

Erscheinungsformen und Modelle technischer Systeme: Beitrag zur theoretischen Begründung der Technikwissenschaften

1. Technik als Hilfwelt des Menschen¹

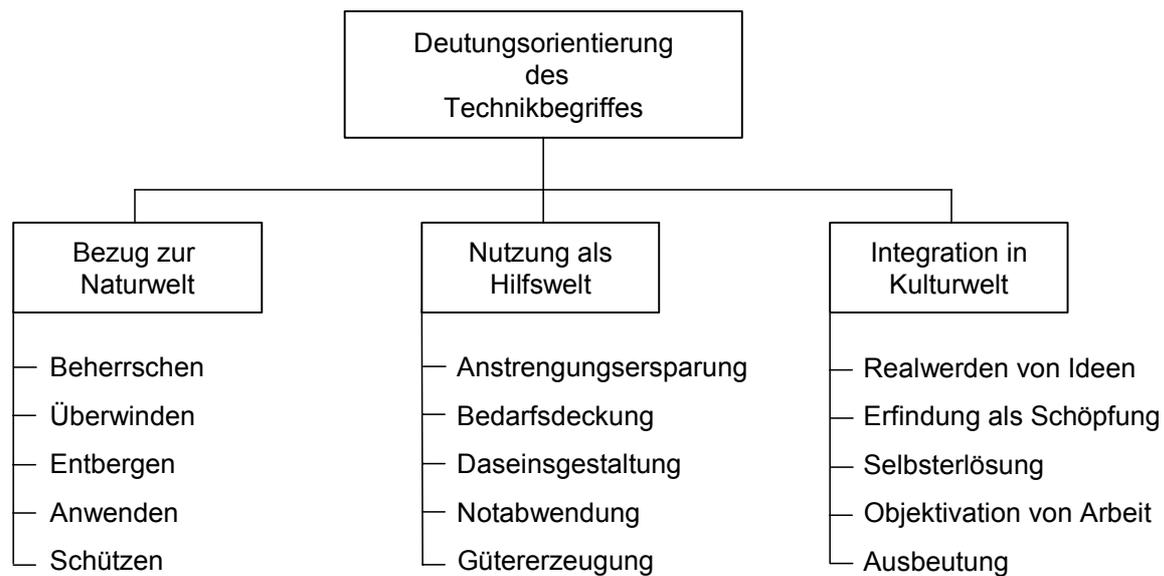
1.1. Technik und Gesellschaft

Technik ist als Teil unserer kulturellen Entwicklung auf Wandel und Fortschritt gerichtet. Sie bewirkt durch Nutzung natürlicher Ressourcen eine gezielte Veränderung unseres Lebensraumes. Technik ist in ihrer Gesamtheit eine Reform, die der Mensch sich und der Natur auferlegt.²

Technik zielt als nützliche Hilfwelt zur Natur auf einen produktiven Fortschritt der menschlichen Gesellschaft und sichert ihn, indem sie Not und Gefahr abwendet oder überwindet. Technik ist zweckbestimmt, sie entwickelt sich durch Kreativität nach den Gesetzen der technischen Vernunft. Sie beruht auf Empfindung und Eingebung, auf Wissen und Können, aber auch auf Handlungsvermögen und Entscheidungsfähigkeit. Forschung und Erfindungsreichtum im praktischen Gestalten bewirken eine permanente Optimierung technischer Funktionssysteme. Wir betreiben eine technologische Hilfwelt, die solche Produkte erzeugen kann, die uns die Natur nicht liefert. Technik wirkt darin nicht nur als gegenständliche Realität, sondern auch als soziotechnisches System zur kulturellen Reform der Gesellschaft.

In der Literatur finden sich zahlreiche Definitionen des Begriffs Technik, die von einer engen Sicht auf die Erfindung als eigentlichen Kern der Technik bis zur breiten Einbindung gesellschaftlicher Reflektionen reichen. Eine Gruppierung der verschiedenen Definitionen und Deutungen ist in Abbildung 1 dargestellt worden.³

- 1 Nachweis zum Thema: Spur, G., *Technologie und Management – Zum Selbstverständnis der Technikwissenschaften*. München-Wien: Carl Hanser Verlag 1998; Spur, G., *Thesen zum Selbstverständnis der Technikwissenschaften*: – In: Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Berichte und Abhandlungen Band 5*. Berlin: Akademie-Verlag 1998; Spur, G., *Vom Wandel der industriellen Welt durch Werkzeugmaschinen*. München-Wien: Carl Hanser Verlag 1991.
- 2 Ortega Y Gasset, J., *Betrachtungen über die Technik*. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt 1949.
- 3 Lenk, H., *Zu neuen Ansätzen der Technikphilosophie*. – In: *Techné, Technik, Technologie. Philosophische Perspektiven*. Hrsg. v. H. Lenk u. a. Pullach/München: Verlag Dokumentation 1973.

Abbildung 1: *Deutungen des Technikbegriffs (in Anlehnung an Lenk, 1973).*

Die Technik der Zukunft strukturiert sich zunehmend wissenschaftsbestimmt. Tiefgreifende Wirtschaftsimpulse werden durch Innovationsschübe aus einer fachübergreifenden Wechselwirkung mit anderen Wissenschaften ausgelöst. Technik sieht sich durch die fächerartige Ausstrahlung auf alle Bereiche der Lebenswelt zunehmend in gesellschaftswissenschaftliche Fragestellungen eingebunden. In diesem Sinne nähern sich die Technikwissenschaften den Disziplinen der Sozialwissenschaften.

Technik entsteht durch Denken, Planen und Bauen. Während sich das Gedachte noch frei entwickeln kann, wird das Planen schon normativ beeinflusst. Das Geplante kann dann nicht gebaut werden, wenn gesellschaftliche Restriktionen dies verhindern. Ohne das Gebaute macht Technik allerdings keinen Sinn, denn die angestrebte Zweckerfüllung setzt praktische Wirksamkeit voraus.

Doch wer Technik gestaltet, muss mit dem Risiko des Irrtums leben, mindestens mit der kalkulierten Fehlermöglichkeit. Die damit verbundene Übernahme von Verantwortung wird umso bedeutsamer, je stärker Technik in die Welt des Menschen eingreift. Es ist verhältnismäßig einfach, technische Mängel im Detail zu beheben, jedoch viel schwieriger oder vielleicht überhaupt nicht möglich, das ganzheitliche Risiko komplexer, technischer Entwicklungsprozesse als Produkt unseres kulturellen Fortschritts zu kalkulieren.

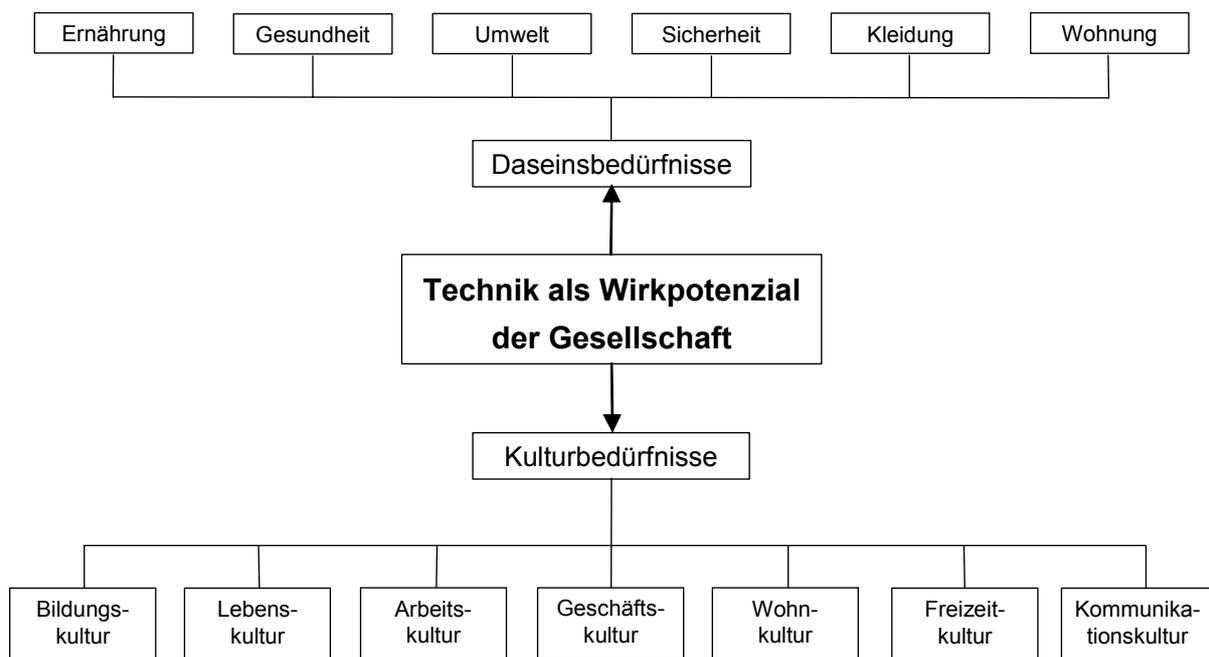
Aus dem Nichtverstehen von Technik wachsen Irritationen. Ohne ausreichende technische Bildung ist der Mensch überfordert, den raschen technischen Wandel zu begreifen. Vertrauensbildung zur Technik lässt sich durch Transparenz und Aufklärung erreichen: Die, die es machen, müssen es jenen sagen, die es betrifft. Technischer Fortschritt muss willkommen sein.

Technik hat das Sachpotenzial der Lebenswelt nachhaltig verändert, hat eine eigenständige Arbeitswelt bewirkt. Das steigende Interesse der Öffentlichkeit führt

zu einem hohen Erwartungsdruck gegenüber dem technischen Fortschritt. Es wird zunehmend nach der gesellschaftlichen Verantwortung gefragt.

Die gesellschaftlichen Wirkpotenziale der Technik richten sich zunächst auf Ernährung, Kleidung, Wohnen und Gesundheit, auf Schutz vor Unbilden der Natur, schließlich aber auch auf die Mehrung von Freizeit und Erholung sowie auf die Möglichkeit, den kulturellen Erlebniskreis zu erweitern. Hierbei gewinnen Bildung und Wissen immer mehr an Bedeutung (Abbildung 2).

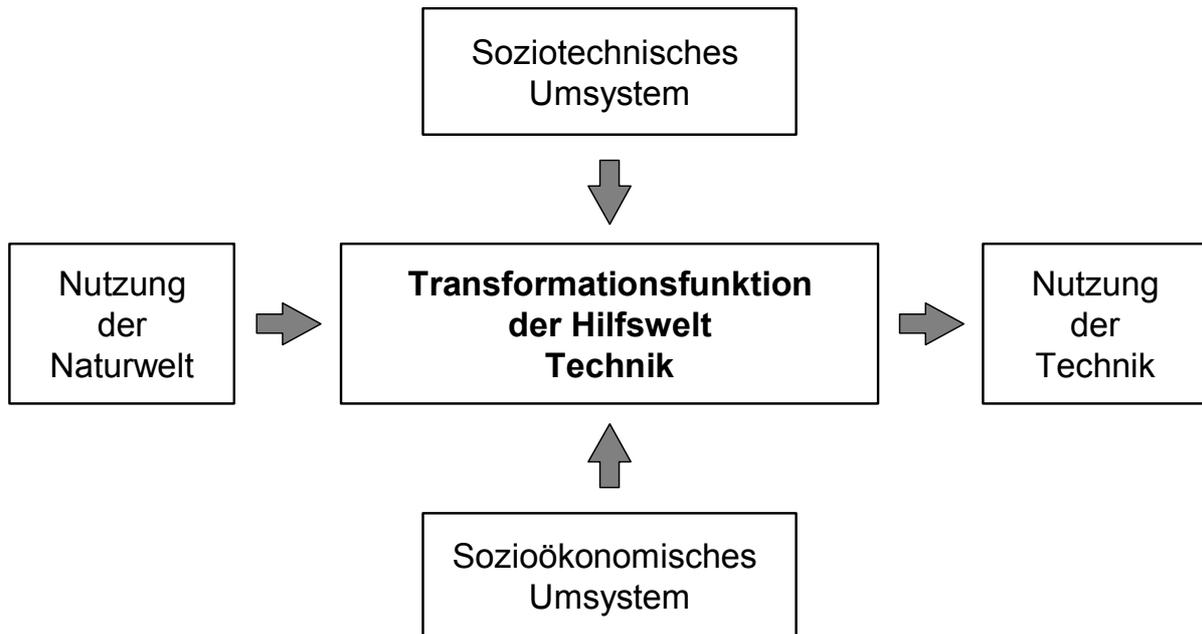
Abbildung 2: *Technik als gesellschaftliches Wirkpotenzial.*



1.2. Funktionalität technischer Systeme

Systemtheoretisch wird Technik nach ihrer Funktionalität gegliedert und durch Strukturen und Prozesse abstrahiert. Allgemein kann zwischen realen und idealen, zwischen natürlichen und künstlichen sowie zwischen statischen und dynamischen, aber auch zwischen offenen und geschlossenen, deterministischen und probabilistischen sowie zwischen einfachen und komplexen Systemen unterschieden werden.

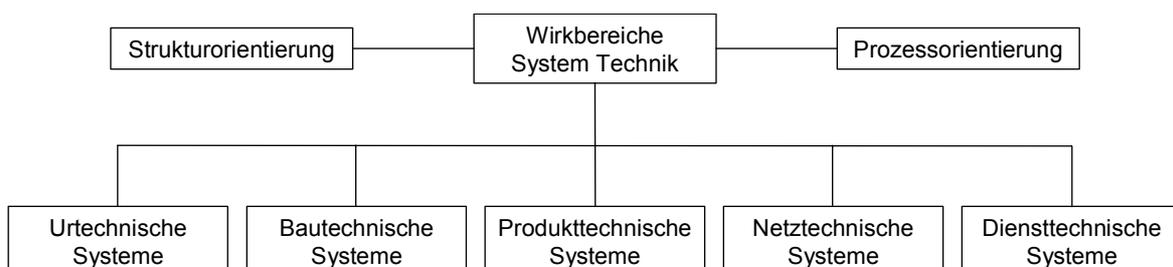
Die Grundfunktion technischer Systeme besteht in der Transformation eines Eingangszustandes in einen Ausgangszustand. Allgemein handelt es sich um die Wandlung von Ressourcen der Naturwelt in eine technologisch betriebene Nutzwelt der Gesellschaft. Diese Transformationsfunktion muss bei wachsender Komplexität immer mehr Einflussgrößen berücksichtigen und auch mehreren Zielen gleichzeitig gerecht werden. Hinsichtlich der systemischen Verknüpfung bestehen Ordnungsstrukturen und Beziehungen sowohl nach innen als auch nach außen. Neben dem

Abbildung 3: *Transformationsfunktion der Hilfswelt Technik.*

natürlichen Umsystem sind Einflussparameter soziotechnischer und sozioökonomischer Umsysteme zu berücksichtigen (Abbildung 3).

Die Funktionen technischer Systeme können passiv durch statische, strukturorientierte Transformationen oder durch dynamische, prozessorientierte Transformationen gekennzeichnet sein. Die Wirksamkeit kann sowohl gemeinsam erfolgen oder auch zwischen dem aktiven und passiven Zustand wechseln. Komplexe technische Systeme bestehen aus einem organisierten Netzwerk vielfacher Teilfunktionen mit ganzheitlicher Wirkung.

Eine mögliche Unterteilung des Systems Technik nach funktionalen Wirkungsbereichen ist in Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 4: *Wirkbereiche technischer Systeme.*

Urtechnische Systeme sind mit ihren Eingangsoperanden an die Naturpotenziale Boden, Wasser oder Luft gebunden. Ihre Transformationsprozesse werden stoff- oder energieorientiert unterschieden.

Bautechnische Systeme sind stationäre Artefakte im Bodenbereich. Ihre Transformationsoperanden wirken ortsgebunden als Strecken-, Flächen- oder Raumfunktion.

Produkttechnische Systeme sind distributiv angelegte Artefakte mit spezifischer Nutzungsfunktion. Ihre Transformationsprozesse sind gebrauchstechnisch orientiert.

Netztechnische Systeme sind kommunikativ strukturierte Artefakte mit stoff-, energie- oder informationsorientierten Transformationsprozessen. Sie sind zeit-, orts- oder mengenbestimmt.

Diensttechnische Systeme sind soziobezogene Artefakte mit unmittelbarer Wirkung auf die Lebens- und Arbeitsgestaltung. Ihre Transformationsprozesse sind handlungsorientiert.

Die Planung technischer Systeme beginnt mit der Erstellung des Anforderungsprofils, also mit der Festlegung der anzustrebenden Systemeigenschaften. Dazu wird ein Systemmodell entwickelt, das die Systemfunktionen definiert.

Unter Funktionen sind eindeutige, reproduzierbare Zusammenhänge zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen eines Systems zu verstehen. Sie übernehmen zielgeordnet als Teilfunktion die Lösung der Gesamtfunktion. Hierzu müssen Verknüpfungsfunktionen und Zuordnungsvorschriften definiert werden. Die Gesamtfunktion wirkt als Integral aller Elementarfunktionen. Durch Fraktalisierung lässt sich schrittweise eine Verfeinerung in Elementarfunktionen erreichen.

Technik befindet sich in einer permanenten Zustandsänderung. Jede Messung des Funktionsstandes technischer Systeme ist immer nur die Beschreibung eines Momentanzustandes. Der Änderungsgradient technischer Systeme kann allerdings auf sehr verschiedene Zeiträume bezogen sein.

Zustandsänderungen technischer Systeme sind einerseits bestimmte, also gezielt geplante Funktionen, andererseits auch unbestimmte und zufällige, meist unerwünschte Störungen der Funktionen.

Die Qualität der Funktionsfähigkeit ergibt sich aus struktur- und prozessbedingten Fehlergrößen. Der Funktionszustand eines technischen Systems ist ordnungsgemäß, wenn die Funktionsqualität die vorgegebenen Toleranzen einhält.

Auf Grund der hohen Komplexität und meist vorhandenen Wechselwirksamkeit der einzelnen Störparameter ist eine theoretisch abgeleitete Vorhersage des Qualitätsverhaltens technischer Systeme sehr erschwert. Deshalb sind experimentelle und empirische Untersuchungen meist unverzichtbar.

Für die Optimierung der Systemauslegung ist der Wahrheitswert aller Entscheidungen von hoher Bedeutung. Insbesondere ist bei schwierigen Verknüpfungen der Findungsprozess zu einer optimalen Lösung aufwändig, sodass der erreichbare Wahrheitswert eingeschränkt ist. Oft sind die Entwicklungsprozesse von technischen

Systemen mehrläufig, führen also nicht zu einer einzigen Lösung, sondern zu einer mehrfachen Wahrheit.

Hierin liegt ein Dilemma der Entwicklung technischer Systeme: Das Lösungsmodell der Aufgabenstellung lässt sich meist nicht mit Hilfe einer formulierbaren Handlungsvorschrift direkt aus dem Anforderungsmodell ableiten. Sowohl die Eigenschaftsparameter als auch die Lösungsparameter bilden einen mehrdimensionalen Funktionsraum, der nicht frei von Widersprüchen und Zwängen ist. Hinzu kommt erschwerend, dass nicht alle Systeme Neuentwicklungen sind. Durch Vorgabe des Vorhandenen können die gestalterischen Freiheitsgrade bereits eingeschränkt sein. Gleiches gilt auch für die fortgeschrittenen Phasen des Entwicklungsprozesses. So ist es erklärbar, dass bei gleicher Aufgabenstellung unterschiedliche Lösungen vorliegen können, die aber doch nahezu gleiche Funktionsqualitäten aufweisen.

Die Modellierung technischer Systeme wird mit zunehmender Komplexität schwieriger. Umgekehrt lässt sich ein technisches System umso exakter und deterministischer in seiner Transformationsfunktion darstellen, desto einfacher es hinsichtlich seiner Elementarstruktur und seines Verknüpfungsgrades ist. Dies bedeutet methodisch, dass für die Modellierung technischer Systeme die ganzheitliche Funktion auf die Wirksamkeit von Teilfunktionen zurückgeführt werden muss.

Techniksysteme geben nur einen Sinn, wenn sie funktionieren. Dies setzt voraus, dass sie gebaut und praktisch nutzbar sind. Somit muss das erste Leitaxiom technischen Handelns auf Funktionalität gerichtet sein.

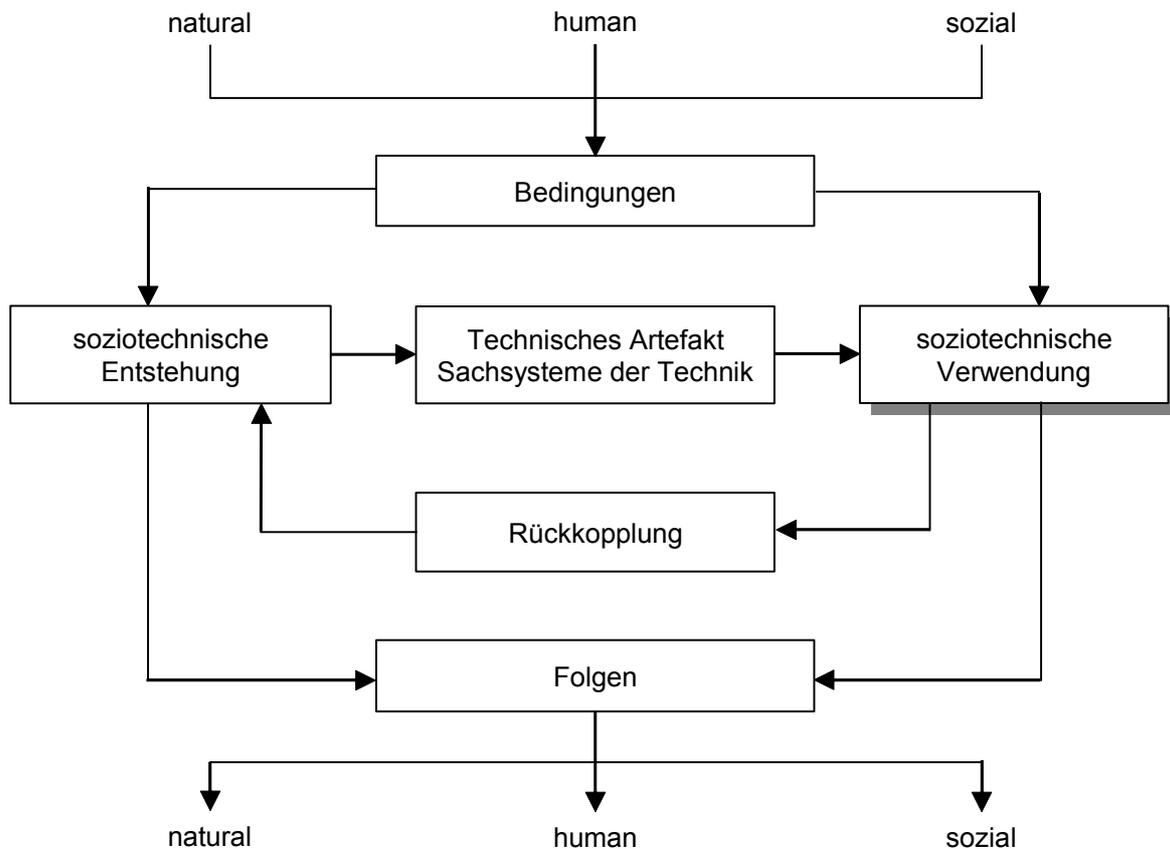
Technik ist das Ergebnis einer Aufgabe, die mit einem Minimum an Anstrengung zu lösen ist. Das ökonomische Prinzip des kleinsten Aufwandes, von Leibniz als metaphysisches Prinzip eingeführt, ließe sich als Maxime auf die Entwicklung technischer Systeme anwenden. Damit dürfte das zweite Leitaxiom technischen Handelns auf Rationalität gerichtet sein.

Technische Systeme ermöglichen eine permanente Verbesserung. Die Kreativität des Menschen ist in die Zukunft gerichtet und damit unbegrenzt. Der Erwerb von Wissen ist offen, somit auch seine Anwendung in technischen Systemen. Das dritte Leitaxiom technischen Handelns ist deshalb auf Innovativität gerichtet.

1.3. *Ökosoziale Dimension der Technik*

Die Grundfunktion technischer Systeme besteht darin, Ressourcen der Naturwelt in ein Nutzungspotenzial der Gesellschaft zu transformieren. Günter Ropohl zielt in seiner Systemtheorie der Technik „auf eine umfassende Systematik aller denkbaren technischen Systeme, die es gestattet, die Totalität aller möglichen technischen Artefakte in genereller Form zu beschreiben und zu klassifizieren“.⁴ Die technische Entwicklung ist als Strukturveränderung soziotechnischer Systeme zu verstehen, die

4 Ropohl, G., Eine Systemtheorie der Technik. München-Wien: Carl Hanser Verlag 1979.

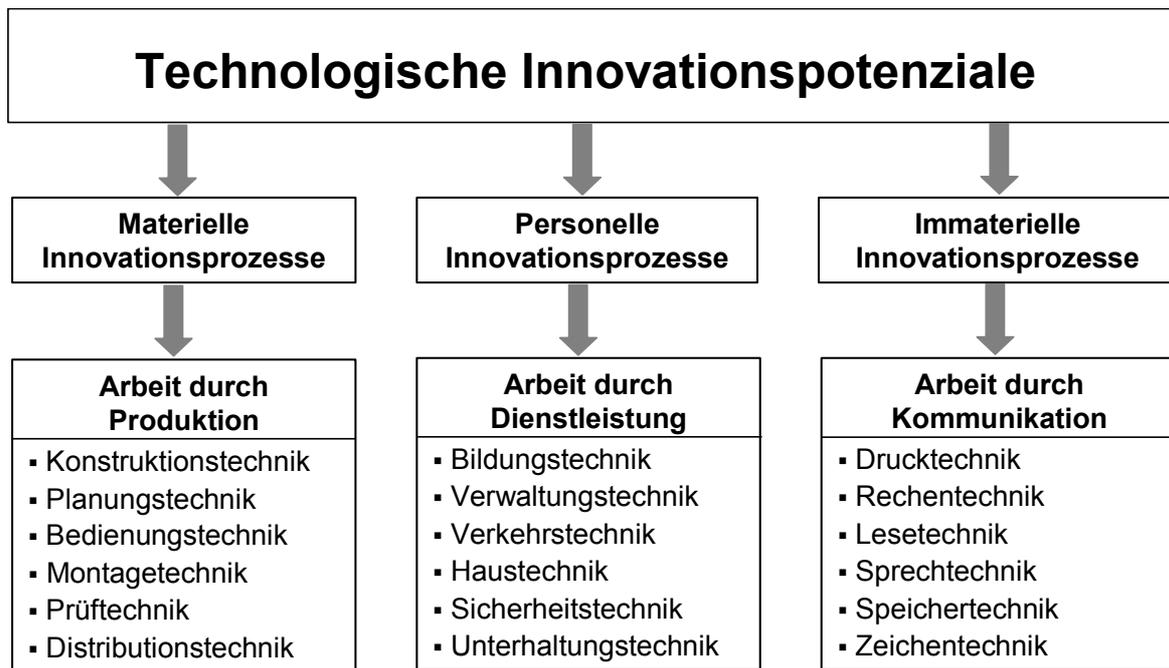
Abbildung 5: *Soziotechnisches Systemmodell (nach Ropohl, 1979).*

auch deren funktionales Verhalten beeinflusst. Dabei ist sowohl eine starke quantitative Vermehrung der Sachsysteme als auch eine erhebliche qualitative Verbesserung der Funktionserfüllung mit dem Fortschritt der Technik zu erkennen (Abbildung 5).

Im Kern des soziotechnischen Systems wirkt das Dreieck Wissenschaft, Technik und Wirtschaft als Pulsator des Fortschritts. Die Triebkräfte sind die Kreativitätspotenziale zum Aufbau eines wissenschaftlich und wirtschaftlich rationalisierten Systems, das zum Wohle der Gesellschaft betrieben wird.

Die technische Entwicklung wird aber nur dann auf breiter Front mit wirtschaftlichem Erfolg fortschreiten, wenn der politische und kulturelle Zeitgeist das notwendige soziotechnische Handlungsfeld aktiv aufbereitet. Die Motivation zum technischen Fortschritt wird von einem innovationsorientierten Selbstverständnis begleitet.

Die Technik vermehrt und vermindert die Menge an Arbeit, sie erneuert aber auch ihre Inhalte. Sie beeinflusst die Arbeitsorganisation nicht nur zeitlich und örtlich, sondern auch hinsichtlich der Arbeitsmittel und der Arbeitsmethoden. Die Technik der Zukunft fordert überwiegend ein wissensorientiertes Berufsbild, das nach Eigenschaften wie Zuverlässigkeit und Gründlichkeit ebenso fragt wie nach Kreativität und Führungsfähigkeit.

Abbildung 6: *Wirkung von Innovationen auf Arbeitspotenziale.*

Die gegenwärtige Phase der Technikentwicklung zielt auf einen dezentralisierten Arbeitsmarkt und führt in eine neoindustrielle Arbeitskultur, die durch den Fortschritt immaterieller Produktionsprozesse im Bereich der Informationstechnik geprägt wird (Abbildung 6).

Von der Öffentlichkeit fast unbemerkt haben wir die Schwelle in eine neue Arbeitskultur schon überschritten. Produktivität und Qualität, aber auch Flexibilität und Zuverlässigkeit haben weltweit ein Niveau erreicht, das auf der Grundlage konventioneller Arbeitskulturen nicht realisierbar gewesen wäre.

Die Konsequenz der rechnerunterstützten Produktionswirtschaft ist ihre kommunikative Vernetzung in global orientierten Märkten. Damit hat die Informationstechnik eine Schlüsselrolle zur Erneuerung und Optimierung der Produktionswirtschaft erhalten und zwar nicht nur örtlich, sondern in weltweiter Verknüpfung. Durch die kontinuierliche Optimierung der Informationsinhalte in Verbindung mit einer logistischen Regelung der Materialprozesse sowie einer dynamischen Disponierung der Produktionspotenziale erwächst gewissermaßen als konzertierte Aktion eine global vernetzte Produktionsstruktur.

Ökonomische Zwänge sind es, die technologische Innovationen begünstigen oder überhaupt erst ermöglichen. Durch sie können aber die Quellen des Fortschritts in Wissenschaft und Technik auch gehemmt werden. Dies gilt nicht nur für technologische Entwicklungen der Wirtschaft im Einzelnen, sondern auch für das globale weltwirtschaftliche Geschehen im Ganzen. Eine normative Koordinierung ist unverzichtbar. Eine durch Technologie geprägte Marktwirtschaft bedarf bestimmter Regu-

lative. Damit ist das Feld der Technologiepolitik, aber auch die Problematik von Technik und Ethik angesprochen, die zur Frage nach dem Imperativ für technisches Handeln führt. Mit Sicherheit werden spezielle und begrenzte Entwicklungsprozesse ausgesteuert, sofern die Nachteiligkeit und Gefährlichkeit dieser Artefakte erkennbar sind. Viel schwieriger ist die Bewertung von langfristig wirkenden Technologieprozessen, deren erreichbare Reife von Stabilität, Sicherheit und Ergiebigkeit in ihren Auswirkungen auf die Gesellschaft anfangs noch nicht vorausgesehen werden kann.

Technik stellt sich uns als neue Dimension von Verantwortung dar. Verantwortung fordert Kompetenz. Eine Kompetenz, die nicht nur von denjenigen zu pflegen ist, die Technik erzeugen, sondern auch von allen, die ihren Nutzen in Anspruch nehmen. Technische Bildung erzeugt Kompetenz und wird damit eine grundlegende Voraussetzung für den universal gebildeten Menschen.

Technischer Fortschritt vollzieht sich trotz kontinuierlicher Entwicklung in dosierten Phasensprüngen. Diese benötigen vorbereitete gesellschaftliche Strukturen, die den zunehmenden technologischen Innovationsdruck verkraften und verarbeiten können. Die Sicherung unserer wirtschaftlichen und sozialen Existenz basiert auf technologischer Innovationsfähigkeit: Eine Welt ohne Maschinen wird es nicht geben.

Die Darstellung und Erforschung der Zusammenhänge von Entstehung, Entwicklung, Durchsetzung, Verbreitung und Ablösung neuer Technik, somit das Phänomen Innovation, ist Gegenstand mehrerer Wissenschaftsdisziplinen. Im Zentrum des Interesses stehen dabei neben der Technik selbst vor allem auch die Einflüsse, die zu bestimmten Ausprägungen einer Technik führen, und die zu ihrem Erfolg oder Scheitern beitragen.

Die Forschungsansätze zu technischen Innovationen spiegeln unterschiedliche wissenschaftliche Traditionen, Fachdisziplinen und Interessenlagen wider. Sie reichen von der wirtschaftswissenschaftlichen Innovationsforschung über die Technik- und Wirtschaftsgeschichte, die Industrie- und Techniksoziologie, die Ingenieurwissenschaften bis zur Ethnologie und der vergleichsweise neuen Technikgeneseforschung.

Die heutige Phase ist gekennzeichnet durch eine systematische Verknüpfung von Wissenschaft und Technik. Sie beginnt in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und erreicht unter dem Einfluss der derzeitigen Diskussion um Forschungs-, Technologie-, Innovations- und Wissenschaftspolitik einen Höhepunkt. Wissenschaften und Technologien werden nach wirtschaftsgesellschaftlichen Zielen geplant und gesteuert. Die Wissenschaft ist zu einer unabdingbaren Voraussetzung für technische Innovationen und Wettbewerbsfähigkeit geworden.

2. *Begründung der Technikwissenschaften*

2.1. *Geschichtliches*

Die Erneuerung der Wissenschaften erfolgte in Europa durch die Gründung von Universitäten. Diese gingen meistens aus kirchlichen Schulen hervor und dienten daher zunächst wesentlich der Ausbildung der Geistlichkeit. Aus der Bindung an die Kirche ergab sich eine Distanziertheit gegenüber der Naturforschung. Die Vorstellung des neuen Weltbildes sahen die Universitäten zunächst differenziert. Später wandelten sich die Fakultäten und nahmen die Fragestellungen der aufkommenden Naturwissenschaften auf.

Entstehung und Ausbreitung der Renaissance und des Humanismus bedeuten eine geistige Wende vom Mittelalter zur Neuzeit. Eingeschlossen in diesen Wandel war die theoretische und künstlerische Fundierung empirisch erarbeiteter Naturerkenntnisse sowie die Entfaltung kritischer Rationalität in Wirtschaft, Politik und Kultur.

Die Entwicklung der Technik war zunächst eng mit Naturerfahrung, aber auch mit gestaltender Kunst verbunden. In der technisch-künstlerischen Führungsschicht der Renaissance sind erste Ansätze für die Ausbildung eines Ingenieurprofils zu erkennen.⁵

Mit dem Aufkommen der Feuerwaffen entwickelte sich als neuer, nachhaltig bedeutender Zweig die Pyrotechnik und damit das Interesse an fernwirkenden Waffen zur Stärkung der Angriffs- oder Verteidigungsfähigkeit.

Die Fortschritte in der Buchdrucktechnik bewirkten eine schnelle und weite Verbreitung des technischen Wissens. Bereits 1487 erschien die erste gedruckte Ausgabe der in der Renaissance einflussreichen Werke von Vitruvius.

In Tabelle 1 sind einige der wichtigsten Autoren aufgeführt, die bis zum 17. Jahrhundert durch ihre Werke den Stand der damaligen Technik dokumentiert haben.

Die Gelehrten der Naturwissenschaften hatten die Bedeutung der Nutzenwendung ihres Wissens für den Fortschritt der Wirtschaft erkannt. Weitblickend schufen sie deshalb neben den Universitäten ihre eigenen wissenschaftlichen Institutionen, die sie Gesellschaften oder Akademien nannten.

Im Entwurf der Präambel zu den Statuten der Royal Society of London, der 1663 von Robert Hooke (1635-1703) ausgearbeitet wurde, heißt es: „Es obliegt der Royal Society, das Wissen um die Dinge in der Natur zu vervollkommen und alle nützlichen Künste, Herstellungsweisen, mechanische Verfahren, Maschinen und Erfindungen durch Experimente zu verbessern (und sich nicht in Theologie, Metaphysik, Morallehre, Politik, Grammatik, Rhetorik oder Logik einzumischen)“.

Rückblickend lassen sich durchaus Wurzeln einer Technikwissenschaft in den Gründungsjahren der beschriebenen Akademien und wissenschaftlichen Gesell-

5 Troitzsch, U. / Weber, W., Die Technik – Von den Anfängen bis zur Gegenwart. Stuttgart: Unipart 1987.

Tabelle: 1: *Technische Lehrbücher vom 15. bis 17. Jahrhundert.*

Erscheinungs-jahr	Autor	Lebenszeit	Titel
1472	Roberto Valturius	1405 – 1475	De re militari, Verona
1478	Leon Battista Alberti	1402 – 1472	De re aedificatoria
1490	Leonardo da Vinci	1452 – 1519	Codice atlantico
1540	Vanuccio Biringuccio	1480 – 1540	De la pirotechnia Libri X.
1556	Georgius Agricola (Georg Bauer)	1494 – 1555	De re metallica
1569	Jacques Besson	1500 – 1573	Theatrum instrumentorum et machinarum
1588	Agostino Ramelli	1531 – 1590	Le diverse et artificiose machine, Paris
1597	Buonaiuto Lorini	1540 – 1611	Delle Fortificationi
1607	Vittorio Zonca	1568 – 1602	Novo Teatro di Machine et Aedificii, Padua
1607 - 1614	Heinrich Zeising	– 1613	Theatrum Machinarum, Leipzig
1615	Salomon de Caus	1576 – 1626	Les raisons des forces mouvantes, Frankfurt
1615 (1616)	Fausto Veranzio	1551 – 1617	Machinae novae
1617 (1629)	Jacopo de Strada	1523 – 1588	Maschinzeichnungen (1629 mit Text)
1629	Giovanni Branca	1571 – 1640	Le machine, Rom
1661	Georg Andreas Böckler	1644 – 1698	Theatrum machinarum novum, Nürnberg
1701	Charles Plumier	1646 – 1704	L'art de tourner, Lyon
1724	Jakob Leupold	1674 - 1727	Theatrum machinarum generale

schaften jener Zeit erkennen. Die Werke von Galilei, Kepler, Descartes, Newton und Leibniz seien hier genannt. Insbesondere wurde die mathematische Physik das Zentrum neuer Erkenntnisse. Die experimentelle Forschung ergänzte die wissenschaftlich-theoretische Methodik. Neben dem Naturforscher hatte der Mechanikus seinen festen, angestammten Platz.

Adolf Harnack würdigt die überragende Bedeutung der Arbeiten von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716): „Niemand hat Leibniz übertroffen in der Fähigkeit, alle Kräfte des Zeitalters in sich aufzunehmen“. Leibniz ging es darum, die Errungenschaften der Wissenschaften nicht nur zu steigern, sondern sie auch überall in der Praxis einzuführen und zu Prinzipien des Lebens zu erheben: „So oft ich etwas Neues lerne, so überlege ich sogleich, ob nicht etwas für das Leben daraus geschöpft werden könne“. Ein wichtiges Motiv zur Gründung der Kurfürstlich-Brandenburgischen-Societät der Wissenschaften zu Berlin, der späteren Preußischen Akademie der Wissenschaften, war, „das Werk samt der Wissenschaft auf den Nutzen zu richten“. An anderer Stelle drückt dies Leibniz so aus: „... wäre demnach der Zweck, theoriam cum praxi zu vereinigen ...“. Harnack sieht ein frühes Ziel der gegründeten Akademie darin, die „mechanischen Wissenschaften“ praktisch nutzbar zu machen.⁶

In dieser Zeit hatten die Ergebnisse der theoretischen und experimentellen Naturwissenschaft noch wenig Durchschlagskraft auf die überwiegend handwerklich betriebene Technik. Die langsame Verbreitung von Erkenntnissen, Entdeckungen und Erfindungen hat sicherlich auch etwas mit Kommunikation zu tun. Erst die Überwindung des Analphabetentums, insbesondere die Einführung der Schulpflicht und

6 Harnack, A., Geschichte der Königlich-Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Berlin: Reichsdruckerei 1900.

damit die Einleitung eines breiten Bildungsprozesses, hat den Fortschritt der Technik wesentlich beschleunigt.

Im ersten Drittel des 18. Jahrhunderts ist eine Phase wissenschaftlicher Durchdringung der Ingenieurarbeit zu erkennen. Als Beispiel kann der Leipziger Maschinenbauer, Mechaniker und Bergwerkskommissar Jakob Leupold (1674-1727) genannt werden. Er verband seine praktische Tätigkeit eng mit theoretischen Untersuchungen. Die Aufgaben des Ingenieurs beschrieb Leupold in seinem unvollendetem Hauptwerk „Theatrum machinarum generale, Schauplatz des Grundes mechanischer Wissenschaften“ 1724 wie folgt:

„Denn was vor alten Zeiten diese Mechanici waren, das sind heute zu Tage unsere Ingenieur, welchen nicht nur allein zu kömmet, eine Festung aufzureißen und dann zu erbauen, sondern auch nach mechanischen Fundamenten allerlei Maschinen anzugeben, so wohl auch eine Fortresse zu definieren, als solche zu emportieren. Ingleichen mancherlei compendieuse Maschinen zu erfinden, die Arbeit zu erleichtern und was öfters unmöglich scheint dennoch möglich zu machen“.⁷

Jakob Leupold war Mitglied der Königlich-Preußischen-Sozietät der Wissenschaften und kann als einer der ersten Repräsentanten der jungen, aufkommenden Technikwissenschaften im deutschen Sprachraum gelten. Es ging ihm nicht nur um die Förderung der Maschinenteknik, sondern er wollte auch im volkswirtschaftlichen Sinne die Wohlfahrt des Landes durch Entwicklung der Technik verbessern.

2.2. *Technologie als Wissenschaftsbegriff*

Sehr vereinfacht ließe sich Technologie als Technikkunde deuten. Darunter wäre die Lehre vom Aufbau und Zusammenwirken dessen zu verstehen, was wir Technik nennen. In diesem Sinne würde Technologie die Gesamtheit des technischen Wissen umfassen, also alle Kenntnisse, Fähigkeiten und Möglichkeiten der Anwendung und Entwicklung von Technik einschließen.

Wenn Technik als Teil unserer kulturellen Entwicklung auf Wandel und Fortschritt der Gesellschaft gerichtet ist, dann will Technologie lehren, wie dieser Prozess verläuft. Wenn Technik eine Reform ist, die wir der Natur auferlegen, dann will Technologie die hierzu geeigneten Verfahren vermitteln. In einer sehr weiten Auslegung kann Technologie auch als Lehre von der Entwicklung der Technik in ihren gesellschaftlichen Zusammenhängen gedeutet werden.

Die Verwendung der Begriffe Technik und Technologie ist im allgemeinen Sprachgebrauch einem Wandel unterworfen. Hierbei ist der Einfluss des englisch-amerikanischen Begriffsverständnisses deutlich spürbar. Auch wird der Begriff Technologie in den einzelnen Wissenschaftsdisziplinen unterschiedlich verwendet.

Von der allgemeinen Deutung des Technologiebegriffes abweichend liegt der spezielle Gebrauch im Bereich der Verfahrenskunde. Unter Technologie wird hier die

7 Leupold, J., Theatrum machinarum oder Schauplatz der Hebezeuge. Leipzig 1725.

Gesamtheit des Wissens der Prozesstechnik zur Gewinnung und Verarbeitung von Stoffen verstanden. Im engeren Sinne handelt es sich um eine Produktionstechnologie, also um eine Verfahrenskunde zur Erzeugung von Gütern. Allerdings ist das Wirkfeld dieser Technologien nicht mehr allein auf materielle Güter, sondern auch auf solche der Energietechnik und Informationstechnik gerichtet.

Technologie ist in diesem Sinne die Lehre von der Prozessgestaltung zum Erzeugen, Wandeln und Verteilen der Güter in einer Produktionswirtschaft. Technologie vermittelt das Wissen zur Veränderung eines Wirkzustandes. Damit könnte Technologie als Anwendung von technischem Wissen, als „Angewandte Wissenschaft“ gedeutet werden.

In der Abbildung 7 wird dargestellt, wie verschiedene Definitionen von Technologie miteinander verknüpft werden können, wenn sie auf den Zustandswandel und die Funktionen technischer Systeme zentriert werden.

Technologie kann als Lehre vom Wandel der Technik auch als instrumentelle Transformation wissenschaftlicher Erkenntnisse in technische Objekte, Verfahren oder Systeme gedeutet werden. Neben den technikwissenschaftlichen Disziplinen einschließlich ihrer mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundlagen erhalten auch die Wirtschafts- und Sozialwissenschaften sowie die gesamten Kulturwissenschaften für die Integration von Gesellschaft, Arbeit und Technik eine wichtige Mittlerfunktion. Dieser Komplexität der Technik als Forschungsgegenstand entspricht in wachsendem Maße eine interdisziplinär angelegte technologische Forschung, die auch Beiträge der Sozial- und Geisteswissenschaften einschließt.

Abbildung 7: *Verschiedene Deutungen des Technologiebegriffs.*

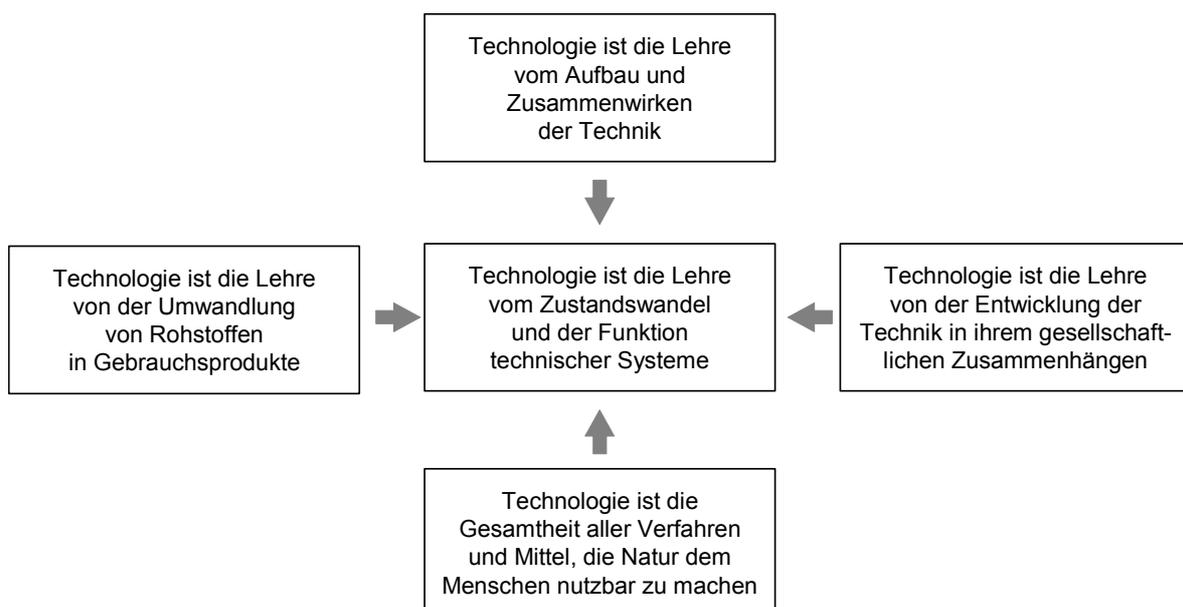


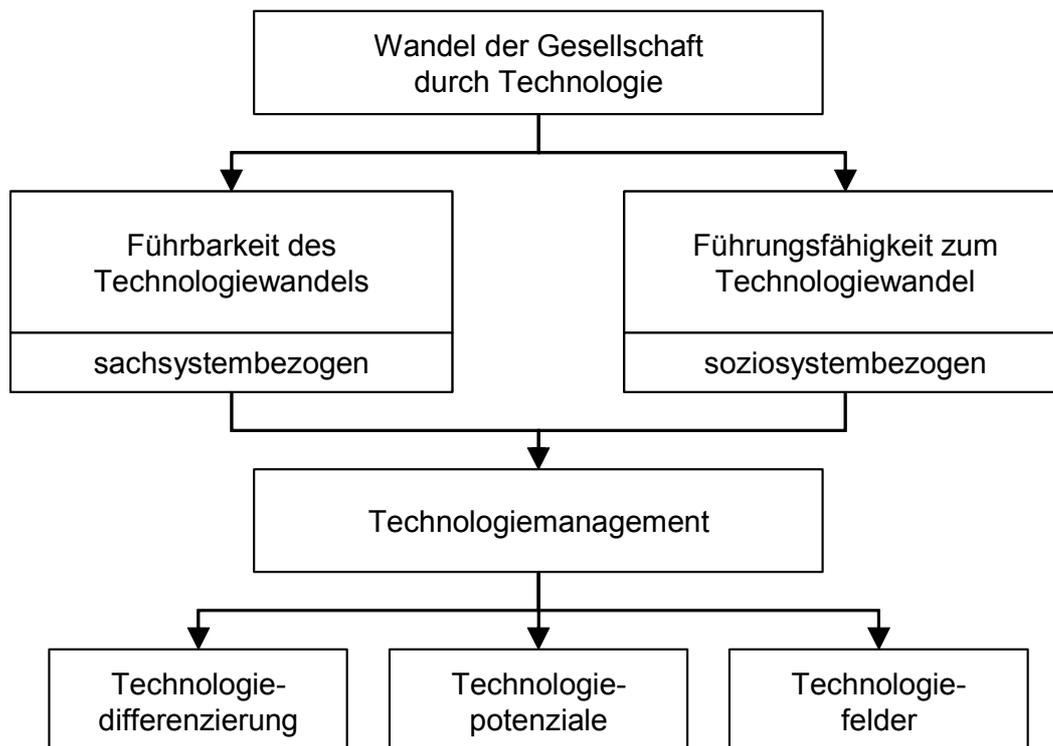
Abbildung 8: *Modell der technologischen Wirkungskette.*

Abbildung 8 zeigt die technologische Wirkungskette. Aus der Erkenntnis seiner Schlüsselfunktion muss ein Technologiemanagement entwickelt werden, das sowohl die systembezogene Führbarkeit des Technologiefortschritts als auch die personenbezogene Führungsfähigkeit zum Inhalt seiner Arbeits- und Forschungsziele entwickelt. In diesem Sinne beinhaltet Technologiemanagement über die Anleitung zur Umwandlung und Kombination von Produktionsfaktoren hinaus auch eine nachhaltige Mitverantwortung für den Fortschritt der Gesellschaft.

Günter Ropohl verweist auf die frühe Konzipierung des Technologiebegriffs durch Beckmann, wenn er die Entwicklung einer „Allgemeinen Technologie“ als Grundlage für ein umfassendes Technikverständnis fordert. Er begründet dies wissenschaftssystematisch, wissenschaftshistorisch und wissenschaftspragmatisch. Er sieht einen Bedarf für eine „allgemeine Disziplin, die die Gesamtheit der technologischen Begriffe, Hypothesen und Theorien systematisieren würde, mit denen grundlegende Erscheinungen des technischen Handelns und allgemein verbreitete gesamttechnische Strukturen und Prozesse analysiert und erklärt werden“. Die überwiegend naturwissenschaftlich orientierten Grundlagen der Technikwissenschaften reichen nicht mehr aus, die heute zu stellenden Ansprüche an das Selbstverständnis der Technik zu erfüllen. Ropohl sieht aktuellen Bedarf, „das technologische Paradigma neu zu beleben“.⁸

8 Ropohl, G., Allgemeine Technologie als Grundlage für ein umfassendes Technikverständnis. – In: Allgemeine Technologie zwischen Aufklärung und Metatheorie. Hrsg. v. Gerhard Banse. Berlin: Edition Sigma Verlag 1997. Seite 111.

Eine Allgemeine Technologie hätte die methodischen Grundlagen und das theoretische Netzwerk für die Technikwissenschaften zu liefern. Sie basiert auf Erkenntnissen der Naturwissenschaften und ist in die Entwicklung der Gesellschaftswissenschaften eingebunden.

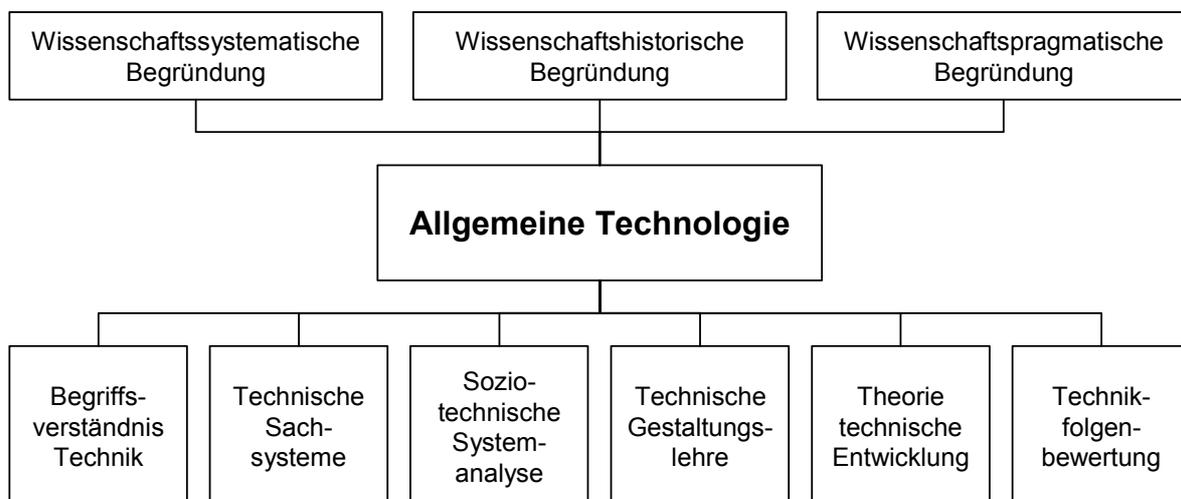
Technik ist nicht nur Objekt technikwissenschaftlicher, sondern auch gesellschaftswissenschaftlicher Forschung. Die Allgemeine Technologie ist deshalb auch soziotechnisch orientiert.

Eine besondere Aufmerksamkeit verdient unter dem Aspekt der Differenzierung des Technologiebegriffs die Deutung der Allgemeinen Technologie nach inhaltlichen und systematischen Gesichtspunkten. Nach Günter Ropohl umfasst „die Allgemeine Technologie generalistisch-interdisziplinäre Technikforschung und Techniklehre und ist die Wissenschaft von den allgemeinen Funktions- und Strukturprinzipien der Sachsysteme und ihrer soziokulturellen Entstehungs- und Verwendungszusammenhänge“.⁹ In der Abbildung 9 ist das von Ropohl beschriebene Deutungsmodell einer Allgemeinen Technologie dargestellt.

Die Grundfunktion der Technik kann als Transformation der Naturwelt in das Nutzungspotenzial einer Hilfwelt des Menschen interpretiert werden, deren Zielorientierung auf eine qualitative Maximierung der Innovationsfunktion gerichtet ist. Es ist eine Aufgabe der Technikwissenschaften, eine solche innovationsorientierte Funktionsoptimierung zu erforschen und zu lehren.

Bilden sich zwischen Wissenschaftsbereichen mehrerer Disziplinen Durchdringungen von unterschiedlichen Elementarfunktionen zu neuen Gesamtfunktionen, entstehen interdisziplinär geprägte Verbundwissenschaften, wie beispielsweise die Mikrosystemtechnik.

Abbildung 9: *Modell einer Allgemeinen Technologie (nach Ropohl)*

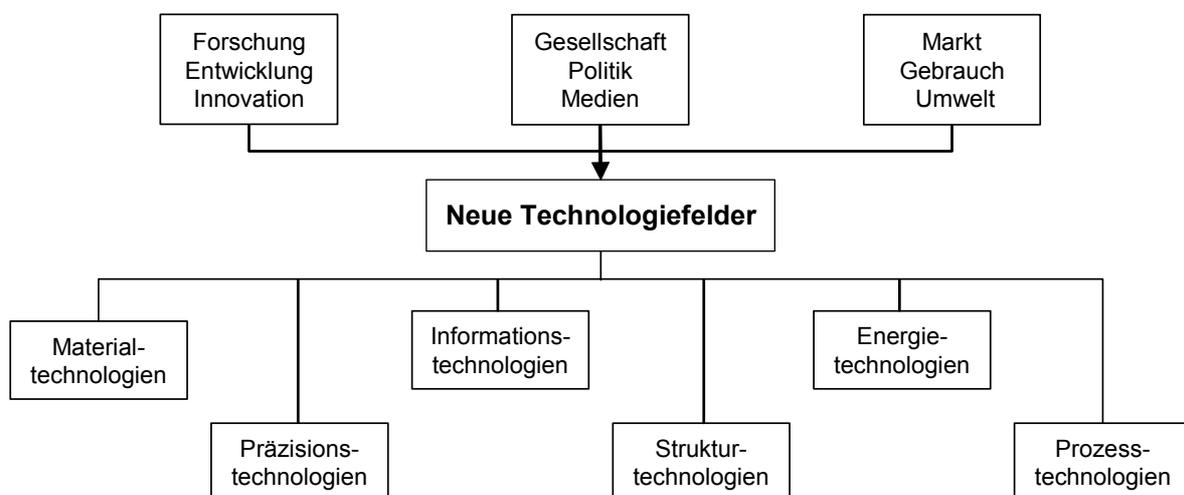


9 Ebenda Seite 113 - 114.

Eine systematische Gliederung der Technologiefelder kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Es wäre wünschenswert, an ein allgemein gültiges Ordnungssystem der Technik anknüpfen zu können. Da dieses jedoch in geeigneter Differenzierung nicht existiert und auch sicherlich vom Standpunkt potenzieller Nachfrage unterschiedlich gewertet würde, muss einstweilen pragmatisch nach den jeweiligen Fragestellungen vorgegangen werden.

Die sich heute darstellenden Technologiefelder werden nach ihrer zeitlichen Entwicklung, nach ihrer Anwendungsbreite und nach ihrer Neuigkeit beurteilt. Obwohl die Grenze zwischen „Alten Technologien“ und „Neuen Technologien“ nicht scharf gezogen werden kann, hat sich im Schrifttum und im allgemeinen Sprachgebrauch ein Begriffsgemeinde gebildet, das als Kriterium für Neuheit in erster Linie die Innovationswirkung heranzieht. Dabei wird eine disziplinäre Einteilung umso schwieriger, als sich Technologie zunehmend komplex, also interdisziplinär entwickelt. Auch haben sich die Grundlagenwissenschaften erweitert, insbesondere durch die tief greifende Entwicklung der Informationswissenschaften. Abbildung 10 zeigt einen Vorschlag, wie Schlüsseltechnologien systemtechnisch geordnet werden könnten.

Abbildung 10: *Ausprägung neuer Technologiefelder.*



Eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung der Technik ist die Materialwissenschaft. In den verschiedenen Technikdisziplinen wird zwischen Naturstoffen, Rohstoffen, Baustoffen, Werkstoffen und Biostoffen, aber auch zwischen Hilfsstoffen, Schadstoffen und Giftstoffen unterschieden. Die Materialtechnologien überdecken alle Innovationsphasen, sowohl durch Erweiterung des Stoffspektrums als auch durch Verfeinerung der Anwendungsqualitäten.

Neue Felder der Energietechnologien beziehen sich einerseits auf die gesamte Versorgungstechnik von Elektrizität, Wärme, Luft und Wasser sowie die gesamte Ent-

sorgungstechnik, andererseits aber auch auf die Erschließung neuer Energiequellen. Das gesamte Entwicklungsfeld ist sehr komplex und reicht von industriellen Großtechnologien bis zu spezifischen bioenergetischen Systemen.

Auf dem Gebiet der Informationstechnologien steigt der Innovationsdruck in der gesamten Feldbreite weiter an. Sowohl die Verbesserung der Leistungsfähigkeit in der Mikrosystemtechnik als auch die Vielfältigkeit und Gebrauchsqualität der Software im Anwendungsmarkt haben neuen Technologiefeldern Auftrieb gegeben.

Der Begriff Strukturtechnologie ist relativ neu. Er bezieht sich auf den inneren Aufbau technischer Artefakte, der sich aus der ordnenden Gestaltung ergibt. Ihre Funktionalität wird durch ortsorientierte Relationen ihrer Elemente erreicht.

Neue Technologiefelder ergeben sich auch durch Steigerung der Funktionsgenauigkeit. Präzisionstechnologien führen zu neuen Qualitätsstufen und erweitern die Anwendungsfelder technischer Artefakte in bisher nicht erreichbare Wirkfelder wie in der Bio- und Medizintechnik. Die Entwicklung zur Mikro- und Nanotechnik schließt eine entsprechende Verfeinerung der Metrologie ein.

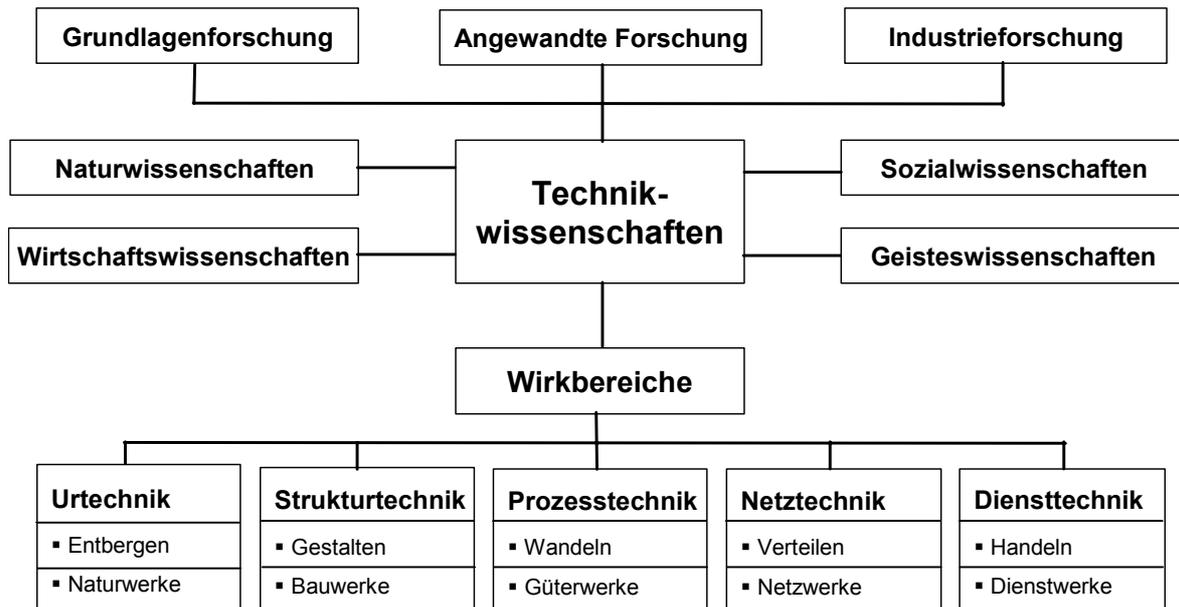
Die Transformation bestimmter Zustände von technischen Systemen erfolgt durch die Prozesstechnologie als Wandel von Material, Energie und Information. Sie stellt sich als Geräte-, Maschinen-, Anlagen-, Werk- und Großtechnik in sehr vielfältiger Ausführung dar und ist durch große Komplexität in allen Stufen der Innovationsphase gekennzeichnet.

2.3. Selbstverständnis der Technikwissenschaften

Angesichts der zunehmenden Komplexität und unaufhaltsamen Dynamik der Technik erwächst das Bemühen um eine Erneuerung des Selbstverständnisses der Technikwissenschaften. Es stellen sich Fragen nach dem Dialog mit anderen Wissenschaftsdisziplinen, aber auch Fragen nach dem eigenen Standort. Wir spüren das Fehlen einer integrativ orientierten Leitdisziplin der Technikwissenschaften.

Technik, Technologie und Technikwissenschaft bilden ein Begriffsgemenge unklarer Abgrenzung. Die Technikwissenschaften stellen in ihrer Gesamtheit kein geordnetes, im Einzelnen folgerichtig aufgebautes System von technologischen Erkenntnissen dar. Ihre Unterteilung in verschiedene Wissensbereiche und Aufgabenstellungen ist nicht immer eindeutig und vergleichbar.

Im Forschungsgegenstand der Technikwissenschaften kommt zugleich ihr Innovationspotenzial zum Ausdruck. Ihren Problemstellungen geht ein Bedarf an Lösungen voraus. Die Nähe zur praktischen Anwendung führt zur Frage nach der Zielorientierung der Technikwissenschaften. Als folgerichtig aufgebautes System von technologischen Erkenntnissen umfassen sie alle Methoden, die der Weiterentwicklung von Wissen zur Nutzenanwendung dienen. Im Einzelnen richtet sich technikwissenschaftliche Forschung auf die systemwissenschaftliche Differenzierung ihrer Teilgebiete, auf die Untersuchung der Wechselwirkungen mit anderen Wissenschaften sowie auf die methodische Durchdringung der an sie gestellten Aufgaben.

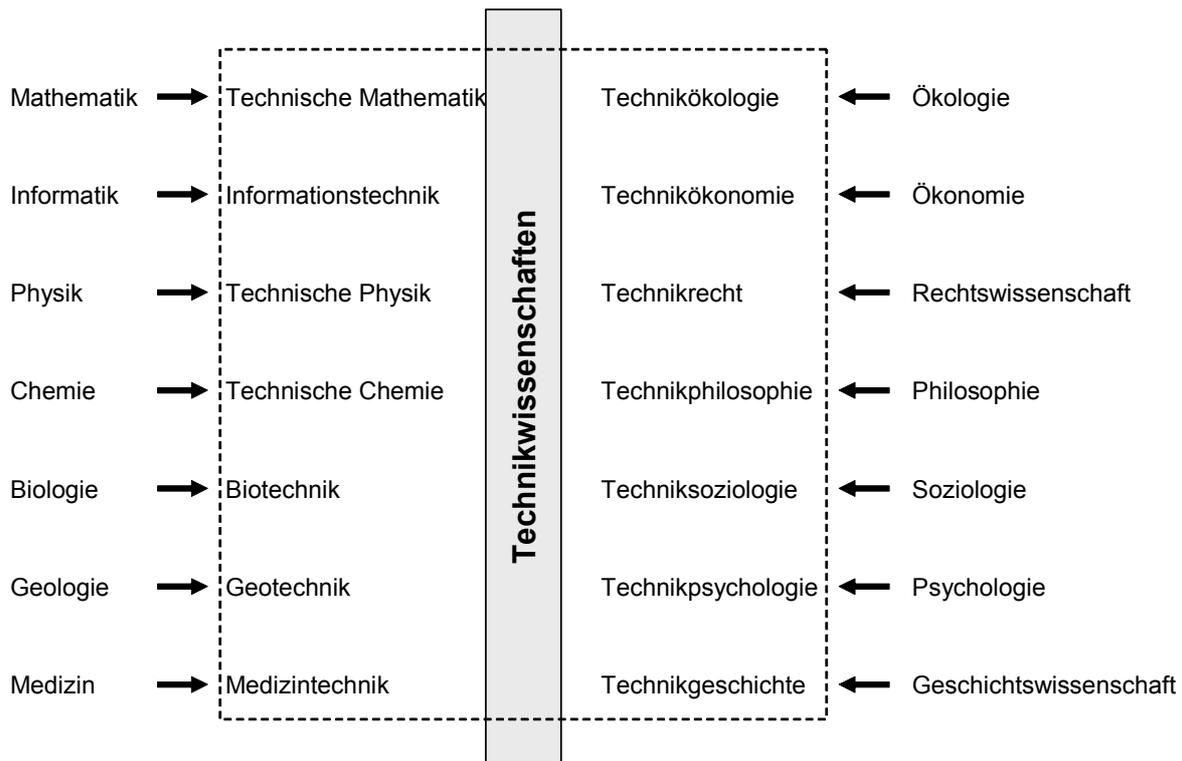
Abbildung 11: *Wirkbereiche der Technikwissenschaften.*

Technikwissenschaftliche Forschung wird einerseits zunehmend durch differenzierende Spezialisierung, andererseits aber auch durch steigenden Bedarf an natur-, wirtschafts- und sozialwissenschaftlicher Integration sowie durch kooperative Organisationsformen charakterisiert. Sie ist ihrem Wesen nach interdisziplinär ausgerichtet. Abbildung 11 zeigt den Versuch, die Technikwissenschaften in ihrer differenzierten Verknüpfung darzustellen. Mit seinen kooperierenden Teilsystemen aus Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Industrieforschung begründet ein derartig interpretierter Wissensverbund zugleich die Möglichkeit exemplarischer Analysen einer für die Technikwissenschaft entwicklungsnotwendigen methodischen Vermittlung wissenschaftlicher Theoriebildung und industrieller Praxis.

Die Naturwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften, Sozialwissenschaften und Geisteswissenschaften sind als Wirkungsfeld für die Entwicklung der Technikwissenschaft unentbehrlich (Abbildung 12).

Eine Gliederung der Technikwissenschaften in Einzeldisziplinen ist angesichts ihrer Komplexität und Verfeinerung nicht zwingend. Es stellt sich dennoch die Frage nach den Kriterien oder Prinzipien einer Klassifizierung.

Aufbauend auf einer grundlagenorientierten Wissensgewinnung ist es Aufgabe der Technikwissenschaften, geeignete Methoden zur praxisorientierten Erkenntnisgewinnung zu entwickeln. Hierbei ist die Multidisziplinarität in besonderer Weise zu berücksichtigen. Weiterhin sind die wissenschaftstheoretischen Voraussetzungen sowohl für die analytisch-ursächliche als auch für die synthetisch-konstruktive Methodik der Technik zu schaffen. Hierbei spielen die Wechselbeziehungen zwischen Theorie und Praxis eine vermittelnde und anregende Rolle.

Abbildung 12: *Multidisziplinäre Verknüpfung der Allgemeinen Technikwissenschaften.*

Diese müsste über den konventionellen Wirkungsbereich der Technik hinausreichen, Geistes- und Sozialwissenschaften nicht nur einbinden, sondern auch zum Dialog herausfordern.

Hieraus ergibt sich allerdings die Frage, ob die Technikwissenschaften auf einen „Dialog der Kulturen“ vorbereitet sind. Zwar ist der Reifungsprozess der noch jungen Technikwissenschaften fachspezifisch teilweise weit fortgeschritten, aber dennoch bleibt ein Unbehagen bei der Frage, ob das Selbstverständnis der Ingenieure zu ihrer Wissenschaft bisher genügend entwickelt werden konnte. Beim Verlassen der Hülle ihrer sachorientierten Funktionswelt wird spürbar, dass die gewohnten Werkzeuge nicht mehr greifen. Sie müssen für den Dialog mit anderen Wissenschaftskulturen aufbereitet werden. Ingenieure müssen lernen, in einem erweiterten Spannungsfeld zu agieren, das ihnen nach Ausbildungs- und Berufsethos fremd ist. Es geht letztlich auch um die Bereitschaft zum politischen Handeln und damit um die Bereitschaft zur politischen Verantwortung. Diese Herausforderung führt zur Begründung einer metatechnischen Wissenschaftslehre, die uns das geistige Rüstzeug für den interdisziplinären Dialog der Wissenschaften mit Wirtschaft und Politik liefert.

Ein erstes und wichtiges Merkmal dieser integrierenden Metadisziplin der Technikwissenschaften sollte darin bestehen, dass sie von Ingenieuren begründet wird, um deren Selbstverständnis dann als Beitrag zur Anreicherung des allgemeinen kulturwissenschaftlichen Dialogs einzubringen.

Neben einer Allgemeinen Technikphilosophie sind spezielle Bereiche denkbar, die systemtechnisch, methodisch oder historisch geprägt sein könnten. Die vornehmliche Aufgabe liegt jedoch in der Begründung einer Lehre über die wirksamen Hintergründe und Zusammenhänge sich schöpferisch entwickelnder Technik.

Eine Allgemeine Technikwissenschaft hat als Lehre vom Wissen über den Kulturwandel durch Technik immer etwas mit Veränderung unseres Seins zu tun. Sie sucht Wege zur Reform unserer Industriegesellschaft und muss deshalb die Handlungspotenziale in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik integrieren. Es wird immer deutlicher, dass wir die globalen Probleme unserer Zeit nicht mehr mit den traditionellen Methoden und Handlungssystemen lösen können. Das gilt insbesondere für ein sozial orientiertes Produktionssystem mit einem Wirtschaftswachstum, das fast ausschließlich auf Produktivitätssteigerung durch Rationalisierung beruht, ohne das gesellschaftliche Problem der steigenden Arbeitslosigkeit lösen zu können.

Durch eine zunehmende Verlagerung des Schwerpunktes der industriellen Produktion zu immateriellen Gütern ändern sich auch die Paradigmen der technikwissenschaftlichen Forschung. Die informationstechnisch erschlossene Kommunikation von global vernetztem Wissen wird Entfaltungsmöglichkeiten erreichen, die alle bisherigen Erwartungen übertreffen. Objektivierungen dieser technologisch getriebenen Kreativität sind Maschinenprogramme und Systeme einer digitalisierten Welt der Technik, die nicht nur neue Gütermärkte bilden, sondern auch zu einer Neuorientierung der Wissenswelt führen. Vom Menschen konstruiert, entsteht aus einer umfassenden Akkumulation von theoretischem Wissen, praxisgeführten Erfahrungsprozessen, menschlichen Handlungsvermögen sowie einer empfindsamen Einführung in den inneren Zusammenhang der Natur eine Bewusstwerdung in unserem Denken, die in ein Metasystem zukünftiger Technologien einmündet.

Die für eine solche Reformierung unserer Industriegesellschaft zu entwickelnde Kreativität wird aber zugleich der Engpass für den Fortschritt sein. Im Wettbewerb der Technologien werden diejenigen Volkswirtschaften und Unternehmen auf Dauer vorn liegen, die aus innerer Kraft einen wissensgetriebenen Innovationsdruck erzeugen, der das Tempo des Fortschritts vorgibt. Genauso wichtig wird es sein, in allen Ebenen des Managements einen vertrauensbildenden Entscheidungsdruck zu erzeugen, der die Risiken des Neuen überwindet.

2.4. Methodik der Technikwissenschaften

Im Forschungsgegenstand der Technikwissenschaften kommt zugleich ihre Innovationsorientierung zum Ausdruck, die schöpferisches Handeln einschließt. Technikwissenschaftliche Problemstellungen sind anwendungsbezogen.

Technikwissenschaften haben die Aufgabe, die mannigfaltigen Erscheinungsformen der Technik zu erklären und Modelle für ihre optimale Gestaltung zu entwickeln. Methodisch ist technikwissenschaftliche Forschung theoretisch oder experimentell ausgerichtet, systemwissenschaftlich differenziert sie die Wechselwir-

kungen mit anderen Wissenschaften und fachspezifisch konkretisiert sie neue wissenschaftliche Problemfelder. Die Analyse der Erscheinungsformen von Technik und die Synthese des Neuen kennzeichnen ihre Arbeitsweise.

Die Anwendungsorientierung der Technikwissenschaften bildet ein in die Methodik übergreifendes Moment. Zielorientierte Problemlösungen erhalten ihren Sinn erst durch ihre Nützlichkeit aus technischer oder wirtschaftlicher Sicht.¹⁰

Die Forschungsmethodik hat sich als eine Funktion konkreter Wechselwirkungen zwischen industrieller Praxis und erkenntnisleitender wissenschaftlicher Theorie empirisch herausgebildet, wobei die Forderung nach innovativen Entwicklungen von Prozessen und Produkten ein zentrales Anliegen ist.

Erkenntnisdefizite in der Methodik technikwissenschaftlicher Forschung verweisen auf notwendige Analysen wissenschaftstheoretischer Art, auch im Sinne einer Neuordnung der Technikwissenschaften. Eine Vertiefung der Erkenntnisse über den Wissenschaftsbegriff in der Technik, über den Entwicklungsstand disziplinärer Integration und Differenzierung sowie über die Stellung von Technik und Wissenschaft innerhalb des Wissenschaftssystems ist von aktueller Bedeutung.

Mit wachsender Komplexität technikwissenschaftlicher Forschungsgegenstände sowohl in technologisch immanenter als auch in wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Hinsicht nimmt der Differenzierungsgrad der Technikwissenschaften ständig zu. Technikwissenschaftliche Forschung ist einerseits durch Spezialisierung, andererseits aber auch durch steigenden Bedarf an natur-, wirtschafts- und sozialwissenschaftlicher Integration sowie durch kooperative Organisationsformen gekennzeichnet. Sie ist ihrem Wesen nach interdisziplinäre Gemeinschaftsarbeit. Abbildung 13 zeigt die Technikwissenschaften in ihrer differenzierten Methodik.

Die Vermittlung und Aufbereitung des grundlagenorientierten Wissens bildet eine erste und unverzichtbare Aufgabe der Technikwissenschaften. Aufbau und Zustandsänderungen technischer Systeme bedürfen über eine qualitative Beschreibung hinaus der Darstellung durch quantitative Methoden. Dies bedeutet die Einbindung der Mathematik sowohl zur abstrakten Erklärung technischer Funktionsverknüpfungen als auch zur Theoriebildung für die Weiterentwicklung der Technik überhaupt. Die Mathematisierung der verschiedenen technischen Wissenschaftsdisziplinen ist unterschiedlich entwickelt. Zwar kann nicht immer der Grad ihrer mathematischen Durchdringung als Reife ihres wissenschaftlichen Fortschritts gewertet werden, aber dennoch lässt sich feststellen, dass eine Theoriebildung als wichtiges und anzustrebendes Instrumentarium der Erkenntnisgewinnung letztlich die Begründung wissenschaftlicher Disziplinen voraussetzt. Die jeweilige Methodik technischer Forschung wird in ihrer disziplinen Spezifik vorbestimmt, und zwar durch ihr Anwendungsfeld in der Praxis und durch den realen Entwicklungsstand ihres Forschungsobjektes.

10 Problem und Methode in der Forschung. Hrsg. v. Heinrich Parthey. Berlin: Akademie-Verlag 1978.

Abbildung 13: *Differenzierte Methodik der Technikwissenschaften.*

Aus der Innovationsdynamik der Technik leitet sich sehr oft ein Zeitzwang für technische Forschung ab. Sie lernt zwar aus der Vergangenheit, muss aber voraus denken und helfen, die Zukunft zu gestalten. Aber wie weit reicht der Horizont ihrer Voraussicht? Wie steht es mit der Zuverlässigkeit etwaiger Prognosen? Was können wir wirklich über die Zukunft wissen?

Alle technischen Produkte beinhalten ein Optimierungspotenzial. Es geht darum, Funktionen zu verbessern, Zuverlässigkeit zu steigern, Anstände zu überwinden, Erfahrungen zu sammeln, also Qualitätsstabilität zu erreichen. In diesem Sinne ist es Aufgabe der Technikwissenschaft, die Innovationen einzuleiten und zugleich Fehleranalysen des Geschaffenen zu betreiben.

Die Erkenntnisprozesse der Technikwissenschaften verlaufen zwar rational, sind aber nicht vorhersehbar und auch nicht widerspruchsfrei. Sie sind damit auch nicht planbar. Wohl aber lassen sich Erkenntnisprozesse formieren und beschleunigen.

In der Wissenschaftsarbeit ergibt sich aus dem Erfahrungsgewinn durch Erprobung sowie aus dem sachangemessenen Evaluationspotenzial der Industrie ein Primat der Empirie gegenüber der Theorie insofern, als technikbezogene Forschung in der Regel mit der empirischen Analyse bereits realisierter theoretischer Lösungen

beginnt, neue Synthesen des dort erworbenen Erfahrungswissens erprobt, um dann zu neuen Prinziplösungen und deren Realisierung zu gelangen. Diese bilden schließlich die Grundlage neuer Theorien. Der methodische Weg führt also von einer letztlich praktischen Problemstellung über die Gewinnung empirischen Wissens durch Messung, Beobachtung, Experiment, Modellgenerierung und Simulation hin zur Aufstellung von Theorien und Paradigmen, die nicht nur erforschte Sachverhalte systematisch reflektieren, sondern auch auf die Praxis zurückweisende neue Forschungsperspektiven beinhalten.

Ebenso wie im Verhältnis von Empirie und Theorie wird das Primat der Praxis in den grundlegenden Methoden des Erfindens und Konstruierens deutlich. Beides zeichnet sich durch den Zusammenhang von Erfahrungswissen, analytisch-synthetischem Denken und funktionaler Kreativität aus. In der Technik resultieren Ideen und konstruktive Modelle meist aus gezieltem Suchen, experimentellem Vergleichen und anschließendem Auswählen optimaler Lösungsmöglichkeiten. Erfindungen entstehen auch durch vorgängige Theorien oder logische Deduktionen, aber häufiger noch durch Erfahrung und Induktion.

Die Methodik technikwissenschaftlicher Forschung steht, wie ihr Gegenstand selbst, unter dem Aspekt von Wissenschaftlichkeit erst in den Anfängen einer möglichen und notwendigen Entwicklung zu disziplinärer Eigenständigkeit. Der hohe Integrationsgrad von industrieller Praxis und Forschung bedingt auch in methodischer Hinsicht eine starke Dominanz der konkreten Anwendungserfordernisse, denen die methodologische Reflexion und Verallgemeinerung der praktischen Erfahrungen untergeordnet bleibt.

Diese Situation manifestiert sich in einer Reihe von Forschungsdefiziten. So fehlen spezifische Untersuchungen der methodologisch relevanten Einflussfaktoren auf den Forschungsprozess. Der konkrete Zusammenhang zwischen Forschungsbedarf, Problemstellung, Hypothesenbildung, Methodenorganisation, Theoriebildung und Evaluation bedarf der systematischen Analyse sowie der theoretischen Integration.

Die Aufgabenstellungen der Technikwissenschaften wären nicht vollständig, würde man die Erkenntnisdefizite in der fehlenden Analyse über den wissenschaftstheoretischen Status übersehen.

Die Methodik der Technikwissenschaften ist auch dadurch gekennzeichnet, dass sie sich als eine Funktion konkreter Wechselwirkungen zwischen industrieller Praxis und erkenntnisleitender wissenschaftlicher Theorie im Forschungsprozess empirisch herausbildet. Sie existiert bisher überwiegend und primär als implizierter Bestandteil der Forschungspraxis. Eine der grundlegenden Aufgaben ist es, Struktur und Wirkungsweise aller theoretischen und praktischen Bestimmungsgrößen zum Aufbau einer Forschungsmethodik zu analysieren. Ziel einer solchen Systematik ist letztlich die Definition eines eigenständigen Beitrags zur Theorie technischer Systeme aus ganzheitlicher Sicht.

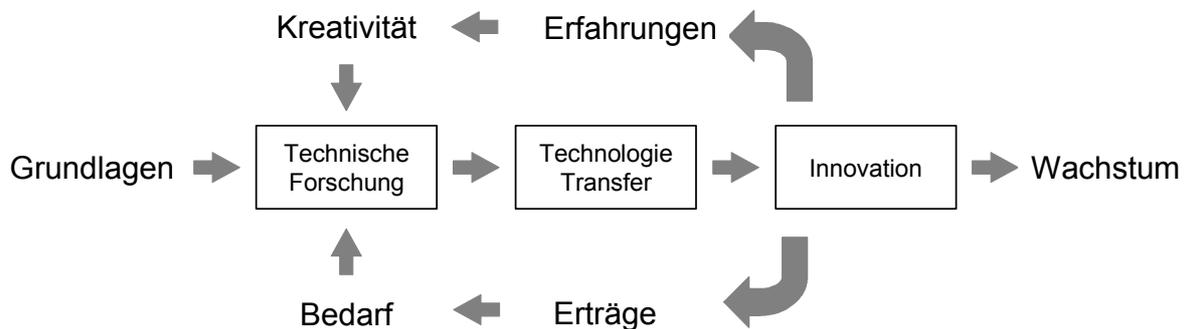
2.5. Innovationsfähigkeit der Technikwissenschaften

Die Technikwissenschaften bilden durch die Dynamik ihres fortschreitenden Wandlungsprozesses einen permanenten Innovationsgradienten, der nicht nur die Richtung der technologischen Entwicklung, sondern durch seine Steilheit auch die Geschwindigkeit des Wandels bestimmt.

Die soziotechnische Komplexität des Gegenstandes technikwissenschaftlicher Innovationen erfordert Strategien einer auch methodisch angepassten Erweiterung. Sie müssen umfangreichen und komplizierten Problemstellungen sowohl theoretisch als auch praktisch gewachsen sein. Es geht in letzter Konsequenz um die Optimierung der Innovationsfähigkeit.

Technische Forschung zielt sowohl auf neue Erkenntnisse ihres Gegenstandes als auch auf die technologische und wirtschaftliche Umsetzung dieser Erkenntnisse in Produkt- und Prozessinnovationen industrieller Produktion. Letztere stellen die den Forschungsprozess ganzheitlich bestimmende Zielsetzung dar. Das heißt, technische Forschung ist in ihrem Kern Innovationstransfer (Abbildung 14).

Abbildung 14: *Technologietransfer als Innovationsprozess.*



Die Triebkräfte dieser Forschung resultieren aus dem technologisch-wirtschaftlichen Bedarf der Praxis. Diese stellt zugleich die entscheidenden Maßstäbe zur Überprüfung und Bewertung der Problemlösungen bereit.

Forschungsbedarf besteht auch hinsichtlich der Bestimmung des Wirkungsgrades der verschiedenen institutionellen Formen, in denen technikwissenschaftliche Innovationen stattfinden und die ihrerseits die Methodik des Innovationsprozesses beeinflussen. Im Zentrum des Interesses stehen dabei neben der Technik selbst vor allem auch die Einflüsse, die zu ihrem Erfolg oder Scheitern beitragen.

Die Forschungsansätze zu technischen Innovationen spiegeln unterschiedliche wissenschaftliche Traditionen, Fachdisziplinen und Interessenlagen wider. Sie reichen von der wirtschaftswissenschaftlichen Innovationsforschung über die Technik- und Wirtschaftsgeschichte, die Industrie- und Techniksoziologie bis zur Ethnologie und der vergleichsweise neuen Technikgeneseforschung. Die Innovationsforschung,

die in ihrem Ursprung den Wirtschaftswissenschaften zugeordnet wird, entwickelt zunehmend technologische Fragestellungen (Abbildung 15).

Abbildung 15: *Innovationsforschung im Wissenschaftsverbund.*

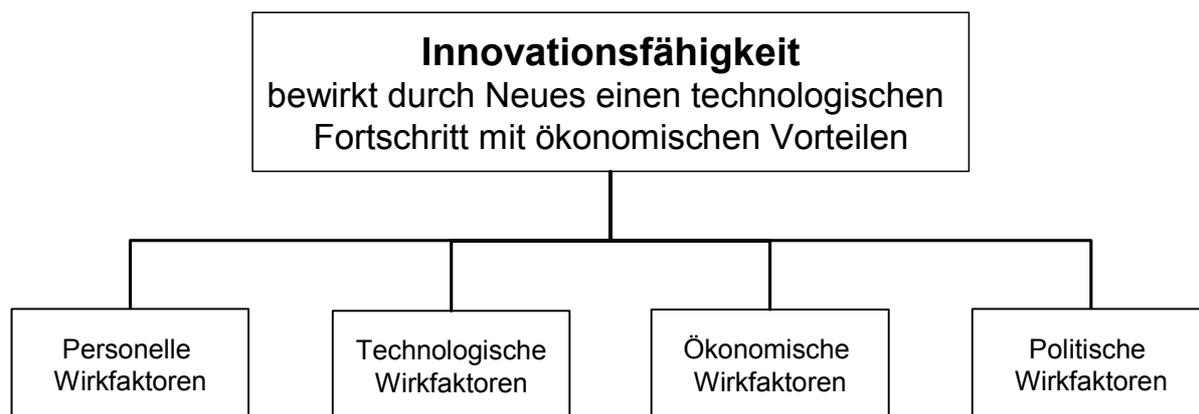


Im Übergangsbereich zwischen theoretischer und empirischer Innovationsforschung stehen die institutionell-historischen Erklärungen des technischen Wandels. Das Interesse dieser Forschungsrichtung ist darauf ausgerichtet, die technische und sozio-ökonomische Entwicklung aus einem historischen Blickwinkel darzustellen. Aus der Anschauung tatsächlicher Technologieverläufe lassen sich Typologien und Klassifikationen des technischen Wandels begründen und Hypothesen über die Zusammenhänge zwischen Innovationen und wirtschaftlicher Entwicklung aufstellen.

Die technologische Innovationsfähigkeit entspringt sinnlicher Kreativität und beweist sich durch das Machbare. Ihr Fortschritt wird von bewusster Rationalität geleitet. Er beruht auf wissenschaftlicher Forschung, auf Erfindungsfähigkeit im praktischen Gestalten und auf innovativem Handlungsvermögen. Die Innovationsfähigkeit wird von der Zweckrationalität zur Schaffung des Neuen durch personelle, technologische, ökonomische und politische Wirkfaktoren bestimmt (Abbildung 16).

Die zukünftigen Innovationsstrukturen verlangen nach mehr Wissen, und zwar auf jedem Ausbildungsniveau. Dabei sind Eigenschaften wie Zuverlässigkeit und Gründlichkeit ebenso gefragt wie Kreativität und Führungsfähigkeit. In modernen Produktionssystemen werden Spezialisten und Generalisten gefordert, die sich zu einem innovationszentrierten Arbeitsverbund ergänzen. In der Konsequenz muss über gänzlich neue Formen der Arbeit, also auch über neue Formen industrieller Innovationen in volkswirtschaftlichem Sinne, vor allem auch über den Wandel der Arbeitswelt nachgedacht werden.

Die Lösung des Beschäftigungsproblems kann als „Jahrhundertaufgabe“ angesehen werden. Sie wird wahrscheinlich nur allmählich durch ein Zusammenwirken der bereits auf allen Ebenen diskutierten Vorschläge zu erreichen sein. Festzuhalten bleibt allerdings, dass die Sicherung von Arbeit in der industriellen Produktion langfristig vor allem durch einen Vorsprung in Forschung und Entwicklung, also durch Tech-

Abbildung 16: *Verbesserung der Innovationsfähigkeit.*

nologie und Innovation erreicht werden kann. Damit angesprochen ist nicht nur die Wissenschaft, sondern auch die vorgelagerte und begleitende berufliche Bildung.

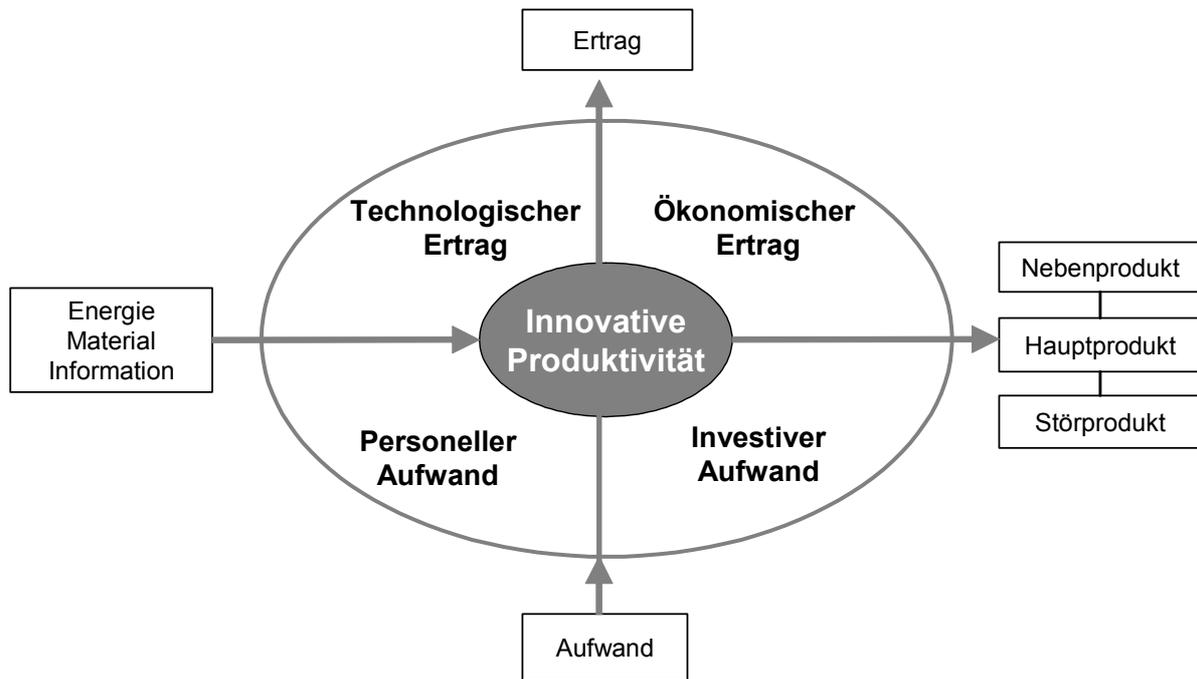
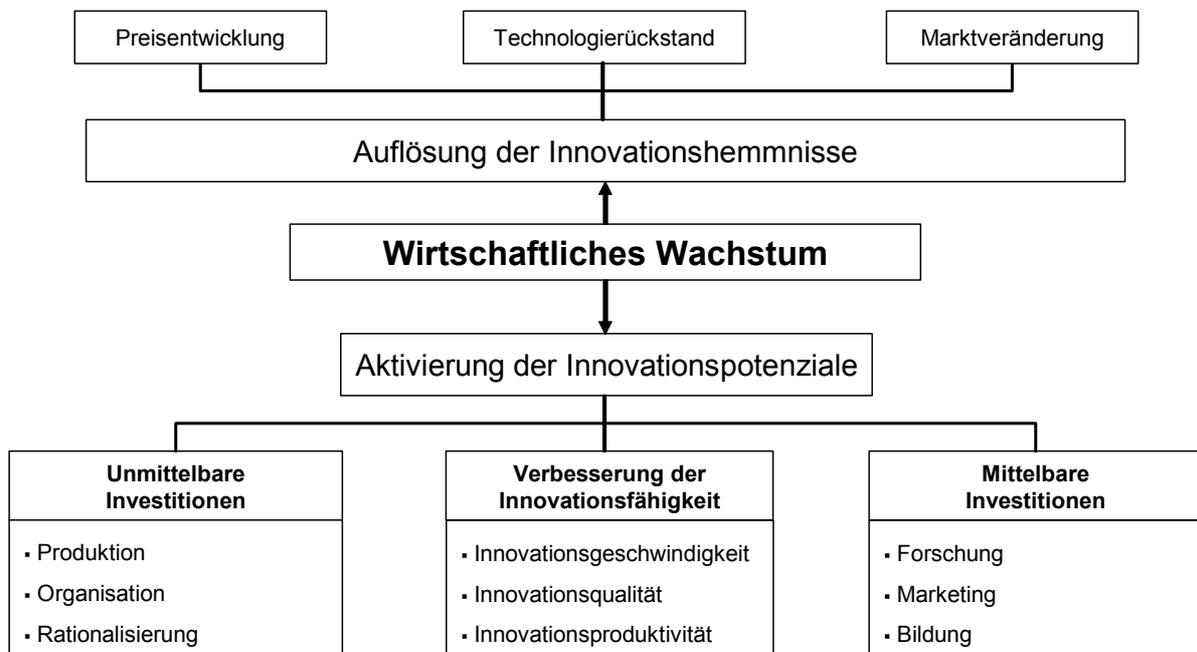
Der ökonomische Imperativ technologischer Innovationen fordert größten Nutzen bei möglichst geringem Aufwand. Grundlage ist eine Maximierung der Leistungsintensität des Innovationspotenzials. Dieses bedeutet auch, eine zielgerichtete volle Entfaltungsmöglichkeit des technologischen Wissens zu schaffen. Die Ansätze hierfür liegen in einer permanenten Aktivierung des Innovationspotenzials sowohl innerhalb des Unternehmens als auch im erreichbaren Umfeld. Innovation ist kein Selbstläufer.

Nach Abbildung 17 wird die innovative Produktivität durch Kenngrößen für Ertrag und Aufwand gemessen. Dabei kann zwischen Hauptproduktivität, Nebenproduktivität sowie Störproduktivität unterschieden werden, so wie sie sich aus der Transformation der Eingangsgrößen Energie, Material und Information ergeben.

Die Durchsetzung der Marktführerschaft setzt eine kundenorientierte und markt-nahe Innovatisierung in allen Unternehmensbereichen sowie Schaffung einer innovationsfreundlichen Kultur voraus (Abbildung 18).

Innovatisierung ist nicht allein Aufgabe von Forschung und Entwicklung. Sie betrifft die gesamte Prozesskette innerhalb des Unternehmens wie aber auch den Umgang mit dem Markt. Sie ist unternehmensspezifisch und deshalb von den Wettbewerbern nur schwierig zu kopieren – viel schwieriger jedenfalls als rein technische Produkterneuerungen.

In der öffentlichen Diskussion besteht Übereinstimmung hinsichtlich der Notwendigkeit, die Umsetzung von neuen Erkenntnissen der Forschung in industriell nutzbare Produkte zu beschleunigen. Ein Hemmnis ist durch die Vorbedingungen der Ideenproduktion gegeben. Die Entwicklung neuer Produkte, die Entdeckung neuer Methoden, Prinzipien und Vorgehensweisen erfordern neben Kreativität auch marktbezogene Sachkenntnis und spezifische Erfahrung. Die Ideenfindung ist überwiegend mit dem Eindringen in neue Gebiete verbunden. Innovationstransfer umfasst nicht nur mehrere Disziplinen übergreifende fachwissenschaftliche Kenntnisse,

Abbildung 17: *Produktivität von Innovationsprozessen.*Abbildung 18: *Aktivierung von Innovationspotenzialen.*

er beinhaltet auch prototypische Realisierungen, Managementwissen und den Aufbau angepasster Berufsqualifikationen.

Innovationsfähigkeit allein wird für kommende wirtschaftliche Herausforderungen nicht mehr ausreichend sein. Es geht vielmehr um den Wettbewerb im weltweiten Maßstab.

Zur Initiierung und Durchsetzung marktentscheidender Erneuerungsprozesse bedarf es eines Innovationsmanagements, das zwar von den Technikwissenschaften ausgeht, aber unternehmerisch gesehen immer unter dem Imperativ des wirtschaftlichen Erfolgs stehen muss.

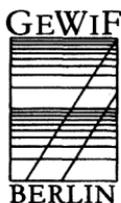
Angesichts der weit reichenden Bedeutung der Technik für die Entwicklung der Gesellschaft ist Innovationsmanagement auch mit einem hohen ethischen Anspruch verbunden. Die Nutzbarmachung technischer Erkenntnisse muss deshalb über den Imperativ des wirtschaftlichen Erfolgszwanges hinaus auch den ethisch-sozialen Ansprüchen gerecht werden.

Eine entscheidende Aufgabe des Innovationsmanagements ist die qualifizierte Beherrschung aller Systemprozesse. Es gilt, weltweit Innovationspotenziale durch kooperatives und simultanes Forschen, Entwickeln, Produzieren und Vermarkten mit dem Ziel zu erschließen, die Umsetzungszeit für das Neue weiter zu verkürzen. Um qualitativ hochwertige Leistungen konkurrenzfähig erbringen zu können, bedarf es einer integrativen Kooperation zwischen Forschung und Praxis. Dabei ist der Wissenstransfer sowohl Bringschuld der Wissenschaft als auch Holschuld der Wirtschaft.

Vor diesem Hintergrund kann die Notwendigkeit zur Stärkung einer ganzheitlichen, marktorientierten Innovationsdynamik nicht genug betont werden. Es gilt, durch eine breite Offensive in Forschung, Lehre und industrieller Praxis die Voraussetzungen für eine permanente Innovationsfähigkeit zu schaffen. Die Organisation schöpferischen Denkens muss dynamisch entwickelt werden. Obwohl der Mensch individuell geprägt ist, wird sein innovatives Denken entscheidend durch das soziale Umfeld kreativer Wechselwirkungen beeinflusst.

Um das Neue zu gestalten, werden Führungskräfte benötigt, die mit fachlicher Kompetenz Ideen entwickeln, unterschiedliche Interessenlagen zu einem Konsens zusammenführen und in Leitvorstellungen umsetzen können. Dies erfordert Risikobereitschaft und gleichzeitig Verantwortungsbewusstsein, Eigenkreativität und erkennbares persönliches Engagement, verbunden mit Überzeugungsvermögen und Gemeinschaftsgeist. Es kommt auf den Dirigenten an.

Gesellschaft für
Wissenschaftsforschung



Heinrich Parthey
Günter Spur (Hrsg.)

**Wissenschaft und Technik
in theoretischer Reflexion**

**Wissenschaftsforschung
Jahrbuch 2006**

Mit Beiträgen von:

*Gerhard Banse · Klaus Fischer
Klaus Fuchs Kittowski · Siegfried Greif
Karlheinz Lüdtke · Heinrich Parthey
Günter Spur · Rüdiger Wink*



PETER LANG

Frankfurt am Main · Berlin · Bern · Bruxelles · New York · Oxford · Wien

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in
der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über <<http://www.d-nb.de>> abrufbar.

Gedruckt auf alterungsbeständigem,
säurefreiem Papier.

ISBN-10: 3-631-55523-7
ISBN-13: 978-3-631-55523-1

© Peter Lang GmbH
Europäischer Verlag der Wissenschaften
Frankfurt am Main 2007
Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich
geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des
Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages
unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für
Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die
Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Printed in Germany 1 2 3 4 5 7

www.peterlang.de