breite technologischer Potentiale und technischer Gestaltungsalternativen fehlen zudem Orientierungswissen und neue Leitbilder zukünftiger Technikentwicklung, über die divergierende Entwicklungsperspektiven

⁸

An diesem Zusammenhang zwischen Technikentwicklung und ihren nur unzureichenden Anwendungsmöglichkeiten konvergieren die Fragestellungen der Technikfolgen- und Technikgeneseforschung. Eine Forschungsperspektive, die zwar immer wieder postuliert, praktisch aber bislang selten eingelöst wurde. Eine wichtige Ausnahme bilden hier die Arbeiten von Böhle und Rose zur Entwicklung und qualifikationsorientierten Einsetzbarkeit von Produktionstechniken, besonders von CNC-gesteuerten Werkzeugmaschinen (z.B. Böhle, Rose 1992; Rose 1995).

gebündelt und eine neue Verständigungsbasis der heterogenen Akteure der Technikentwicklung geschaffen werden können. Verstärkend wirken hier die disziplinären Grenzen zwischen den verschiedenen jetzt an Technikentwicklung beteiligten Wissenschaftsdisziplinen, die einen problemlosen Personen- und Wissenstransfer immer unwahrscheinlicher machen.

Entscheidend für die zukünftige Funktionsfähigkeit produktionstechnischer Innovationsprozesse sind mithin neue Formen von Austausch- und Rückkopplungsprozessen, die diese Probleme bewältigen und dauerhaft funktionsfähige Beziehungen zwischen Technikentwicklung und industrieller Praxis wiederherstellen. Als Ansatzpunkt bieten sich hier die Verbände wie auch die staatliche Technologiepolitik an, deren bisherige vermittelnde Funktion zwischen den Akteuren allerdings deutlich ausgeweitet werden müßte. Derzeit erscheint es allerdings als fraglich, ob die Verbände in der Lage sind, diese neuen Anforderungen zu bewältigen. Denn, wie bekannt, sind vor allem die Industrieverbände derzeit ihrerseits massiv von den Prozessen der Ausdifferenzierung der Industriestruktur und den heterogenen Interessen und Strategien der einzelnen Unternehmen betroffen, was sie vor tiefgreifende Bestandsprobleme stellt und ihre Aktionsfähigkeit zunehmend beschneidet (z.B. Mundorf 1995).

6. Zur Anpassungsfähigkeit von Netzwerken

Die Befunde über die Veränderungen des produktionstechnischen Innovationsmusters in Deutschland und die daraus resultierenden Probleme der Abstimmung und Koordination zwischen den beteiligten Akteuren lassen sich mit den Ergebnissen der Innovationsforschung, insbesondere mit denen der sozialwissenschaftlichen Netzwerkforschung verknüpfen. Obgleich nun keineswegs neu, werden die Ergebnisse dieser Forschungsrichtung neuerdings verstärkt auch in der techniksoziologischen Forschung rezipiert (vgl. z.B. Kowol, Krohn 1995). Danach steht außer Frage, daß für die Bewältigung komplexer Innovationsprobleme rein preislich bestimmte, marktförmige oder auch hierarchische Austauschprozesse allein kaum ausreichend sind. Vielmehr wird das Modell der Kooperation in Netzwerken als besonders funktionsfähige, zukunftsweisende und vor allem sich intensivierende Form von Austauschbeziehungen für die Bewältigung kontinuierlicher, zugleich aber von Interdependenz und Unbestimmtheit gekennzeichneten Innovationsanforderungen angesehen. Die Innovationsfähigkeit kooperativer Netzwerke wird damit begründet, daß sie verschiedenartige Kompetenzen bündeln, über ein breites Feld verschiedenartiger wie auch redundanter Ressourcen verfügen, einen relativ ungehinderten und raschen Zugang zu dem notwendigen Innovationswissen gewährleis-

ten und nicht zuletzt die Abstimmung divergierender Interessen der beteiligten Akteure ermöglichen.⁹

Diesem Modell kooperativer Austauschbeziehungen in Netzwerken kam grosso modo das praxisorientierte Innovationsmuster der Produktionstechnik in Deutschland sehr nahe. Es erwies seine Leistungsfähigkeit unter den sozioökonomischen Bedingungen der 70er und 80er Jahre vor allem auf dem expandierenden Werkzeugmaschinenmarkt in Westeuropa. Mehr oder weniger friktionslos wurde beispielsweise die NC-Technik in die existierenden produktionstechnischen Konzepte integriert und damit einer wachsenden Anwendernachfrage nach Lösungen flexibler Automatisierung nachgekommen. Dies war sicherlich eine der wesentlichen Voraussetzungen für den ökonomischen Erfolg des westdeutschen Werkzeugmaschinenbaus in den 80er Jahren. Die kooperativen Grundstrukturen des praxisorientierten Innovationsmusters gelten daher auch im internationalen Vergleich bis heute als besonderer Innovationsvorteil des westdeutschen Werkzeugmaschinenbaus. Beispielsweise wurden die Schwierigkeiten des französischen Werkzeugmaschinenbaus seit dem Ende der 70er Jahre und der rasante Schrumpfungsprozeß des amerikanischen Werkzeugmaschinenbaus in den 80er Jahren u.a. darauf zurückgeführt, daß in diesen Ländern kooperative Innovationsstrukturen weitgehend fehlten. Strukturelle Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit der kooperativen Strukturen in Deutschland war - wie angedeutet - ein überschaubares Geflecht an Innovationsprozessen beteiligter Akteure vor dem Hintergrund damals noch relativ stabiler sozioökonomischer Bedingungen. Im Rahmen dieser stabilen Außenbedingungen wurden die kooperativen Entwicklungsprozesse „vorgesteuert“ von den potentiellen oder tatsächlichen Anwendern und moderiert von den Verbänden sowie partiell von der staatlichen Technologiepolitik; nur in den Ausnahmefällen des reinen Sondermaschinenbaus konnte von einer Dominanz einzelner Anwender gesprochen werden (March u.a. 1989; Maurice, Sorge 1990; Hirsch-Kreinsen 1993).

Angesichts der wachsenden Turbulenzen der industriellen und ökonomischen Entwicklung läuft dieses Modell jedoch in Gefahr, in Zukunft zu versagen. Wie gezeigt, geraten die bestehenden Austausch- und Koordinationsprozesse infolge des Prozesses der institutionellen Ausdifferenzierung unter Anpassungs- und Veränderungsdruck. Dabei zeichnet sich bislang kein eindeutiges Veränderungsmuster ab: Einerseits beginnen sich früher eingespielte Arrangements aufzulösen, ohne daß neue dauerhafte Austauschprozesse erkennbar wären, andererseits entstehen partiell festgefügte neue Interaktionsbeziehungen zwischen einzelnen Herstellern und Anwendern.

Offensichtlich stößt der Erfolgsweg der Vergangenheit, Innovationen arbeitsteilig und zugleich kooperativ zu bewältigen, an eine Grenze, die Resultat seiner vergangenen

⁹ Vgl. hierzu zusammenfassend auch Semlinger 1993; Fritsch 1996.

Effizienz ist. Netzwerkstrukturen waren in der Vergangenheit die Voraussetzung für die hohe Lernfähigkeit der beteiligten Akteure und die ständige Verbesserung technischer Innovationen durch die immer weiter gehende Ausschöpfung wissenschaftlicher und technologischer Potentiale. Sie bildeten damit eine wichtige Voraussetzung für den Prozeß der industriellen Entwicklung und des ökonomischen Wachstums vor allem in der Zeit der Nachkriegsprosperität. Forciert durch die ökonomischen Krisentendenzen erreichen nun aber Arbeitsteiligkeit, Komplexität und Verwissenschaftlichung der technischen Lösungen ein Maß, das die bisherigen Koordinationsmechanismen und Austauschprozesse überfordert und auf den Wandel der bestehenden Netzwerkstrukturen drängt.

Freilich scheint sich dieses Phänomen nicht allein auf den Bereich produktionstechnischer Entwicklung zu beschränken. Denn wie Kubicek und Seeger (1994) anhand von neueren Forschungsergebnissen aus drei sehr unterschiedlichen Bereichen technischer Entwicklung zeigen, läßt sich generell eine „Organisationslücke“ technischer Innovationsprozesse diagnostizieren. Danach kann insgesamt davon gesprochen werden, daß die Koordinations- und Steuerungsmechanismen technischer Innovationen derzeit massiven Veränderungsprozessen unterliegen; eingespielte Akteurskonstellationen versagen, und neue Formen und Arenen der Koordination zeichnen sich allenfalls rudimentär ab. Erkennbar sind derartige Problemlagen sowohl bei massenproduzierten technischen Gütern wie der Schreibmaschine und dem Automobil, deren Entwicklungsprozesse derzeit nachhaltigen Veränderungen unterliegen, als auch bei elektronischen Kommunikations- und Informationssystemen sowie bei großtechnischen Infrastruktursystemen. Insbesondere bei letzteren erzeugt der Prozeß der Komplexitätssteigerung, des Wachstums und der Ausdifferenzierung, der in der Vergangenheit Bedingung ihrer fortschreitenden Verbreitung war, neuen Koordinations- und Steuerungsbedarf.

Damit wird die Frage nach den „Lernprozessen und Lernfähigkeit von Netzwerken“ (Kubicek, Seeger 1994, S. 37), d.h. ihrer Anpassungs- und Wandlungsfähigkeit, aufgeworfen.¹⁰ Resümiert man die hierzu vorliegenden Überlegungen und Forschungsergebnisse etwa aus der Politikwissenschaft wie aber auch der Innovationsökonomie, so steht zu bezweifeln, daß diese Prozesse problemlos zu bewerkstelligen sind. Vielmehr ist, wie die vorliegenden Befunde aus dem Bereich produktionstechnischer Entwicklung belegen, von nicht unbeträchtlichen Anpassungs- und Wandlungsproblemen bestehender und eingespielter Netzwerke auszugehen. Für die sozialwissenschaftliche Technik- und Innovationsforschung begründen sich darin eine Reihe neuer Themenfelder und Fragestellungen.

¹⁰ Eine Frage, die über den Mainstream der Netzwerkdiskussion insofern hinausweist, als diese bislang hauptsächlich die Entstehungs- und Funktionsbedingungen von Netzwerken thematisiert.

Als zentrales Problem der Veränderungen müssen die in die bisherigen institutionellen Arrangements eingebetteten Verhandlungsprozesse angesehen werden; besonders ausgeprägt finden sie sich zwischen gleichberechtigten Akteuren, aber auch eher hierarchisch verfaßte Netzwerke basieren zu einem Gutteil auf Verhandlungsprozessen. Sie waren in der Vergangenheit insofern vorteilhaft, als sie eine kontinuierliche und langfristige angelegte Zusammenarbeit trotz widersprüchlicher Interessen der Beteiligten gewährleisten konnten. Möglich waren damit eben die schrittweisen, inkrementellen Innovationsprozesse entlang eingespielter Pfade, mit denen, wie im Fall von Produktionstechnik, relativ stabile Anwendererfordernisse hinreichend bewältigt werden konnten. Diese Verhandlungsprozesse erweisen sich angesichts der jetzt turbulenten Anforderungen zunehmend aber als Nachteil, da sie den notwendigen Prozeß institutioneller Veränderung kaum in der erforderlichen Schnelligkeit in Gang zu setzen in der Lage sind. Als ursächlich können hierfür folgende Momente angesehen werden:

- Einmal basieren die dem Netzwerkmodell inhärenten Verhandlungsprozesse auf einer Kompromißlogik, die institutionelle Veränderungen im bestehenden Kooperationsgefüge sehr erschwert, ja möglicherweise Veränderungen blockiert. Denn durch institutionelle Veränderungen drohen im Netzwerk eingespielte Macht- und Ressourcenkonstellationen in Frage gestellt zu werden, was wohl kaum auf die notwendige Zustimmung aller beteiligter Akteure stoßen wird. Zu vermuten ist, daß im Gegenteil Schließungsprozesse induziert werden (z.B. Mayntz 1992).
- Zweitens wird diese Gefahr der Blockade der kooperativen Selbststeuerungsprozesse verstärkt durch die wachsende Zahl der beteiligten Akteure. Es stellt sich das „Problem der großen Zahl“, das insbesondere angesichts der interdependenten Beziehungen der Akteure übermäßige Anforderungen an die Informationsverarbeitungs- und Konfliktregelungskapazität von Netzwerken stellt. Diese Anforderungen sind nicht ohne weiteres zu bewältigen und können daher die Funktionsfähigkeit von Netzwerken deutlich einschränken (z.B. Messner 1994).
- Drittens ist offen, wie der Widerspruch zwischen dem langwierigen Charakter von Verhandlungs- und Konsensfindungsprozessen einerseits und dem wachsenden Zeitdruck, unter dem Innovationen stehen, andererseits gelöst werden kann.
- Schließlich wird durch neu hinzutretende Akteure ein Wandel der Verhandlungsroutinen, der Orientierungen und Leitbilder erforderlich, der kaum friktionslos bewältigt werden dürfte. Nicht zuletzt geht es hierbei um die Nutzung von neuem Wissen, das nicht ohne weiteres übertragbar und in bestehende Entwicklungskonzepte integrierbar ist. So ist die Übernahme neuen Wissens vielfach nur mit erheblichem Aufwand und Zusatzkosten möglich, und es setzt vielfach eine qualitativ

spezifische Verarbeitungskapazität bei den aufnehmenden Akteuren voraus (Fritsch 1996).

Es stellt sich mithin die Frage, wie dieser strukturelle Konservatismus überwunden werden kann und inwieweit sich hierfür ein Steuerungszentrum herausbilden muß, das - im Fall produktionstechnischer Entwicklung - weit über die bisherige Moderationsfunktion der Verbände und der staatlichen Technologiepolitik hinausgeht.

Welche Formen von Netzwerken in Zukunft besondere Bedeutung für technische Innovationen erlangen werden, ist daher schwer zu sagen und muß Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten sein. Denkbar ist, daß sich ein weites Spektrum sehr verschiedener Formen von Netzwerken herausbildet. Einerseits ist nicht auszuschließen, daß Innovationsbeziehungen nur mehr sachlich und zeitlich punktuellen, jeweils verschiedene Akteure umfassenden Charakter gewinnen. Die von Voskamp und Wittke (1994) beobachtete „virtuelle Kooperation“ im Bereich von Innovationsprozessen der Halbleiterentwicklung weist in diese Richtung, und es ist nicht auszuschließen, daß derartige Kooperationsformen auch im Bereich der Produktionstechnik Platz zu greifen beginnen. Andererseits sind vertiefte Prozesse der Segmentierung und Abschottung einzelner, spezialisierter Innovationsnetzwerke, die eine dauerhafte Kooperation weniger, u.U. sehr spezialisierter Partner umfaßt, nicht auszuschließen. Indes ist es in beiden Fällen offen, ob die Innovationsprozesse mit der vielfach gewünschten Effizienz verlaufen und ihre Entwicklungsergebnisse problemlos verallgemeinerbar sind, d.h. der Prozeß technologischer Konvergenz auch in Zukunft problemlos verläuft.

Literatur

- Asdonk, J.; Bredeweg, U.; Kowol, U.: Innovation als rekursiver Prozeß. In: Zeitschrift für Soziologie, Heft 4, 20. Jg., 1991, S. 290-304.
- Bieber, D. (Hrsg): Technikentwicklung und Industriearbeit, Frankfurt/New York 1996 (Veröffentlichung in Vorbereitung).
- Böhle, F.; Rose, H.: Technik und Erfahrung - Arbeit in hochautomatisierten Systemen, Frankfurt/New York 1992.
- Deiß, M.; Döhl, V.; Sauer, D., unter Mitarbeit von Altmann, N.: Technikherstellung und Technikanwendung im Werkzeugmaschinenbau - Automatisierte Werkstückhandhabung und ihre Folgen für die Arbeit, Frankfurt/New York 1990.
- Deiß, M.; Hirsch-Kreinsen, H.: Markt und Produktionstechnik - Zur Genese von CIM-Systemen. In: J. Bergstermann; Th. Manz Th. (Hrsg.): Technik gestalten, Risiken beherrschen, Berlin 1992, S. 139-158.
- Dosi, G.: Technological Paradigms and Technological Trajectories. In: Research Policy, No. 11, 1982, pp. 147-162.
- Freeman, C.: Networks of Innovators: A Synthesis of Research Issues. In: Research Policy, No. 20, 1991, pp. 499-514.

- Fritsch, M.: Arbeitsteilige Innovation - Ein Überblick über neuere Forschungsergebnisse. In: D. Sauer; H. Hirsch-Kreinsen (Hrsg.): Zwischenbetriebliche Arbeitsteilung und Kooperation, Frankfurt/New York 1996 (Veröffentlichung in Vorbereitung).
- Häusler, J.: Zur Gegenwart der Fabrik der Zukunft: Forschungsaktivitäten im Maschinenbau, MPIFG Discussion Paper 90/1, Köln 1990.
- Hildebrandt, E.; Seltz, R.: Wandel betrieblicher Sozialbeziehungen durch systemische Kontrolle? Berlin 1989.
- Hirsch-Kreinsen, H.: Organisation mit EDV, Frankfurt 1984.
- Hirsch-Kreinsen, H.: NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozeß - Amerikanische und deutsche Innovationsmuster der Fertigungstechnik, Frankfurt/New York 1993.
- Hounshell, D.A.: From the American System to Mass Production, 1800-1932, 3. Auflage, Baltimore/London 1991.
- Kalkowski, P.; Mickler, O.; Manske, F.: Technologiestandort Deutschland - Produktinnovationen im Maschinenbau: traditionelle Stärken - neue Herausforderungen, Berlin 1995.
- Knorr-Cetina, K.: Die Fabrikation von Erkenntnis, revidierte und erweiterte Fassung, Frankfurt 1991.
- Kodema, F.: Technologiefusion - der Weg zu den Zukunftsmärkten. In: HarvardBusinessmanager, 15. Jg., 1993.
- König, W.: Technik, Macht und Markt - Eine Kritik der sozialwissenschaftlichen Technikgeneseforschung. In: Technikgeschichte, Heft 3, 1993, S. 243-266.
- Kowol, U.; Krohn, W.: Innovationsnetzwerke - Ein Modell der Technikgenese. In: G. Bechmann; W. Rammert(Hrsg): Technik und Gesellschaft, Frankfurt/New York 1995, S. 77-105.
- Krohn, W.; Rammert, W.: Technologieentwicklung - Autonomer Prozeß und industrielle Strategie. In: B. Lutz (Hrsg.): Soziologie und gesellschaftliche Entwicklung, Frankfurt/New York 1985, S. 411-433.
- Kubicek, H.; Seeger, P.: Technikgenese: Entwicklungspfade und Koordinationsprobleme. In: Verbund Sozialwissenschaftliche Technikforschung, Mitteilungen, Heft 12, 1994, S. 12-41.
- Laske, G.: Eine Musterbranche stürzt ab, Bremen 1995.
- Lutz, B.: Das Ende des Technikdeterminismus und die Folgen - Soziologische Technikforschung vor neuen Aufgaben und neuen Problemen. In: B. Lutz (Hrsg.): Technik und sozialer Wandel, Frankfurt/New York 1987, S. 34-52.
- Lutz, B.: Technikforschung und Technologiepolitik: Förderstrategische Konsequenzen eines wissenschaftlichen Paradigmenwechsels. In: WSI-Mitteilungen, Heft 10, 43. Jg., 1990, S. 614-622.
- Mahnkopf, B.: Markt, Hierarchie und soziale Beziehungen - Zur Bedeutung reziproker Beziehungsnetzwerke in modernen Marktgesellschaften. In: N. Beckenbach; W. van Treeck (Hrsg.): Umbrüche gesellschaftlicher Arbeit, Soziale Welt, Sonderband 9, Göttingen 1994, S. 65-84.
- Manske, F.: Kontrolle, Rationalisierung und Arbeit, Berlin 1991.
- Manske, F.: Facharbeiter und Ingenieure im „deutschen Produktionsmodell“. In: WSI-Mitteilungen, Heft 7, 1994, S. 415-425.
- Manske, F.; Wobbe, W.: Computerunterstützte Fertigungssteuerung im Maschinenbau, Düsseldorf 1987.
- March, A. u.a.: The US Machine Tool Industry and its Foreign Competitors. In: The MIT Commission on Industrial Productivity (ed.): Working Papers of the MIT Commission on Industrial Productivity, Vol. 2, Cambridge/London 1989.
- Martin, H. (Hrsg.): CeA - Computergestützte erfahrungsgeleitete Arbeit, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1995.
- Maurice, M.; Sorge A.: Industrielle Entwicklung und Innovationsfähigkeit der Werkzeugmaschinenhersteller in Frankreich und der Bundesrepublik Deutschland. Discussion Papers No. FS I 90-11, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Berlin 1990.
- Mayntz, R.: Modernisierung und die Logik von interorganisatorischen Netzwerken. In: Journal für Sozialforschung, Heft 1, 32. Jg., 1992, S. 19-31.
- Mayntz, R.: Funktionelle Teilsysteme in der Theorie sozialer Differenzierung. In: R. Mayntz u.a. (Hrsg.): Differenzierung und Verselbständigung, Frankfurt/New York 1988, S. 11-44.

- Messner, D.: Fallstricke und Grenzen der Netzwerksteuerung. In: PROKLA 97: Netzwerke zwischen Markt und Staat, Heft 4, 1994, S. 563-596.
- Meyer-Krahmer, F.: Das Innovationssystem in Deutschland. In: W. Kuhnert (Hrsg.): Menschen Maschinen Märkte, Berlin/Heidelberg/New York etc. 1994, S. 49-61.
- Mundorf, H.: Der Spitzenverband Gesamtmetall steht vor der Existenzfrage. In: Handelsblatt, 28.12.95, S. 3.
- Pinch, T.J.; Bijker, W.E.: The Social Construction of Facts and Artefacts - Or how the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other. In: Social Studies of Science, No. 3, 1984, pp. 399-441.
- Rose, H.: Herstellerübergreifende Kooperation und nutzerorientierte Technikentwicklung als Innovationsstrategie. In: H. Rose (Hrsg.): Nutzerorientierung im Innovationsmanagement, Frankfurt/New York 1995, S. 195-218.
- Rosenberg, N.: Technischer Fortschritt in der Werkzeugmaschinenindustrie 1840-1910. In: R. Rürup; K. Hansen (Hrsg.): Moderne Technikgeschichte, Köln 1975, S. 216-242.
- Ruth, K.: Industriekultur als Determinante der Technikentwicklung, Berlin 1995.
- Schneider, V.; Mayntz, R.: Akteurszentrierter Institutionalismus in der Technikforschung. In: G. Bechmann; W. Rammert (Hrsg.): Technik und Gesellschaft, Frankfurt, New York 1995, S. 107-130.
- Schulz, H.: Tendenzen beim Einsatz flexibler Fertigungssysteme. In: H. Hirsch-Kreinsen; R. Schultz-Wild (Hrsg.): Rechnerintegrierte Produktion, Frankfurt/New York 1986, S. 83-109.
- Semlinger, K.: Effizienz und Autonomie in Zulieferungsnetzwerken - Zum strategischen Gehalt von Kooperation. In: W.H. Staehle; J. Sydow (Hrsg.): Managementforschung, Bd. 3, Berlin, New York 1993, S. 309-354.
- Spur, G.: Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen, München/Wien 1991.
- VDI-Nachrichten, verschiedene Jahrgänge.
- VDMA (Verein Deutscher Maschinenbauanstalten): Ingenieur-Erhebung im Maschinen- und Anlagenbau - Ergebnisse der VDMA-Studie, hektogr. Manuskript, Frankfurt 1988.
- Voskamp, U.; Wittke, V.: Von „Silicon Valley“ zur „virtuellen Integration“ - Neue Formen der Organisation von Innovationsprozessen am Beispiel der Halbleiterindustrie. In: J. Sydow; A. Windeler (Hrsg.): Management interorganisationaler Beziehungen, Opladen 1994, S. 212-243.
- Warnecke, H.J.; Becker, B.-D.: Strategien für die Produktion, Stuttgart u.a. 1994.
- Wolf, H.; Mickler, O.; Manske, F.: Eingriffe in Kopfarbeit, Berlin 1992.