Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *99(2008), 137-179*

Günter Spur

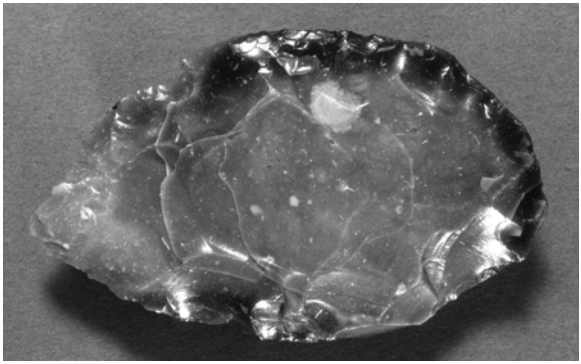
Allgemeine Technologie und Innovationstheorie

1 Am Anfang war die Werktechnik

Technik ist eine kulturelle Reform, die der Mensch sich und der Natur auferlegt. Sie wirkt produktiv durch schöpferische Kunstfertigkeit des Menschen. Mit dem Werkzeug in der Hand entwickelte der Mensch seine individuellen Fähigkeiten zum handwerklichen Können. Aus der Erfahrung im Umgang mit Naturstoffen wurde er mit Hilfe seiner Werktechnik Erfinder und Gestalter einer Hilfswelt zur Natur.

Der Faustkeil symbolisiert als Universalwerkzeug den ersten Innovationsschritt zur Werktechnik der Frühzeit (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1 Altsteinzeitlicher Faustkeil



Quelle: Spur 2004, S. 1

Der Engpass handwerklicher Technik war durch die natürlichen Grenzen menschlicher und tierischer Leistungsfähigkeit gegeben. Deshalb war die Erfindung von Wasser- und Windmühlen ein wichtiger Schritt zur Weiterentwicklung der Werktechnik.

Es gibt über die Entwicklung der Gütererzeugung im frühen Mittelalter kaum Schriften und Dokumente, die den erreichten Fortschritt handwerklicher Kunst vermitteln. Eine der ältesten Beschreibungen ist uns durch den Benediktinermönch Theophilus Presbyter mit seiner Schrift „Diversarum Artium Schedula“ überliefert, die um 1100 entstanden ist. Theophilus, auch als der berühmte Goldschmied Roger von Helmarshausen bekannt, dokumentierte in einem umfassenden Werk den Stand der Werktechnik jener Zeit durch anschauliche Beschreibung kunstvoller Arbeiten.

Theophilus betont bereits in der Einleitung zu seiner „Schedula“ die Zusammenhänge von Erfindungsgeist und Kunstfertigkeit: „Der vernunftbegabte Mensch kann, mit der Gabe des Wissens ausgestattet, die Fähigkeit zu jeder Kunstfertigkeit und Technik erlangen“ (Timm 1964, S. 14).

Kunstfertigkeit zur Entstehung des Neuen, bereichert durch Wissen führt zu Innovationen als Quelle des Fortschritts. Sie ist eine zielorientierte Handlungsweise, die auf erworbenem Können beruht und sich nach den Regeln der werktechnischen Vernunft weiterentwickelt. Die „Nützlichen Künste“ der Renaissance bildeten eine Einheit von Kunst und Technik.

Mit dem Aufkommen der Feuerwaffen entwickelte sich die Pyrotechnik als ein neuer, nachhaltig bedeutender Zweig der Technik. Die Fortschritte in der Buchdrucktechnik bewirkten eine schnelle und weite Verbreitung des technischen Wissens.

Im Zeitraum des 16. und 17. Jh.s hatten die Ergebnisse der theoretischen und experimentellen Naturwissenschaft noch wenig Durchschlagskraft auf das Handwerk. Die langsame Verbreitung von Erkenntnissen, Entdeckungen und Erfindungen hat sicherlich auch etwas mit der Trägheit der Kommunikation zu tun. Erst die Überwindung des Analphabetentums, insbesondere die Einführung der Schulpflicht und damit die Einleitung eines breiten Bildungsprozesses, hat den Fortschritt der Technik wesentlich beschleunigt.

2 Die Technologie der Kameralisten

Im 18. Jh. ist neben der Verselbständigung der Naturwissenschaften auch eine wachsende Profilierung des Kameralismus und der Ökonomie erkennbar. Die Entwicklung der Wirtschaft war zunehmend durch Gründungen von Manufakturen und Fabriken bestimmt, was dazu führte, dass auch staatliche Verwaltungsbereiche diesbezüglich personell angepasst werden mussten. Als Kameralisten bezeichnete man Berater und Verwaltungsbeamte der deutschen

Territorialfürsten im 17. und 18. Jh., deren Aufgabe es war, die fürstlichen Einkünfte zu mehren.

Nachdem die Naturwissenschaftler eine große Zahl von Naturgesetzen aufgefunden hatten, glaubte man, dass es ähnliche Gesetzmäßigkeiten für das Zusammenleben der Menschen geben müsse, und dass man aus solchen Gesetzen eine neue Theorie der Staatsführung ableiten könnte. Damit war die Kameralwissenschaft in den Rahmen der Philosophie gestellt.

Es kam im Laufe des 18. Jh.s zu einer Welle von Gründungen neuer Lehrstühle für Ökonomie und Kameralistik an mehreren Universitäten. In Göttingen hatte Beckmann seine neue Auffassung von Technologie immer gründlicher durchdacht und erweitert: „*Technologie* ist die Wissenschaft welche die Verarbeitung der Naturalien, oder die Kenntniß der Handwerke, lehrt. Anstat daß in den Werkstellen nur gewiesen wird, wie man zur Verfertigen der Waaren, die Vorschriften und Gewohnheiten des Meisters befolgen soll, giebt die Technologie, in systematischer Ordnung, gruendliche Anleitung, wie man zu eben diesem Endzwecke, aus wahren Grundsaetzen und zuverlaessigen Erfahrungen, die Mittel finden, und die bey der Verarbeitung vorkommenden Erscheinungen erklaeren und nutzen soll“ (Beckmann 1802, S. 19; vgl. auch Beckmann 1780/1805).

Nach seiner 40jährigen Lehrtätigkeit hatte Beckmann in seinen Lehrbüchern eine wohlfundierte wissenschaftlich ausgerichtete Technologie aufgebaut. Er eröffnete dadurch die mehr als ein Jahrhundert dauernde Zeit der so genannten klassischen Technologie, in der bedeutende Gelehrte in seinen Gedankengängen weiterschaffend der Technologie ein hohes Ansehen verschafften.

Bemerkenswert ist die schnelle Aufnahme des Technologiebegriffs im Fachschrifttum des 18. Jh.s. So definiert Georg Friedrich von Lamprecht (1760 – 1820), Professor für Kameralwissenschaften in Halle, in seinem „Lehrbuch der Technologie“ 1787 Technologie wie folgt: „Die Technologie, Kunstgeschichte, Stadtwirtschaft, Fabrikwissenschaft, ist diejenige Wissenschaft, welche die Grundsätze und Mittel lehrt, nach welchen und durch welche alle diejenigen Naturalien, die in dem Zustande, in welchem sie die Natur uns gab, entweder gar keinen oder nur einseitigen Nutzen haben, auf die beste Weise dergestalt verarbeitet werden, als es zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse verschiedener Art erforderlich ist, mit Ausnahme derjenigen Verarbeitungen, die bloß und allein einen arzneylichen Gebrauch gewähren“ (Lamprecht 1787, S. 2f.).

Die von Beckmann entwickelte „natürliche Ordnung der Handwerke und Künste“ ist zwar in ihrer Art als frühe Klassifizierung technologischer Verfahren zu verstehen, sie erfolgte aber eher nach praktischen als nach wissenschaftlichen Kriterien. Ein wesentlicher Fortschritt wissenschaftlicher Systematik ging 1806 Johann Heinrich Moritz von Poppe aus, der in seinem „Handbuch der Technologie“ den Stoff nach zwei Hauptabteilungen gliederte, in die der „mechanischen und chemischen Bereitungen“. Hierbei stützte er sich auf vorangehende Arbeiten von Lamprecht.

Damit war dir Trennung in Mechanische Technologie und Chemische Technologie eingeleitet und für die Entwicklung des Fachschrifttums im 19. Jh. bestimmend.

Technologie beinhaltete die systematische Beschreibung und Erklärung derjenigen Verfahrensarten und Hilfsmittel, durch welche die rohen Naturprodukte zu Gegenständen des physischen Gebrauchs verarbeitet werden.

Mit dem Fortschritt der Industrialisierung gewannen die Verfahren der mechanischen Bearbeitung im Laufe des 19. Jh.s erheblich an Bedeutung. Ihre wissenschaftliche Systematisierung und Entwicklung als Lehre erstmals nachhaltig erarbeitet zu haben, ist das große Verdienst von Karl Karmarsch (1803 – 1879). In seiner 1825 erschienenen „Einleitung in die mechanischen Lehren der Technologie“ entwarf er ein Ordnungsprinzip der Mechanischen Technologie, das in seinem Wesen bis zur heutigen Systematik der Fertigungsverfahren nachwirkt.

3 Technologie als Lehre vom Wandel der Technik

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

stands. Damit könnte Technologie als Anwendung von technischem Wissen, als Angewandte Wissenschaft, gedeutet werden.

Der Begriff Technologie erfordert eine Abgrenzung zum Begriff Technik: Während Technologie auf eine fortschreitende Veränderung deutet, also prozessbezogen zu verstehen ist, beinhaltet Technik mehr einen Zustand oder die Gesamtheit des technologischen Wissens. Unter verschiedenen Blickwinkeln betrachtet, könnte unter Technologie sehr einfach die Lehre vom permanenten Wandel der Technik verstanden 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 wird in wachsendem Maße durch eine interdisziplinär angelegte technologische Forschung entsprochen, die auch Beiträge der Arbeits- und Bildungswissenschaften einschließt.

Wenn Technologie als Lehre vom Wandel der Technik gedeutet wird, dann zielt Technologie auch auf den Wandel von Wirtschaft und Gesellschaft.

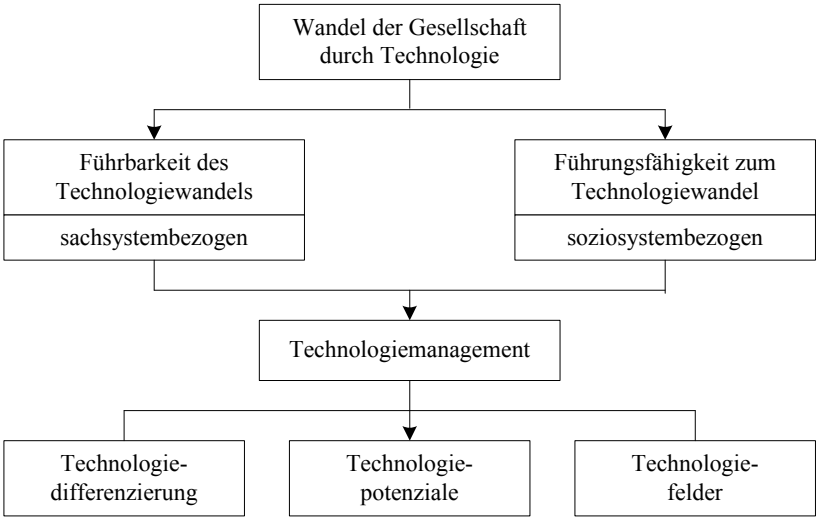
Im internationalen Schrifttum finden sich von der sehr engen Auslegung des Technologiebegriffs im Sinne einer Verfahrenskunde bis zur Deutung als Wissenschaftslehre der Technik viele Variationen. Zunehmend wird dabei die Einbindung der Technologie in die gesellschaftliche Entwicklung zum Ausdruck gebracht.

Abbildung 2 zeigt die technologische Wirkungskette in ihrer gesellschaftlichen Einbettung. Aus der Erkenntnis seiner Schlüsselfunktion muss ein Technologiemanagement entwickelt werden, das sowohl die systembezogene Führbarkeit des Technologiefortschritts als auch die humanbezogene 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“ (Ropohl 1997, S. 111).

Abbildung 2: Technologische Wirkungskette



Quelle: Eigene Darstellung

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“ (ebenda, S. 112).

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.

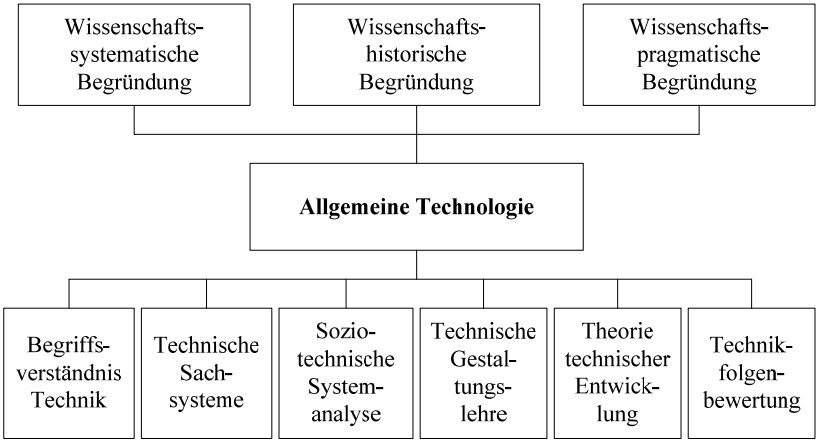
Technik ist nicht nur Objekt technikwissenschaftlicher, sondern auch gesellschaftswissenschaftlicher Forschung. Die Allgemeine Technologie ist deshalb auch sozio-technisch orientiert.

Eine besondere Aufmerksamkeit verdient unter dem Aspekt der Differenzierung des Technologiebegriffs die Deutung der Allgemeinen Techno-

logie nach inhaltlichen und systematischen Gesichtspunkten. Nach Ropohl umfasst die Allgemeine Technologie „generalistisch-interdisziplinäre Technikforschung und Techniklehre und ist die Wissenschaft von der allgemeinen Funktions- und Strukturprinzipien der Sachsysteme und ihrer soziokulturellen Entstehungs- und Verwendungszusammenhänge“ (ebenda, S. 113).

In Abbildung 3 ist das von Ropohl beschriebene Deutungsmodell einer Allgemeinen Technologie dargestellt.

Abbildung 3: Deutungsmodell einer Allgemeinen Technologie



Quelle: Nach Ropohl 1997, S. 113ff.

4 Erscheinungsformen und Modelle technischer Systeme

4.1 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 natürlichen Umsystem sind Einflussparameter sozio-technischer und sozio-ökonomischer Umsysteme zu berücksichtigen.

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.

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 verschiede Zeiträume bezogen sein.

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 Verknüpfungs-

grades 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 Handels 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.

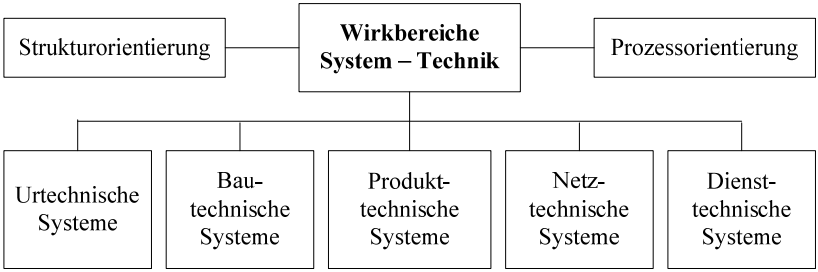
Technische Systeme ermöglichen eine permanente Verbesserung. Die Kreativität des Menschen ist in die Zukunft gerichtet und damit unbegrenzt. Der Erwerb von Wissen ist offen, somit auch seine Anwendung in technischen Systemen. Das dritte Leitaxiom technischen Handelns ist deshalb auf *Innovativität* gerichtet.

4.2 Unterteilung technischer Systeme

Eine Unterteilung des Systems Technik ist nach funktionalen Wirkbereichen möglich (siehe Abbildung 4):

- *Urtechnische Systeme* sind mit ihren Eingangsoperanden an die Naturpotenziale Boden, Wasser oder Luft gebunden. Ihre Transformationsprozesse werden stoff- oder energieorientiert unterschieden.
- *Bautechnische System*e 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 System*e sind kommunikativ strukturierte Artefakte mit stoff-, energie- oder informationsorientierten Transformationsprozessen. Sie sind zeit-, orts- und mengenbestimmt.
- *Diensttechnische Systeme* sind soziobezogene Artefakte mit unmittelbarer Wirkung auf die Lebens- und Arbeitsgestaltung. Ihre Transformationsprozesse sind handlungsorientiert.

Abbildung 4: Unterteilung des Systems Technik nach funktionalen Wirkbereichen



Quelle: Eigene Darstellung

4.3 Begründung der Technikwissenschaften

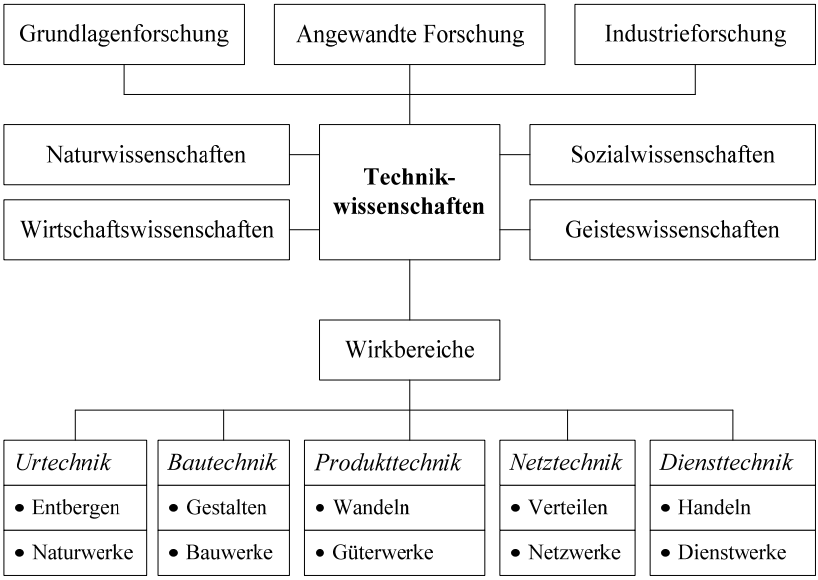
Technik, Technologie und Technikwissenschaft bilden ein Begriffsgemenge unklarer Abgrenzung. Die Technikwissenschaften stellen in ihrer Gesamtheit kein geordnetes, im Einzelnen folgerichtig aufgebautes System von technologischen Erkenntnissen dar. Ihre Unterteilung in verschiedene Wissensbereiche und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

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 5 zeigt die Technikwissenschaft in ihrer differenzierten Verknüpfung mit anderen Disziplinen. Mit seinen kooperierenden Teilsystemen aus Grundlagenforschung, angewandter For-

schung und Industrieforschung begründet ein derartig interpretierter Wissensverbund zugleich die Möglichkeit exemplarischer Analysen einer für die Technikwissenschaft entwicklungsnotwendigen methodischen Vermittlung wissenschaftlicher Theoriebildung und industrieller Praxis.

Abbildung 5: Wirkbereiche der Technikwissenschaften



Quelle: Eigene Darstellung

Eine Gliederung der Technikwissenschaft 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.

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. 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.

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 einer sich innovativ entwickelnden Technik.

Eine Allgemeine Technikwissenschaft hat als Lehre vom Wissen über den technologisch bedingten Kulturwandel 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 eine sozial orientierte Industriegesellschaft mit einem Wirtschafswachstum, das fast ausschließlich auf Produktivitätssteigerung durch Rationalisierung und Innovation beruht.

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. Objektivationen 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 umfas-

senden Akkumulation von theoretischem Wissen, praxisgeführten Erfahrungsprozessen, menschlichen Handlungsvermögen sowie einer empfindsamen Einführung in den inneren Zusammenhang der Natur ein Wandlungsprozess in unserem Denken, der zu einem neuen Selbstverständnis der Technikwissenschaften führt.

4.4 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 Wechselwirkungen 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 Technikwissenschaft bildet ein in die Methodik übergreifendes Moment. Zielorientierte Problemlösungen erhalten ihren Sinn erst durch ihre Nützlichkeit aus technischer oder wirtschaftlicher Sicht.

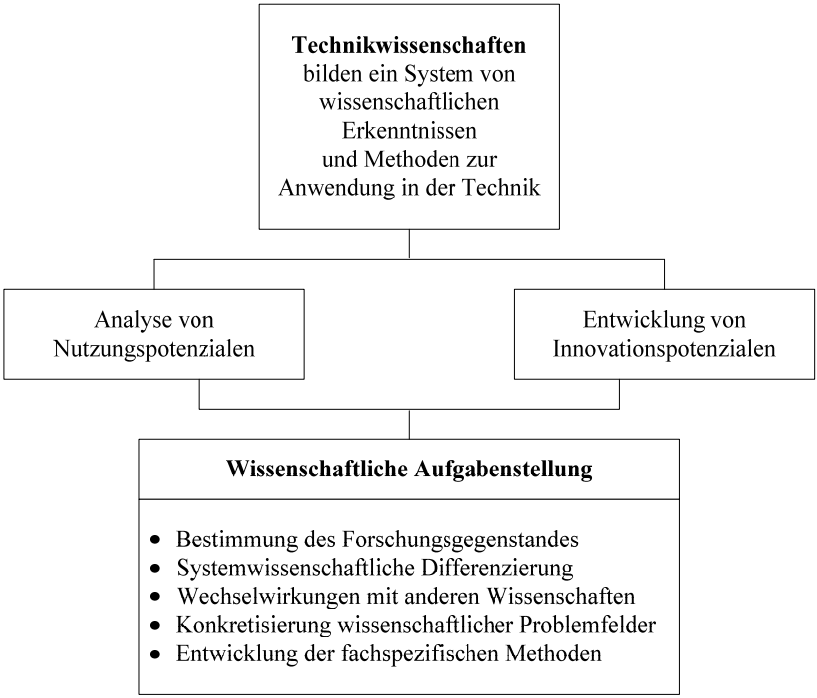
Die Forschungsmethodik hat sich als eine Funktion konkreter Wechselwirkungen zwischen industrieller Praxis und erkenntnisleitender wissenschaftlicher Theorie empirisch herausgebildet, wobei die Forderung nach innovativen Entwicklungen von Prozessen und Produkten ein zentrales Anliegen ist.

Erkenntnisdefizite in der Methodik technikwissenschaftlicher Forschung verweisen auf notwendige Analysen wissenschaftstheoretischer Art, auch im Sinne einer Neuordnung der Technikwissenschaft. 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 Tech-

nikwissenschaft 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 (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Differenzierte Methodik der Technikwissenschaften



Quelle: Eigene Darstellung

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 Technikwissenschaft verlaufen zwar rational, sind aber hinsichtlich ihrer Ergebnisse 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.

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

Die Methodik der Technikwissenschaft 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.

5 Ansatz für eine technologische Innovationstheorie

5.1 Komplexität der Aufgabenstellung

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.

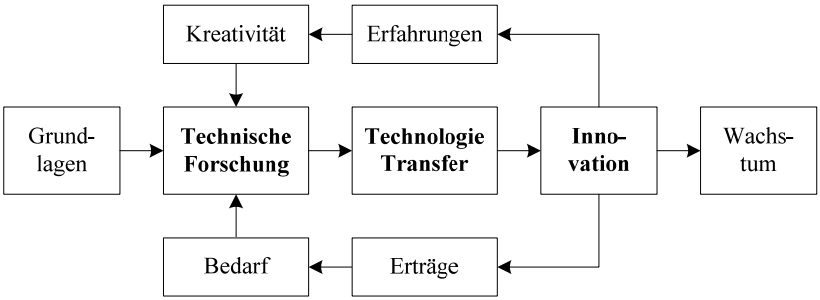
Technische Forschung zielt sowohl auf neue Erkenntnisse ihres Gegenstandes als auch auf die technologische und wirtschaftliche Umsetzung dieser Erkenntnisse in Produkt- und Prozessinnovationen industrieller Produktion. Letztere stellen die den Forschungsprozess ganzheitlich bestimmende Zielsetzung dar. Das heißt, technische Forschung ist in ihrem Kern Innovationstransfer (siehe Abbildung 7).

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 technik-

wissenschaftliche 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.

Abbildung 7: Technologietransfer als Innovationsprozess



Quelle: Eigene Darstellung

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.

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 einer modernen Produktionswirtschaft werden Spezialisten und Generalisten gefordert, die sich zu einem innovationszentrierten Arbeitsver-

bund 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 Technologie 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.

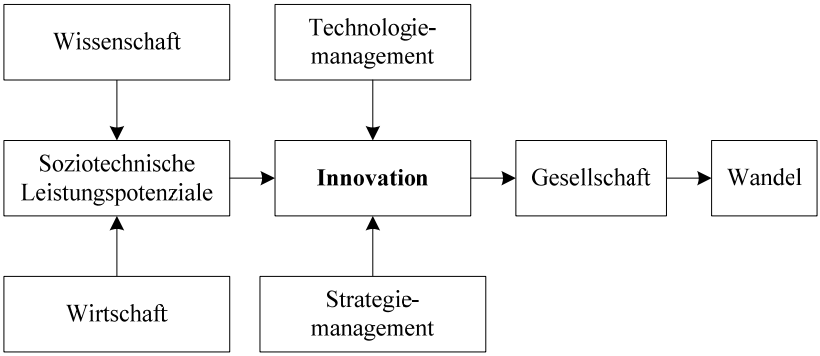
Die Durchsetzung der Marktführerschaft setzt eine kundenorientierte und marktnahe Innovatisierung in allen Unternehmensbereichen sowie Schaffung einer innovationsfreundlichen Kultur voraus. Innovatisierung ist nicht allein Aufgabe von Forschung und Entwicklung. Sie betrifft die gesamte Prozesskette innerhalb 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, er beinhaltet auch prototypische Realisierungen, Managementwissen und den Aufbau angepasster Berufsqualifikationen.

5.2 Soziotechnische Innovationsforschung

Die Gesellschaft kann die existenziellen Probleme ihrer Zukunft nur auf der Grundlage von Forschung und Technologie lösen, eingebunden in das Spannungsfeld des industriellen Fortschritts. Die damit verbundenen Aufgaben machen es erforderlich, dass alle verfügbaren Innovationskräfte mobilisiert werden. Die Werkzeuge kommen aus der Wissenschaft, die in enger Wechselbeziehung mit Technik und Wirtschaft das zukunftstragende Innovationsprofil der Gesellschaft aufbereitet. Die Sicherung von Wohlstand und Fortschritt ist eine Herausforderung für alle Leistungspotenziale in Wissenschaft und Wirtschaft (siehe Abbildung 8).

Abbildung 8: Innovation als soziotechnischer Wandlungsprozess der Gesellschaft



Quelle: Eigene Darstellung

In kritischen Wirtschaftsphasen wird die Mangelhaftigkeit von Vorsorgemaßnahmen besonders deutlich. Wir haben angesichts der demografischen Entwicklung unserer Bevölkerung keine Zeit zu verlieren. Deshalb muss die Förderung der Innovationsforschung höchste Priorität erhalten. Hieraus entwickelt sich die Wirtschaftskraft der Zukunft. Staatliche Innovationspolitik sollte Anreize für eine Ausrichtung der Industrie auf neue, strategisch bedeutsame Technologiefelder mit Schlüsselfunktionen entwickeln.

Der schnelle und nachhaltige Wandel durch Innovationen drängt zu einer Reform der Wissenschaftsstruktur. Die derzeitige Fakultätslandschaft der Universitäten ist auf integrative Innovation nicht vorbereitet. Eine gegensei-

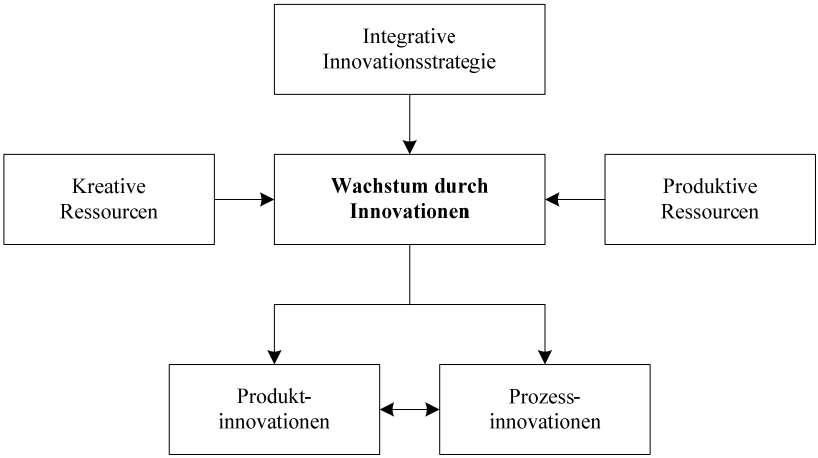
tige Durchdringung technikwissenschaftlicher und gesellschaftswissenschaftlicher Fragestellungen ist dringend geboten, um gewachsene Formen von Wissenschaftsabgrenzung zu überwinden. Dies gilt auch für die einzelnen Disziplinen innerhalb der Technikwissenschaften selbst.

Die Globalisierung der Märkte macht es volkswirtschaftlich notwendig, die regionale Innovationsfähigkeit zukunftsorientiert zu stärken, also Beschäftigungs- und Wettbewerbssicherung durch Förderung von Forschung und Entwicklung zu betreiben. An diesbezüglichen Appellen mangelt es nicht. Was fehlt, ist die personelle Vernetzung von Wissenschaft und Wirtschaft, wobei der Zugriff auf ein hohes Qualifikationsniveau des verfügbaren Arbeitsmarktes zwingend ist.

Die Erneuerung eines Wirtschaftssystems schließt die Bereitschaft ein, überkommene Strukturen in Frage zu stellen und eine Flexibilisierung des Denkens auf allen Ebenen des wirtschaftlichen Handelns anzustreben: Mit dem Mut zur Veränderung beginnt der Erfolg von Innovationen.

Das Wachstum einer Wirtschaft basiert auf konkreten Maßnahmen zur Belebung der Märkte, basiert auf innovativen Strategien zur Steigerung von Kreativität und Produktivität. Die Absicherung der erreichten Wirtschaftsposition reicht nicht aus. Es geht um permanentes Wachstum durch Innovationen als unternehmerische Strategie (siehe Abbildung 9).

Abbildung 9: Aktivierung soziotechnischer Ressourcen



Quelle: Eigene Darstellung

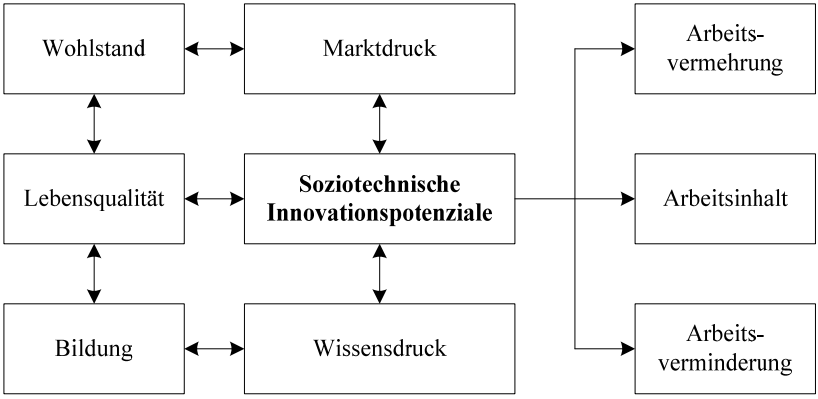
Bei der Umsetzung der strategischen Ziele auf operativ wirksame Prozesse darf nichts dem Zufall überlassen bleiben. Erfolge setzen eine systematische Erschließung aller Ressourcen zur Erreichung einer hohen Planungssicherheit voraus, beruhen aber auch auf konsequenter und schneller Umsetzung des Neuen. Wachstum erfordert die Aktivierung der gesamten technologischen und ökonomischen Unternehmenskompetenz. Wichtig ist die Motivation der Mitarbeiter. Sie vermitteln letztlich durch ihr Wissen und Können den innovativen Erfolg am Markt.

Innovationen vermehren und vermindern die Menge an Arbeit, sie verändern aber auch ihre Inhalte, um das Neue zu schaffen. Sie beeinflussen das Arbeitsleben nicht nur zeitlich und örtlich, sondern auch hinsichtlich der Arbeitsmittel und der Arbeitsmethoden (siehe Abbildung 10).

Die gegenwärtige Phase der Technikentwicklung zielt auf Dezentralisierung der Arbeit und führt in eine neoindustrielle Arbeitswelt, die durch den Fortschritt der Informationstechnik geprägt wird. Durch kontinuierliche Optimierung der Informationsnetzwerke erwächst gewissermaßen als konzertierte Innovation eine neue Arbeitskultur.

Individuelle Lebensqualität ist letztlich das Ergebnis von Gemeinschaftsarbeit, die neben der Leistungsbereitschaft auch Bildungsfähigkeit einschließt. Zukünftige Arbeitskulturen sind für humane Werte sensibilisiert, die von der Gesellschaft als Grundlage ihrer Innovationsfähigkeit aufgezeigt werden.

Abbildung 10: Einfluss gesellschaftlicher Innovationspotenziale auf des Arbeitssystem



Quelle: Eigene Darstellung

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 Existenz setzt global orientierte Innovationsstrategien voraus. Sie stärken unsere Gesellschaft, indem sie auch wirtschaftspolitische Zielsetzungen zur Überwindung des Wettbewerbs einbeziehen. Dabei darf die Gefahr der Verschwendung verfügbarer Innovationspotenziale nicht übersehen werden. Andererseits verfügte der Mensch noch nie über so viel wissenschaftliches und technologisches Wissen wie heute, damit aber auch noch nie über so viele Chancen zum innovativen Fortschritt der Gesellschaft. Das technologische Innovationspotenzial der Welt ist offen, es muss nur kreativ genutzt werden.

Ein wesentlicher Beitrag für einen wirtschaftlichen Aufschwung wird durch produktive Umsetzung von Forschung in wettbewerbsfähige Produkte und Prozesse geleistet. Es wird dabei auf die Innovationskraft der technologischen Ressourcen ankommen. Um leistungsfähige Schlüsselindustrien zukunftsfest zu entwickeln, bedarf es einer strategischen Perspektive, neue Technologien permanent auf wirtschaftlich nutzbare Anwendungsbezüge zu prüfen.

5.3 Die Planung des Neuen

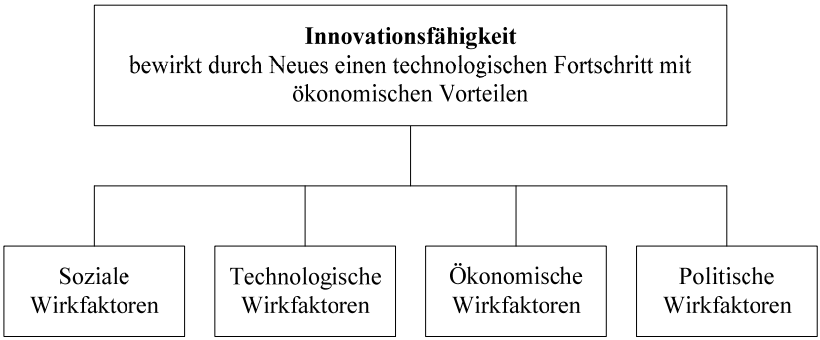
Das Neue entsteht in vielfältiger Weise in der gesamten Breite von Wissenschaft und Wirtschaft. Verlaufen die Erneuerungsprozesse in wissenschaftlichen Kanälen hoher fachlicher Spezialisierung oder als interdisziplinäre Integration? Sicherlich liegt die Wirklichkeit dazwischen. Es kommt auf die Wirkfaktoren der Innovationsfähigkeit an (siehe Abbildung 11).

Die Zukunftsforschung hat die Schwierigkeit von Vorhersagen gesellschaftlicher Entwicklungsprozesse immer wieder aufgezeigt. Aber gilt dies auch für technische Innovationsprozesse? Hier liegt das Problem des Neuen weniger im „Was?“ als im „Wie?“.

Das Erfinden ist eine Kunstfertigkeit zur Schaffung des Neuen, gekennzeichnet durch innovative Kreativität, die Wissen und Können, Handlungsfähigkeit und Inspiration vereinigt und sich der innovativen Vernunft als Regulativ bedient. Dabei ist das Ergebnis meistens ein Gemeinschaftsprodukt, wirksam als Netzwerk individueller Leistungen. Es kommt auf spezialisiertes Wissen an, was sich im gemeinsamen Können offenbart. Hohe

Komplexität im Neuen erfordert Gemeinschaftsarbeit. Dabei erhält die Motivation im Sinne von Teamgeist eine besondere Bedeutung.

Abbildung 11: Wirkfaktoren für die Effizienz der Innovationsfähigkeit



Quelle: Eigene Darstellung

Ideenreichtum als Treiber innovativer Wissenschaftskultur hat immer wieder außergewöhnliche Erfolge erzielt. Angesichts der hohen Komplexität des wissenschaftlichen Fortschritts hat kooperative Forschung einen zunehmenden Stellenwert erhalten, wobei das natürliche Bedürfnis nach Anerkennung der individuellen Leistung nicht zu übersehen ist.

Wissenschaft ist zukunftsorientiert, sie verarbeitet das Neue, das sie entdeckt, aber auch das, was durch sie als Neues erfunden wird. Neue Fragestellungen führen zu neuen Forschungsrichtungen. Sie aktivieren neue Strukturen der wissenschaftlichen Zusammenarbeit. Das Neue sichert die Zukunft. Der Zukunft wegen müssen wir das Neue wollen. Wissenschaftler sind als Träger der Innovationen auch Unternehmer.

Um das Neue zur Nutzung zu führen, muss der schöpferisch tätige Ingenieur auch unternehmerisch denken. Dazu muss er den Markt kennen, wobei auch der Zeitpunkt für einen Innovationserfolg richtig gewählt sein will. Nicht immer ist der Erste auch der Erfolgreichste.

Der Sinn von Innovationen liegt in ihrem Nutzen. Dabei kann sich dieser sprunghaft oder allmählich entwickeln. Das Neue allein bewirkt noch keinen wirtschaftlichen Fortschritt, dieser ist erst mit der Durchdringung des Markts erreicht. Innovationen sind dann erfolgreich, wenn der Aufwand nachhaltig zurückfließt.

Der Erfolg des Neuen entsteht nicht durch Zufall, er entsteht durch einen geplanten Innovationsprozess. Die Lösung innovativer Aufgaben erfordert sowohl methodisches Können als auch praktische Kunstfertigkeit. Die Tätigkeit von Ingenieuren hat noch immer einen Hauch der Renaissance, als ihr Tun den „Nützlichen Künsten“ zugeordnet wurde. Allerdings ist ihr Wirkfeld heute weniger künstlerisch als wissenschaftlich profiliert. Jedoch bleibt die Ingenieurkunst des Individuums für das Erfolgserlebnis der Planungsgemeinschaft unverzichtbar.

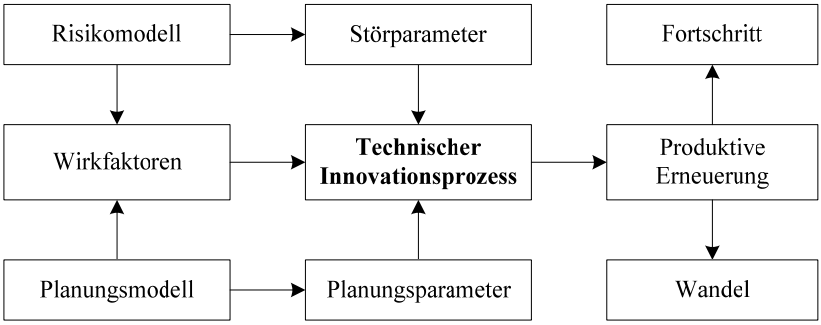
Systemtechnisch ausgedrückt, zielen Innovationen auf Erneuerung von Strukturen und Prozessen zur fortschrittlichen Lösung bestehender Probleme durch gezielte Anwendung des Neuen (siehe Abbildung 12).

Zum Wesen der Innovation gehört aber auch das Risiko. Dies gilt insbesondere für komplexe Innovationsprozesse unter dem Gesichtspunkt nachhaltiger Störwirkung.

Langwellige Innovationsprozesse lassen sich nicht unter der Annahme planen, dass die wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Bedingungen gleich bleiben. Störungspotenziale sind stets vorhanden und müssen deshalb als Randbedingungen berücksichtigt werden.

Technische Innovationen sind auf Wandel und Fortschritt gerichtet. Sie wirken durch schöpferisches Erneuern unserer Lebens- und Arbeitswelten produktiv für die Gesellschaft. Im Bild unserer Kultur verkörpert sich Technik nicht nur als gegenständliche Realität, sondern auch als Prozess gesellschaftlicher Zukunftsentwicklung.

Abbildung 12: Produktive Erneuerung durch Innovationsplanung



Quelle: Eigene Darstellung

Technik offenbart Kunst und Können, getrieben vom Ideenreichtum der Menschen entsteht das Neue durch planvolles Handeln. Im Kern des soziotechnischen Systems unserer Gesellschaft wirkt das Dreieck Wissenschaft, Technik und Wirtschaft als Pulsator des innovativen Fortschritts. Triebkräfte sind die Kreativitätspotenziale.

Der Innovationsprozess bis zur Markteinführung eines neuen Produkts verläuft nicht störungsfrei. Zur Begleitung sind Spezialisten gefragt, von Erfahrung geprägt und verantwortungsbereit für das Neue, aber auch vom Bewusstsein bestimmt, dass Neues kein Selbstläufer ist. Hast und Hetze sind für das Neue verderblich. Bewährtes muss im Neuen erhalten bleiben. Zuviel Neues erhöht das Risiko der Funktionalität. Die Weisheit des Konstrukteurs begründet sich in der Dosierung des Neuen. Sorgfalt ist ein höchstes Gut im Innovationsprozess.

Es ist richtig und unbestreitbar, dass die Durchsetzung des Neuen auch des Mutes bedarf. Fragwürdig wird allerdings schon der Begriff „Risikofreude“. Risiko ist für jeden, der es eingeht, gefährlich. Besonders dann, wenn schädliche Folgen auf eine personifizierbare Verantwortungskette zurückzuführen sind. Risiko einzugehen ist deshalb eher eine Frage der Vernunft und des Wissens als die einer Freude, die eher dem Leichtsinn nahe steht. Nicht Mut und Risikofreude, sondern Wagnis mit Vernunft sind die Begleitfaktoren des Neuen.

5.4 Förderung von Innovationskulturen

Die Vorsorge zur Stabilisierung der Lebensqualität, die eine Generation leisten kann, reicht kaum mehr als ein Jahrzehnt. Innovationswellen sind in ihren langfristigen Wirkungen deshalb nicht voraussagbar, weil die Komplexität ihrer Einflussparameter zu groß und nicht kalkulierbar ist. Wenn es schon kein sicheres Wissen über die Zukunft gibt, dann aber doch wenigstens Vermutungswissen und Wahrscheinlichkeiten. Wir müssen Innovationskulturen anstreben, die regulierbar sind, also Kurskorrekturen einschließen.

Die Gesellschaft erwartet von denjenigen, die die Welt gestalten, dass sie auch die Verantwortung für die Folgen übernehmen. Jedoch: Wer sind die kreativen Leistungsträger? Wie formiert sich der Markt und in welcher Funktion können Menschen Verantwortung übernehmen? Es ist ein Netzwerk technischer Kreativität, das die Zukunft der Industriewirtschaft gestaltet, es ist ein Gemeinschaftswerk der „unbekannten Akteure“, als Einzelne tätig, dennoch irgendwie gelenkt, dem Trend der wissenschaftlichen Ent-

wicklung folgend, der letztlich durch die Wirkpotenziale innovativer Vernunft bestimmt wird.

Die Sorge um die Gegenwart darf das Nachdenken um die Zukunft nicht ersetzen. Die Entschlossenheit zur Übernahme von Verantwortung weckt Vertrauen zum gemeinschaftlichen Können. Es geht bei Innovationen immer um eine Zukunft, die nicht von der Unsicherheit des Neuen frei ist. Wir müssen deshalb versuchen, Risikopotenziale nicht zu Risiken werden zu lassen.

Die technologische Forschung von heute beeinflusst die Gesellschaft von morgen. Deshalb ist es zwingend notwendig, über Schritte nachzudenken, die eine regulative Anpassung unserer Forschungspolitik bewirken. Die Frage nach der Zukunft ist immer auch eine Frage nach welcher Zukunft. Oder wollen wir unsere Zukunft der technologischen Eigendynamik als Selbstläufer überlassen?

Technologische Innovationen entstehen als Handlungsprozesse zur Schaffung des Neuen. Viele Fragestellungen zum Innovationsmanagement drängen sich auf: Wer entscheidet? Wer löst die Innovationsprozesse aus? Wer setzt sie durch? Wer verantwortet das Risiko des Neuen? Die Erfolgserwartungen sind hoch, sie können so sehr übersteigert werden, dass sie den Mut zur Innovation wegen des Risikos sogar verzögern oder behindern.

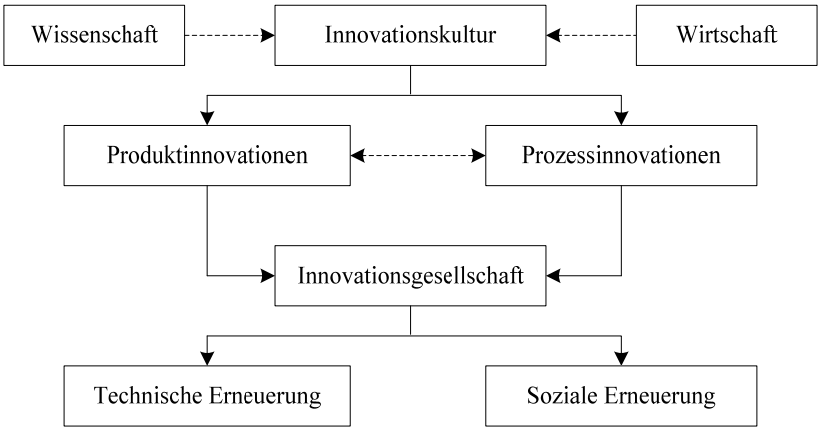
Innovationsprozesse sind übergeordnete Handlungsprozesse in der Gesellschaft. Sie sind mehr als Produktentwicklung und Produktionsplanung. Sie umfassen das gesamte Handlungspotenzial von Wissenschaft und Wirtschaft und reichen tief in den Markt hinein. Sie dienen der Begünstigung des Kunden als Nutzer des erreichten Fortschritts. Die Innovationen sind auf einen Endzweck, also auch auf die konkrete Verwirklichung gesellschaftlicher Ziele gerichtet.

Das Neue entsteht durch Forschung. Ideen und Fragestellungen kommen von den Wissenschaftlern, kommen von den Universitäten. Bei ihnen liegt neben den Lehraufgaben die Verantwortung für den Fortschritt ihrer Fachdisziplinen. In den Fakultäten existiert ein hoch motiviertes Potenzial der Forschung, das sich in jedem Semester erneuert. Im Rahmen der Drittmittelforschung lassen sich gezielte Innovationsprozesse auslösen.

Eine wichtige Voraussetzung zur Steigerung der universitären Forschungsleistungen ist das persönliche Engagement der Wissenschaftler. Die in der deutschen Universitätsstruktur gewährten Freiheiten bieten einen großzügigen Rahmen für wissenschaftliche Entfaltungsmöglichkeiten: eine Herausforderung und Verpflichtung zugleich.

Dennoch ist die Wirtschaft künftig als Ideengeber mehr denn je auf eine Selbstaktivierung ihrer Forschung angewiesen. Die Erneuerung ihrer Innovationskultur ist kein Luxus, sie ist bittere Notwendigkeit für die Sicherung von Wachstum. Wissenschaft und Wirtschaft müssen sich zu ihrer besonderen Eigenverantwortung bekennen und ihre Innovationsfähigkeit zur Lösung gesellschaftlicher Probleme der realen Welt steigern, sich also vordringlich auf das Wachstum unseres Wirtschaftspotenzials konzentrieren. Es gilt, diesen Innovationsbedarf zu erkennen und darauf angepasste Forschungsstrategien zu entwickeln (siehe Abbildung 13).

Abbildung 13: Leistungsträger von Innovationen



Quelle: Eigene Darstellung

Hierzu gehören alle Maßnahmen, die das kreative Leistungspotenzial unserer Innovationsgesellschaft zur optimalen Entfaltung bringen. Wichtig ist eine zielgerichtete und intensive Begleitung der Innovationsprozesse durch die Politik, wobei auf einen Interessenausgleich aller Beteiligten zu achten ist. Ein organisiertes Wechselspiel zwischen den Kooperationspartnern kann sehr kreativ wirken.

Technikwissenschaftliche Forschung benötigt immer wieder Innovationsinitiativen, die geleitet von Visionen Ideenreichtum entfalten. Hierzu muss ein geeignetes Klima zwischen Forschung und Praxis entwickelt und gepflegt werden. Die Innovationsqualität ist dann besonders hoch, wenn sich die Ideen marktorientiert verdichten.

Die theoretische und empirische Innovationsforschung zielt überwiegend auf Deutung des gesellschaftlichen Wandels. Ihr wissenschaftliches Interesse ist meist darauf ausgerichtet, die technische und sozio-ökonomische Entwicklung aus einem historischen Blickwinkel darzustellen, um daran Hypothesen über die Zusammenhänge zwischen Innovationen und wirtschaftlicher Entwicklung abzuleiten.

Technologische Innovationen bewirken einen gesellschaftlichen Fortschritt, wenn sie vernunftorientiert auch ethisch-sozialen Ansprüchen genügen. Dabei wird das Ziel einer Aktivierung des Arbeitsmarkts vordringlich an Bedeutung gewinnen. Wachstumsstarke Wirtschaftsstrukturen setzen eine kreative Entfaltung sozialer Leistungsfähigkeiten voraus. Damit ist auch die Schlüsselfunktion des Bildungspotenzials unserer Gesellschaft angesprochen.

Technologische Innovationen sind nur dann wirklich erfolgreich, wenn das Neue vom Markt permanent nachgefordert wird, sodass eine anhaltende Aktivierung der Arbeitsmärkte eintritt.

5.5 Innovationsmanagement

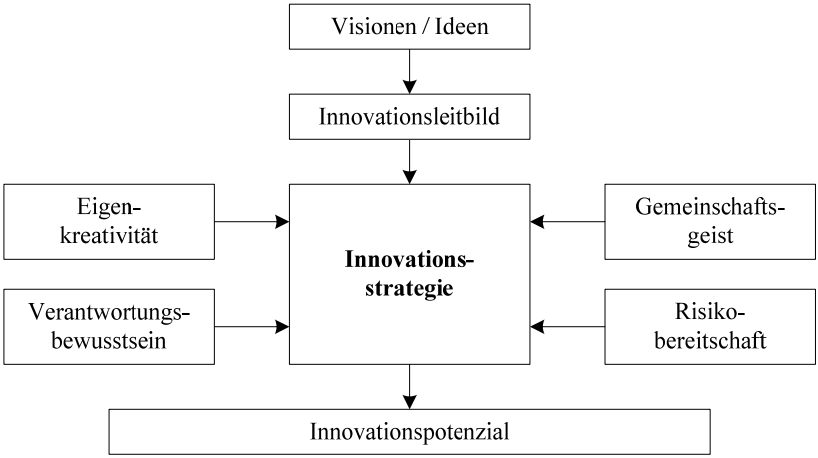
Innovation verbindet sich mit Lust zum Neuen. Je mehr das kreative Potenzial angeregt wird, desto stärker sprudeln die Ideen, die dem Werden des Neuen voraus gehen. Bevor das Neue real existiert, muss es gedacht werden. Ideen setzen bewusstes „Seinserleben“ voraus, sie basieren auf kreativem Denken, Fühlen und Wollen. Ideen sind ein Produkt des Geistes. Sie erscheinen uns als manifestierter Wille, Neues vernünftig zu gestalten.

Ideen bedürfen eines Sinns, sie müssen „Sinn geben“, sie müssen „sinnvoll“ sein. Ideen bedürfen eines Anlasses, eines Anstoßes oder eines Bedürfnisses. Ideen haben ein Motiv, das auf eine Hinwendung zum Verändern, zum Schaffen des Neuen zielt. Dient diese innovative Veränderung einer Verbesserung unseres Seins, steht zumindest nichts dagegen, so empfinden wir Ideen vernünftig, also aus erkennender Vernunft geboren. Stehen Ideen der Qualität des existierenden Seins entgegen, nennen wir sie unvernünftig.

Die technische Vernunft wirkt als Richtfeld innovativer Ideenpotenziale zur Schaffung des Neuen. Von der Einsicht zur vernünftigen Handlungsweise getragen, wird das Neue durch strategische Planung aufbereitet. So gesehen wäre die Technik des Menschen ein Produkt seiner innovativen Vernunft, die der sinnlichen Kreativität seines Geistes entspringt und sich durch das Machbare beweist. Ihre fortschreitende Entwicklung ist von Rationalität

bestimmt. Sie beruht auf wissenschaftlicher Forschung, auf Erfindungsfähigkeit im praktischen Gestalten und auf innovativem Handlungsvermögen (siehe Abbildung 14).

Abbildung 14: Strategische Aufbereitung des Innovationspotenzials



Quelle: Eigene Darstellung

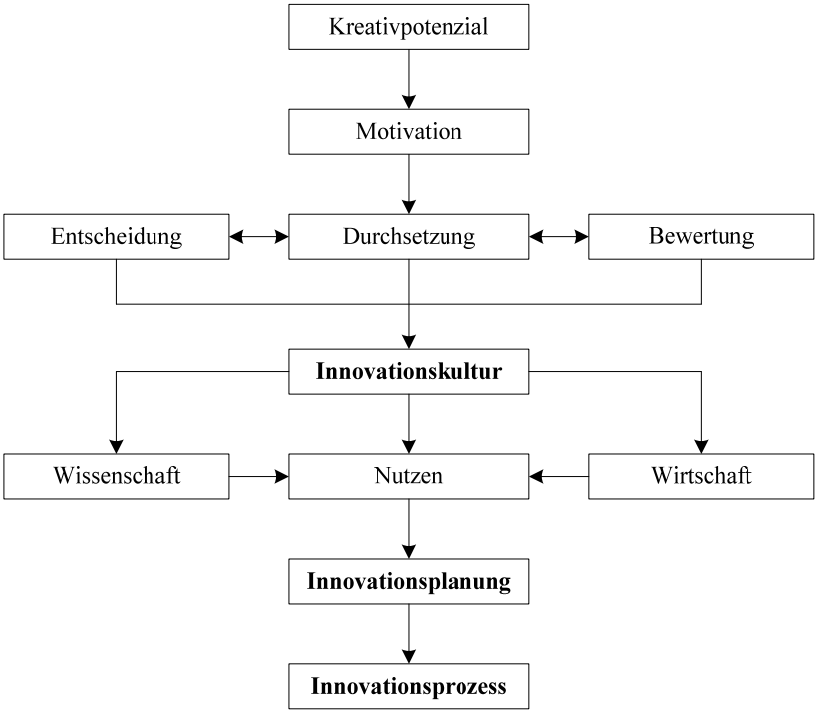
Voraussetzung und Erfolgsfaktor jeder innovativen technologischen Entwicklung ist und bleibt die Kreativität des Menschen. Alle Maßnahmen des Innovationsmanagements, aber auch die Verfügbarkeit von Zeit als Voraussetzung für die Entfaltung von Kreativität erhalten künftig eine wettbewerbsentscheidende Bedeutung. Kreativität ist eine Fähigkeit, die es immer wieder zu entwickeln gilt, insbesondere durch Aktivierung des unverzichtbaren Innovationsfaktors Motivation (siehe Abbildung 15).

Die Organisation schöpferischen Denkens muss zielgerichtet auf die Einleitung von Innovationsprozessen entwickelt werden. Obwohl individuell geprägt, wird Innovativität entscheidend durch das soziale Umfeld kreativer Wechselwirkungen beeinflusst. Aus Gruppenarbeit kann Gruppenkreativität entstehen. Die breite Nutzung aller Erfahrungs- und Informationspotenziale führt bekanntermaßen bei jeder Neu- und Weiterentwicklung zu Gruppeneffekten für die optimale Gestaltung von Innovationsprozessen.

Eine auf Innovation gerichtete Unternehmensführung muss sich immer wieder bemühen, Hemmnisse zur kreativen Entfaltung zu beseitigen. Ihr

Wirken muss darauf konzentriert sein, die gesetzten Ziele schnell zu erreichen, um sich dann sofort neuen Zielen zu widmen. Alles Gegenwärtige ist im Altern begriffen. Um das vorgegebene Innovationskapital optimal zu nutzen, muss ein zeitorientiertes Prozessmanagement betrieben werden, das frühzeitig erkennt, welche Einflüsse kontraproduktiv gegenüberstehen.

Abbildung 15: Einleitung des Innovationsprozesses



Quelle: Eigene Darstellung

Die existenzielle Bedeutung von Innovationen muss stärker in der Unternehmenskultur verankert werden. Die Entwicklung innovationsfördernder Maßnahmen beginnt mit einem zielgerichteten, von dem Gedanken der Vereinfachung geleiteten Ändern vorhandener Arbeitsformen und Hierarchietiefen. Ansätze zur Optimierung zielen nicht nur auf den Leistungserstellungsprozess, sondern bereits auf dessen Planung. Insbesondere müssen bei der

Entwicklung neuer Produkte solche Strategien zur Anwendung gelangen, die zeitlich aufeinander abgestimmte Prozessabläufe flexibel umstellen können.

Die zukünftigen Innovationsstrukturen verlangen nach mehr Wissen und Können, und zwar auf jedem Ausbildungsniveau. Dabei sind Eigenschaften wie Vernunft und Gründlichkeit ebenso gefragt wie Kreativität und Innovationsfähigkeit. In modernen Produktionssystemen werden Spezialisten und Generalisten gefordert, die sich zu einem innovationszentrierten Arbeitsverbund ergänzen. Als Konsequenz muss über gänzlich neue Formen der Arbeit, also auch über neue Formen industrieller Innovationen im volkswirtschaftlichen Sinne, vor allem auch über die zukünftige Bedeutung von Arbeit, nachgedacht werden.

Technologischer Fortschritt bedarf einer permanenten wissenschaftlichen Analyse durch eine innovationsorientierte Begleitforschung, die sich aus seiner klärenden Aufbereitung durch die einzelnen Fachdisziplinen im Sinne eines neuen Selbstverständnisses der Technikwissenschaft integrativ zu einer übergreifenden „Technischen Innovationslehre“ entwickeln könnte. Damit würde ein prozessorientiertes Wissenschaftssystem von Erkenntnissen und Methoden entstehen, das nicht nur der optimalen Gestaltung und Führung von technologischen Wirksystemen dient, sondern auch die Entfaltung des gesellschaftlichen Innovationspotenzials gezielt fördert (siehe Abbildung 16).

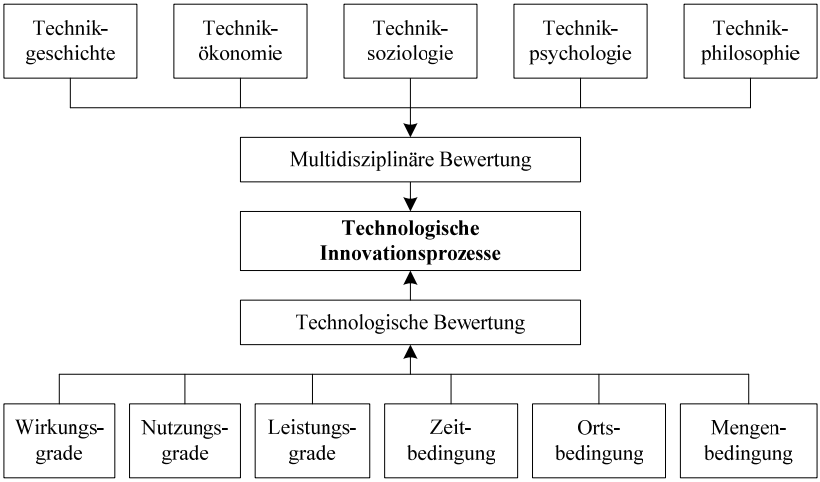
Damit stellt sich die Aufgabe, neue Technologien auf ihre Innovationsfähigkeit permanent zu prüfen. Hierzu werden Kennziffern benötigt, die alle wichtigen zukunftsorientierten Nutzungsfaktoren erfassen. Eine solche prognostische Bewertung von Technologiepotenzialen wird zwar zunächst von dem jeweilig vorherrschenden Markttrend, also vom Zeitgeist, beeinflusst, kann aber dennoch mit hilfreichen Indikatoren als Gradient des technischen Fortschritts herangezogen werden.

Von der Planungstiefe des Innovationsmanagements hängt es weitgehend ab, wie nachhaltig die Effizienz von Optimierungsprozessen gesteigert werden kann. Nach Möglichkeit sollen quantitative Vergleichskenngrößen herangezogen werden, wie Nutzungsgrade des Leistungs- und Wissenspotenzials oder Ranking-Werte im Wettbewerbsvergleich. In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass ein Bedarf an Kennziffersystemen zur Technologiebewertung auch im Sinne einer Potenzialabschätzung besteht.

Die besondere Schwierigkeit in der Bewertung von Technologiepotenzialen liegt in der Erfassung von vergleichbaren Parametern. Weiterhin unterliegen Technologiepotenziale zeitlichen Veränderungen, nicht zuletzt

durch den Fortschritt der Wissenschaft. Auch ist Stetigkeit der Entwicklung nicht immer gegeben, oft haben Phasensprünge zu unerwarteten Marktveränderungen beigetragen.

Abbildung 16: Wissenschaftliche Bewertung von Innovationen



Quelle: Eigene Darstellung

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

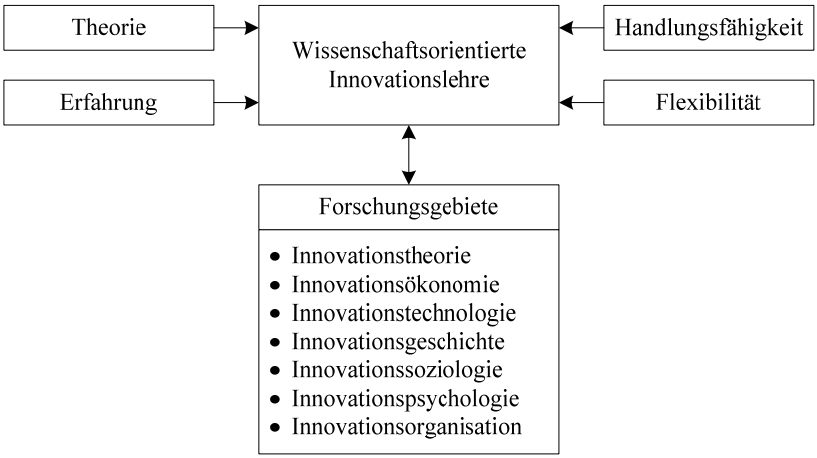
Die multidisziplinäre Innovationsforschung vollzieht sich vor dem Hintergrund eines zunehmenden Bewusstseins der Zusammenhänge zwischen technischer, wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und kultureller Veränderung.

Es zeigt sich eine große Bandbreite an Forschungsansätzen und Konzepten, die Grundlage einer Fülle historisch-empirischer Untersuchungen der Entwicklung und Verbreitung von technologischen Innovationen sind. Sie spiegeln unterschiedliche wissenschaftliche Traditionen, Fachdisziplinen und Interessenlagen wider.

Eine Innovationslehre, die zwar in ihrem Ursprung den Wirtschaftswissenschaften zugeordnet werden muss, entwickelt sich so zu einer multidisziplinären Wissenschaft.

Die stärksten Einflüsse wissenschaftlicher Untersuchungen technologischer Innovationen gehen dabei vor allem von den Theorien und empirischen Analysen der technikgeschichtlichen Forschung, der technisch-ökonomischen Innovationsforschung sowie der sozialwissenschaftlichen Technikgeneseforschung aus (siehe Abbildung 17).

Abbildung 17: Innovationsorientierte Grundlagenforschung



Quelle: Eigene Darstellung

Die Technik unserer Zeit sucht den Dialog mit Geistes- und Sozialwissenschaften. Sie geht damit über ihre Einbettung in Naturwissenschaften und Wirtschaftswissenschaften bewusst hinaus. Aus den langwelligen Entwicklungsphasen der Technik ist abzuleiten, dass nach dem technologischen Aktionismus des 19. Jh.s und dem technologischen Rationalismus des 20. Jh.s nunmehr ein auf Erhaltung unseres Wohlstands gerichteter technologischer Humanismus den Innovationsschub kennzeichnet.

Die heutige Phase ist durch eine systematische Verknüpfung von Wissenschaft und Technik bestimmt. Sie beginnt in der zweiten Hälfte des 19. Jh.s und erreicht unter dem Einfluss der derzeitigen Diskussion um Forschungs-, Technologie-, Innovations- und Wissenschaftspolitik einen Höhepunkt. Wis-

senschaften und Technologien werden nach wirtschaftsgesellschaftlichen Zielen bewertet. Die Wissenschaft ist zu einer unabdingbaren Voraussetzung für technische Innovationen und Wettbewerbsfähigkeit geworden. Noch immer ist ein deutlicher Vorsprung wissenschaftlicher Erkenntnis gegenüber dem Stand der Technik in der industriellen Realisierung zu erkennen.

Die skizzierte Entwicklung verdeutlicht, dass der Einfluss von Wissenschaft und Forschung im Rahmen technologischer Innovationsprozesse fortwährend zugenommen hat. Eine Dominanz der wissenschaftlichen Forschung bei der Entstehung von Basisinnovationen ist unverkennbar. Für die Verbindung von Forschung und industrieller Praxis erhält der Aufgabenbereich des Innovationsingenieurs eine zunehmende Bedeutung.

Zurückhaltung entsteht oft auch dadurch, dass innovative Technik nicht nur mit Hoffnung, sondern auch mit Unsicherheit und Risiko verknüpft ist. Deshalb wird das Neue eher zögerlich behandelt als gefördert. Die Diskussion um den technischen Fortschritt darf nicht unterdrückt werden. Es sollte auch nach einem neuen Selbstverständnis der Technikwissenschaften gefragt werden. Vor diesem Hintergrund sind die folgenden acht Thesen zu sehen

These 1: *Die Technikwissenschaften überwinden die gewachsenen Strukturen ihrer Fachgebiete und begründen eine Allgemeine Systemtheorie der Technik*

Die Technikwissenschaften verfolgen das Ziel, Erkenntnisse zu gewinnen und Methoden zu entwickeln, mit deren Hilfe Handlungsempfehlungen für konkrete Aufgaben gegeben werden können. Die Technikforschung umfasst das Erarbeiten allgemeiner Erkenntnisse über Strukturen, Verhalten und Eigenschaften technischer Systeme. Sie erklärt auch die grundsätzlichen Entscheidungssituationen in technologischen Innovationsprozessen. Die Technikwissenschaften sind in Disziplinen gegliedert. Sie bilden – jede für sich – ein geordnetes, folgerichtig aufgebautes und zusammenhängendes System von Erkenntnissen der Technik. Sie erforschen die Erscheinungsformen der Technik in ihren Fachgebieten und entwickeln Modelle sowie Methoden zur optimalen Gestaltung des fachtechnischen Fortschritts. Als Funktion konkreter Wechselwirkungen zwischen Theorie und Praxis erhält die Einleitung von Innovationsprozessen eine zunehmende Bedeutung. Mit wachsender Komplexität technikwissenschaftlicher Innovationsprozesse steigt sowohl die Differenzierung der Technikwissenschaften als auch der Integrationsbedarf mit anderen Wissenschaftsdisziplinen. Die Forschung der Technikwissenschaften zielt aber nicht nur auf neue Erkenntnisse, sondern

auch auf deren gezielte Umsetzung durch Technologietransfer. Eine Systemtheorie der Technik hätte aus einer Modellvorstellung ein formales Konzept auch für Innovationen zu entwickeln, das mit empirischem Gehalt zu füllen wäre. Es handelt sich um eine Aufgabenstellung, die noch nicht gelöst ist. Es gibt allerdings verschiedene Ansätze, die in eine solche Richtung weisen. Günther Ropohl ist dieser Thematik schon früh nachgegangen, indem er Ende der siebziger Jahre eine erste „Systemtheorie der Technik" vorstellte. Technik ist als reales, künstliches, dynamisches, offenes, probabilistisches und komplexes System zu deuten, dessen Grundfunktion darin besteht, Ressourcen der Natur zu transformieren und für die Gesellschaft nutzbar zu machen. Technische Systeme sind zweckbestimmt und wirken als geordnete Menge von Elementen, die wiederum durch eine Menge komplexer Beziehungen untereinander verknüpft sind. Strukturierung und Wirkverhalten technischer Systeme sind Objekt wissenschaftlicher Forschung. Die systemtheoretische Analyse sieht die Technik in ihrer ganzheitlichen Wirkung, aber gleichzeitig auch in ihren elementaren Strukturen und Funktionen.

These 2: *Die technikwissenschaftliche Forschung überwindet Erkenntnisdefizite in der Reflexion von Innovationsprozessen und entwickelt eine Innovationstheorie*

Im Forschungsgegenstand der Technikwissenschaften kommt zugleich ein Innovationspotenzial zur Anwendung, das auf schöpferisches Handeln fördernd zurückwirkt. Hierbei ist die multidisziplinäre Komplexität von Innovationen zu beachten. Die Reform der Industriegesellschaft erfolgt durch wissenschaftsgetriebenen Innovationsdruck, der von theoretischem Wissen, Praxiserfahrung, entscheidungsstarker Handlungsfähigkeit sowie von einer bewussten Einfühlung in den Zeitgeist der Gesellschaft geprägt ist. Ein solcher Fortschritt bedarf einer permanenten wissenschaftlichen Analyse durch eine theoretische Begleitforschung, die sich zu einer übergreifenden Technischen Innovationslehre entwickeln könnte. Damit würde ein Wissenschaftssystem von Erkenntnissen und Methoden entstehen, das nicht nur der optimalen Gestaltung von technologischen Systemen dient, sondern auch die Entfaltung des Innovationspotenzials gezielt fördert. Mit der zunehmend wissenschaftsbestimmten, global vernetzten Technik steht der Gesellschaft ein Innovationspotenzial zur Verfügung, das in seiner Komplexität und Mächtigkeit bisher nicht gekannte Dimensionen erreicht hat. Von der Qualität des Innovationsmanagements hängt es weitgehend ab, wie stark die Effizienz von Optimierungsprozessen gesteigert werden kann. Nach Möglichkeit

sollten quantitative Kenngrößen zum Wettbewerbsvergleich genutzt werden. Die Bewertung von Technologiepotenzialen ist allerdings besonders schwierig, weil vergleichbare Parameter nur schwer erfasst werden können. Weiterhin unterliegen Technologiepotenziale zeitlichen Veränderungen. Dabei verläuft die Entwicklung nicht immer stetig, oft haben Phasensprünge zu unerwarteten Beschleunigungen beigetragen. Komplexität und Wechselwirkung der Einflussparameter in Technologiepotenzialen erschweren auch eine Voraussage über die Chancen von Innovationen. Aus einem komplexen Innovationspotenzial lassen sich unterschiedliche Prozesse ableiten, die zu mehreren Wahrheiten führen und durchaus nebeneinander am Markt als wettbewerbsfähige Produkte bestehen können. Andererseits ist es möglich, dass Lösungswege durch Randbedingungen eingeschränkt, also Innovationspotenziale gehemmt oder kanalisiert werden. Die besondere Schwierigkeit bei der Bestimmung der Innovationsfähigkeit eines Technologiepotenzials liegt in der Einschätzung des Risikos bei der Umsetzung.

These 3: *Durch die zunehmende Verlagerung zu soziotechnischen und immateriellen Innovationen ändert sich auch die Gemeinschaftsarbeit der technikwissenschaftlichen Forschung*

Sozio-technische Innovationen verändern nicht nur die gegenständliche Realität, sondern auch das kulturelle Leben der Gesellschaft. Technik offenbart auch Kunst und Können, getrieben vom Ideenreichtum der Menschen entsteht das Neue durch Erfinden, Planen und Bauen. Im Kern des soziotechnischen Systems unserer Gesellschaft wirkt das Dreieck Wissenschaft, Technik und Wirtschaft als Pulsator des Fortschritts. Gegenwärtig führt die Entwicklung in eine neoindustrielle Gesellschaft, die durch den Fortschritt der Informationstechnik geprägt wird. Durch kontinuierliche Optimierung der Informationsnetze erwächst ein neues soziotechnisches Innovationspotenzial. Dieser Phasensprung erfordert gesellschaftliche Strukturen, die den informationstechnischen Innovationsdruck verkraften und verarbeiten können. Gesellschaftlicher Fortschritt schließt immer die Aktivierung der verfügbaren technologischen und ökonomischen Kompetenz ein. Es geht also um die Menschen, denn nur sie haben mit ihrem Wissen und Können die Kompetenz zum erfolgreichen Handeln. Erfolg ist nicht selbstläufig, er bedarf der Pflege aller Wirkfaktoren. Zu fragen ist nach den Leistungsträgern. Wer sind die Handelnden? Wer löst die Innovationsprozesse aus? Wer setzt sie durch? Wer verantwortet das Risiko des Neuen? Die Gesellschaft erwartet, dass Innovationsprozesse erfolgreich ablaufen, was eine hohe Qualifika-

tion der Leistungsträger erfordert. Der Erfolg entsteht letztlich aus der Leistungsfähigkeit aller Beteiligten, aus der Kompetenz der Gemeinschaft, geleitet von innovativer Vernunft. Gemeinschaftsarbeit erfordert Gemeinschaftssinn. Deshalb ist Kommunikationsfähigkeit genauso gefragt wie Wissen und Können. Die Freiheit zum eigenen Gestalten ist immer verbunden mit Verantwortung für das eigene Handeln. Das Berufsbild des Ingenieurs hat sich in den letzten Jahrzehnten dramatisch verändert. Dieser Wandlungsprozess wurde entscheidend durch die Informationstechnik geprägt, verbunden mit einer stärkeren Aufgeschlossenheit für wirtschaftliches Handeln. Dazu gehört auch die Übernahme von Verantwortung. Technologische Kompetenz und Führungsfähigkeit sind genauso gefragt wie innovativer Gemeinschaftssinn. Ein wichtiges Kriterium für den Erfolg von Ingenieuren ist ihre zielbewusste Handlungsfähigkeit, die Durchsetzungsfähigkeit einschließt. Es kommt nicht nur darauf an, aus Visionen Produkte zu entwickeln, sondern letztlich auf deren Realisierung. Dabei gilt es, technischen Sachverstand mit wirtschaftlichem Handeln zu verbinden.

These 4: *Das verfügbare Kreativitäts- und Bildungsniveau wird der Engpass für den Fortschritt sein*

Innovation beginnt damit, Begabungen zu finden und zu fördern. Das erfordert eine nachhaltige Strategie für die Entwicklung und Nutzung aller geistigen Ressourcen. In kritischen Wirtschaftsphasen wird schnell deutlich, wie mangelhaft die Vorsorge ist. Deshalb muss die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses höchste Priorität erhalten. Jede Art von Bildungsinnovation ist gefragt, um das Können der Menschen zu verbessern. Die Gesellschaft erwartet von den politisch Verantwortlichen, dass sie das Bildungssystem diesen Anforderungen entsprechend ausrichten. Die Gesellschaft lebt von der Arbeit der Menschen. Arbeitslosigkeit ist Verschwendung gesellschaftlicher Leistungspotenziale. Es kommt darauf an, durch geeignete Bildungsprozesse eine hohe Beschäftigung zu erreichen. Dies gilt besonders für die nachkommende Generation. Dabei geht es auch um die Frage, welche Bildung die Menschen brauchen, damit die Gesellschaft eine Zukunft hat. Technische Bildung erhält große subjektive Bedeutung für die Entwicklung der individuellen Persönlichkeit und deren Berufschancen. Sie stützt aber auch durch Erziehung und Ausbildung der nächsten Generation den Fortbestand der Industriegesellschaft. Sie nimmt eine Schlüsselfunktion für die Erhaltung des Wohlstands einer Volkswirtschaft ein. Technische Bildung ist damit eine Voraussetzung zur Sicherung der gesellschaftlichen Existenz,

ohne technische Weiterbildung ist eine hochentwickelte Volkswirtschaft zum Abstieg verurteilt. Die Bildungsgeschwindigkeit prägt die Dynamik eines gesellschaftlichen Systems. Die technische Bildung wird durch die schnelle Entwicklung der Technik unmittelbar beeinflusst, die so enorme gesellschaftliche Veränderungen auslöst, dass eine Neuorientierung unseres Bildungssystems erforderlich wird. Wissen muss weniger gelernt als verstanden werden. Die Kunst des Fragenstellens und des Verknüpfens wird gefordert. Das Bildungssystem von morgen bekommt damit eine zentrale gesellschaftliche, volkswirtschaftliche und technologische Bedeutung. Sowohl im Kampf gegen Arbeitslosigkeit als auch im weltwirtschaftlichen Wettbewerb wird technische Bildung zur Schlüsselfunktion für den Erfolg. Gleichzeitig aber verbessert sie wesentlich die Möglichkeiten zur Selbstverwirklichung des Individuums.

These 5: *Strukturveränderungen der Technik zielen zukünftig nicht nur auf höhere Präzision und mehr Komplexität, sondern zunehmend auf eine Steigerung von Zuverlässigkeit und Sicherheit*

Technische Innovationen müssen einen funktional bedingten Qualitätsanspruch erfüllen, der im Laufe der Entwicklung kontinuierlich größer geworden ist. Doch der Anspruch erstreckt sich zunehmend nicht nur auf technologische und ökonomische Kriterien, sondern gleichermaßen auf Zuverlässigkeit, Sicherheit und ökologische Folgen. Änderungen in der Innovationsqualität stellen neue Aufgaben an die Technikwissenschaften. Hierzu gehören auch Forschungsarbeiten über normativ wirkende Regelwerke. Technik befindet sich in einer permanenten Zustandsänderung. Auf Grund der hohen Komplexität und meist vorhandener Wechselwirkungen ist eine theoretisch abgeleitete Vorhersage des Qualitätsverhaltens technischer Systeme sehr schwer. Deshalb sind experimentelle und empirische Untersuchungen meist unverzichtbar. Für eine optimale Systemauslegung ist der Wahrheitswert aller Entscheidungen von hoher Bedeutung. Insbesondere kann bei schwierigen Aufgaben der Findungsprozess so aufwändig werden, dass der erreichbare Wahrheitswert eingeschränkt ist. Zusätzlich können solche Entwicklungsprozesse von technischen Systemen mehrläufig sein, führen also nicht zu einer einzigen Lösung, sondern zu einer mehrfachen Wahrheit. Hierin liegt ein Dilemma der Entwicklung technischer Systeme: Das Lösungsmodell für eine Aufgabe lässt sich meist nicht 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. Hieraus wird deutlich, dass technische Systeme nicht immer eine optimale Lösung darstellen. Technische Innovationen sind immer mit einem Risiko behaftet. Deshalb sind rechtliche Vorgaben hilfreich. Wer Technik gestaltet, muss sich die Frage stellen, ob die Fehlermöglichkeiten kalkulierbar bleiben. Die Verantwortung wird umso größer, je stärker Technik in die Welt des Menschen eingreift.

These 6: *Da Innovationsprozesse häufig mehrläufig sind und Widersprüche oder Zwänge aufweisen können, stellt sich die Frage nach einem regulativen Imperativ*

Wachstum durch Innovation erfordert auch ein Wachstum von Verantwortung. Beides braucht Freiheit zum Handeln. Wissenschaft und Technik sind zwar laut Verfassung nicht in ihrer Handlungsfreiheit eingeschränkt, wohl aber durch die Knappheit der verfügbaren Mittel. Hochtechnologie ist so teuer, dass sie nur von mächtigen Wirtschaftseinheiten oder vom Staat finanziert werden kann. Die Erneuerung des gesamten Wirtschaftssystems schließt die Bereitschaft ein, überkommene Strukturen in Frage zu stellen und eine Flexibilisierung des Denkens anzustreben. Mit dem Mut zur Veränderung beginnt der Erfolg von Innovationen. Der Erfolg einer Wirtschaft basiert auf innovativen Strategien zur Steigerung von Qualität und Produktivität. Für die Technologiepolitik erwächst daraus die Aufgabe, dynamische Leitbilder für innovationsorientierte Unternehmensstrukturen zu entwickeln. Innovationen sind in ihren langfristigen Wirkungen besonders dann nicht voraussagbar, wenn ihre Komplexität zu groß und nicht kalkulierbar ist. Wenn es schon kein sicheres Wissen über die Zukunft gibt, dann aber doch wenigstens Vermutungswissen und Wahrscheinlichkeiten. Jedenfalls müssen wir uns die Frage stellen, ob und wie Innovationsprozesse steuerbar sind, mindestens aber Kurskorrekturen einschließen. Die Gesellschaft erwartet von denjenigen, die Technik gestalten, dass sie auch die Verantwortung für die Folgen übernehmen. Jedoch: Wer sind die Gestalter? Wie sind sie formiert und in welcher Eigenschaft können sie Verantwortung übernehmen? Es sind Netzwerke der „unbekannten Ingenieure“, die als Einzelne tätig sind und dennoch dem Trend der wissenschaftlichen Entwicklung folgen, der letztlich von Wirtschaft und Staat bestimmt wird. Die Neuorientierung

industrieller Produktionssysteme vollzieht sich unter dem Einfluss eines zunehmend schnelleren Wandels des unternehmerischen Umfelds. Die betrieblichen Faktoren, wie die technologische Entwicklung, die weltweiten politischen und wirtschaftlichen Konstellationen, die Erwartungshaltung der Bevölkerung und das langfristige Verbraucherverhalten sind komplexer geworden. Eine Abschätzung der weiteren Entwicklung gestaltet sich für Entscheidungsträger zunehmend schwieriger. Es fehlt nicht an Ansätzen, um technische Entwicklungsprozesse zu steuern oder zu regulieren. Damit ist die Frage nach einem regulativen Imperativ für technisches Handeln angesprochen. Ingenieure arbeiten heute überwiegend als Spezialisten, so dass es immer schwieriger wird, Innovationen in ihrer ganzheitlichen Wirkung im Voraus zu reflektieren. Die meisten Ingenieure sind sehr stark damit beansprucht, technische Probleme mit niedrigstem Aufwand bei höchster Zuverlässigkeit schnell zu lösen. Zunehmend wichtiger wird es dabei, alle relevanten technischen Regelwerke anzuwenden, um nachweislich die Bedingungen für höchste Sicherheit zu erfüllen. Mit Sicherheit werden Entwicklungsprozesse ausgeschlossen, deren Nachteiligkeit und Gefährlichkeit erkennbar sind. Viel schwieriger ist die Bewertung von langfristig wirkenden Prozessen, deren Auswirkungen auf die Gesellschaft anfangs noch nicht vorausgesehen werden können.

These 7: *Die Technikwissenschaften wirken durch ihre Innovationsdynamik als Triebkraft zur Reform unseres Wissenschaftssystems*

Die Technikwissenschaften bestimmen mit ihrer Dynamik nicht nur die Richtung der technologischen Entwicklung, sondern auch die Geschwindigkeit des Wandels. Das Wissenschaftspotenzial erhält eine Schlüsselfunktion für die wirtschaftliche Entwicklung. Technologisches Wissen ist zu einem entscheidenden Rohstoff im globalen Wettbewerb geworden. Damit wird die Aufmerksamkeit der Gesellschaft zunehmend auf die Leistungsfähigkeit der Technikwissenschaften gelenkt, die vor allem durch das Erscheinungsbild der Technischen Universitäten in ihrer Doppelrolle von Lehre und Forschung geprägt wird. Ohne Zweifel richtet sich der Blick in erster Linie auf die Ingenieure selbst, insbesondere auf die Professoren. Wir brauchen den Dialog quer durch alle Disziplinen: zwischen den Fakultäten, zwischen den Universitäten, zwischen Theorie und Praxis, aber auch zwischen Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Die Politik muss angesichts des globalen ökonomischen Wettbewerbs alles tun, um das Innovationspotenzial in Wissenschaft und Technik schneller zu entfalten. Eine Verlagerung der Technolo-

giekompetenz auf wettbewerbsfähige Forschungszentren erscheint ebenso wichtig wie die Flexibilisierung ihrer interdisziplinären Zusammenarbeit. Im Zentrum des Interesses stehen dabei neben der Technik selbst vor allem auch die Einflüsse, die zu bestimmten Ausprägungen führen, und die zu ihrem Erfolg oder zum Scheitern beitragen. Es gibt eine große Bandbreite von Forschungsansätzen und Konzepten, die unterschiedliche wissenschaftliche Traditionen, Fachdisziplinen und Interessenlagen widerspiegeln. 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 Innovationsforschung, die zwar in ihrem Ursprung überwiegend den Wirtschaftswissenschaften zugeordnet wird, entwickelt sich so zu einer integrativen, multidisziplinären Wissenschaftsdisziplin. Ein solcher Wandel drängt zu einer Reform der Wissenschaftsstruktur, um anders als heute auf integrative Fragestellungen vorbereitet zu sein. Eine gegenseitige Durchdringung technikwissenschaftlicher und gesellschaftswissenschaftlicher Denkweisen ist noch immer blockiert. Es ist dringend geboten, die gewachsenen Formen fakultativer Wissenschaftsabgrenzung zu überwinden. Dies gilt auch für die einzelnen Disziplinen innerhalb der Technikwissenschaft selbst. Wichtiger denn je ist eine Allgemeine Wissenschaftslehre der Technik. Wirtschaft und Technik bilden als wissenschaftsorientierte Hilfswelt zur Natur das zukunftstragende Innovationspotenzial der Gesellschaft. Die Sicherung von Wohlstand und Fortschritt ist eine Herausforderung für alle eingebundenen wissenschaftsorientierten Handlungssysteme. Dies gilt in besonderem Maße für eine flexible Anpassung des Bildungssystems an die Anforderungen der Zukunft. Eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Innovationspolitik besteht darin, die Aufbereitung von Wissen zu betreiben. Die vorhandene Kompetenz muss besser genutzt werden. Es geht bei Innovationen auch darum, wie die Unsicherheit des Neuen bewältigt wird, wie es gelingt, Risikopotenziale nicht zu Risiken werden zu lassen. Innovationen von heute formen die Wissenschaft von morgen immer stärker. Deshalb ist eine Erneuerung unserer Forschungspolitik zwingend notwendig. Die Frage nach der Zukunft ist immer auch eine Frage nach der Verfügbarkeit wissenschaftlicher Innovationspotenziale.

These 8: *Fortschritt in der Hochtechnologie ist nur in einer kapitalstarken Industriegesellschaft mit staatlicher Absicherung des Innovationsrisikos möglich*

Aus der Innovationsforschung wissen wir, dass selbst bedeutende technische Basisinnovationen wie die Informationstechnik, ihre Potenziale erst in Verbindung mit neuen, von der Gesellschaft akzeptierten und vom Staat getragenen Leitbildern entfalten konnten. Für die staatliche Technologiepolitik erwächst daraus die Aufgabe, dynamische Modelle für den Aufbau von innovativen Wirtschaftsstrukturen zu entwickeln. Staatlich geförderter Innovationsdruck wird umso erfolgreicher sein, je mehr regionale Technologieschwerpunkte mit entsprechenden Forschungszentren als Wissensquellen vernetzt werden. Technologische Zukunftsforschung, so sehr sie methodisch und inhaltlich auch angreifbar ist, stellt den Forschungseinrichtungen und Unternehmen zumindest einen Orientierungsrahmen für ihre Entwicklung zur Verfügung. Die Globalisierung der Märkte macht es volkswirtschaftlich notwendig, alle regional verfügbaren Leistungsträger zu mobilisieren, also Beschäftigungs- und Wettbewerbssicherung durch Förderung innovativer Industrien zu betreiben. An Vorschlägen und Appellen mangelt es nicht. Was fehlt, ist die gezielte staatliche Begünstigung von risikoreichen Investitionen in der Hochtechnologie, ohne die unser wirtschaftliches Überleben und unser sozialer Besitzstand nicht gesichert werden können. Gegenwärtig erleben wir eine Zeit ausgeprägter forschungspolitischer Entscheidungsschwäche. Die Erneuerung unseres Wirtschaftssystems schließt die Bereitschaft ein, überkommene Strukturen in Frage zu stellen und Innovationen auch im Denken anzustreben. Das Wachstum einer Wirtschaft basiert auf innovativen Strategien zur Steigerung von Qualität und Produktivität. Die Absicherung der erreichten Wirtschaftsposition reicht nicht aus, es geht um einen nachhaltigen Wachstumsdruck durch Innovation. Bei der Umsetzung der strategischen Ziele darf nichts dem Zufall überlassen bleiben. Erfolge setzen eine systematische Erschließung aller Ressourcen zur Erreichung einer hohen Planungssicherheit voraus, beruhen aber auch auf konsequenter und schneller Umsetzung des Neuen. Gesellschaftlicher Fortschritt schließt immer die Steigerung der gesamten technologischen und ökonomischen Wirtschaftskompetenz ein. Es geht um eine innovative Technologiepolitik, denn sie erweckt durch ihre Vernunft Vertrauen zum erfolgreichen Handeln.

Literatur

Beckmann, J. (1780/1805): Beyträge zur Geschichte der Erfindungen. 5 Bde. Leipzig

Beckmann, J. (1802): Anleitung zur Technologie, oder zur Kenntniß der Handwerke, Fabriken und Manufacturen, […]. 5. Aufl. Goettingen

Lamprecht, G. F. von (1787): Lehrbuch der Technologie. Halle

Ropohl, G. (1997): Allgemeine Technologie als Grundlage für ein umfassendes Technikverständnis. In: Banse, G. (Hg.): Allgemeine Technologie zwischen Aufklärung und Metatheorie. Johann Beckmann und die Folgen. Berlin, S. 111-121

Spur, G. (1998): Technologie und Management. Zum Selbstverständnis der Technikwissenschaft. München/Wien

Spur, G. (2004): Moderne Technikwissenschaften als Motor der Innovationen. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, Nr. 7-8, S. 360-364

Spur, G. (2004): Vom Faustkeil zum digitalen Produkt. München/Wien

Spur, G. (Hg.) (2006): Wachstum durch technologische Innovationen. Stuttgart

Timm, A. (1964): Kleine Geschichte der Technologie. Stuttgart