

acatech DISKUTIERT

# > TECHNOLOGISCHES WISSEN

ENTSTEHUNG, METHODEN, STRUKTUREN

KLAUS KORNWACHS (Hrsg.)



# INHALT

> <b>Geleitwort</b>	9
Matthias Kleiner	
> <b>Technisches Wissen. Entstehung – Methoden – Strukturen. Eine Einführung</b>	11
Klaus Kornwachs/Günter Spur/Christoph Hubig	
<b>TEIL 1: PRAKTISCHES KÖNNEN UND TECHNISCHE ERFAHRUNG</b>	15
> <b>„Aus Schaden wird man klug ...? Wie Technik Wissen gewinnt“</b>	17
Heinz Duddeck	
> <b>Die Pragmatik des technischen Wissens oder: „How to do Words with things“</b>	37
Werner Rammert	
<b>TEIL 2: TECHNIKWISSENSCHAFTLICHES WISSEN. GESTALTUNG, PROBLEME UND METHODEN</b>	61
> <b>Werte, Wissen und Wissensintegration in den Technikwissenschaften</b>	63
Wolfgang König	
> <b>Wie kann man Technik darstellen? Wie werden Technikdarstellungen verstanden?</b>	81
Udo Lindemann	
> <b>Zur heuristischen Funktion der technischen Handzeichnung</b>	105
Ulrich Glotzbach	
> <b>Die Hermeneutik des Technischen Wissens und die Zukunft der Bildung</b>	121
Walther Ch. Zimmerli	
> <b>Logische Strukturen technischen Wissens – Zur Wissenschaftstheorie der Technikwissenschaften</b>	137
Klaus Kornwachs	

> TEIL 3: PERSPEKTIVEN EINER INNOVATIONSORIENTIERTEN TECHNIKWISSENSCHAFT	159
> Wissenstrends – Forschungstrends – Technikrends Hans-Jörg Bullinger	161
>Marktorientierte Technikwissenschaft Klaus Brockhoff	183
> Leistung und Grenzen der Virtualität beim Wissenserwerb Christoph Hubig	211
> Was ist gesellschaftlich relevante Wissenschaft? Nico Stehr	227
> Technisches Wissen als Handlungsanleitung – ein Paradigma für eine Wissenschaftstheorie technischen Wissens? Sandro Gaycken	241
> Danksagung	261
> Teilnehmer der Konferenz	263
> Autorenverzeichnis	265





## > GELEITWORT

MATTHIAS KLEINER

Die Idee einer Akademie der Technikwissenschaften lässt sich bis ins neunzehnte Jahrhundert zurückverfolgen. Doch verschiedene Vorschläge dazu fanden zunächst kein Gehör. Akademien schienen den Geistes- und Naturwissenschaften vorbehalten, und die Technikwissenschaften sah man lange nicht als ihnen ebenbürtig an. Ihre Entstehungsgeschichte war also immer auch begleitet vom Ringen um Anerkennung und Gleichberechtigung der technischen Wissenschaften. Das früher übliche Attribut der „angewandten“ Wissenschaften verwies bisweilen ein wenig herabsetzend auf ihre Zweckgerichtetheit und Anwendungsorientierung. Das ist inzwischen glücklicherweise anders. Denn Wissen und Erkenntnisse aus der Wissenschaft müssen der Anwendung übergeben werden – sonst bleiben sie reiner Selbstzweck. Im Wechselspiel von Grundlagenforschung und Anwendung, von Erkenntnis hin zur Innovation entstehen neue Fragestellungen, die ihrerseits wieder weitere Grundlagenforschung, aber auch Fortentwicklungen in den Anwendungen anstoßen. Das betrifft im Übrigen alle Wissenschaften – nicht nur die der Technik. Alle Disziplinen müssen für diese Zirkelbewegung offen sein.

Zum Jahresbeginn 2008 wurde der Konvent für Technikwissenschaften in die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften – kurz acatech – überführt, und es war nur folgerichtig, sogleich eine Konferenz zu veranstalten unter der Leitfrage nach der inneren Verfasstheit von dem, was wir technisches Wissen nennen. Versammelt sind hier nun in schriftlicher Form die in beeindruckender Weise vielfältigen Beiträge, die den Begriff des technischen Wissens bestimmen, hinterfragen, untermauern und reflektieren und Bedingungen und Eigenschaften von technischem Wissen klären. Experten verschiedenster wissenschaftlicher Zweige liefern Denkfiguren, praktische Anschauung, theoretische Stützen und inhaltliches wie methodisches Rüstzeug. Hier lässt sich wohl in schöner Weise von Erkenntnisaustausch und von einem Miteinander im Denken und Wissen sprechen.

Im vorliegenden Band vermutet Heinz Duddeck in seinem Beitrag, dass „[d]ie Scholastiker [...] sicherlich DFG-Mittel bewilligt“<sup>1</sup> hätten, um die Existenz von Engeln zu belegen. Der Gedanke entlockte mir ein Schmunzeln. Denn natürlich ist, wie der Philosoph Martin Seel schreibt, „die messbare Seite der Welt nicht die Welt.“<sup>2</sup> Die Technikwissenschaften können messen, kalkulieren, konstruieren und vieles mehr, aber das Messen der

---

1 Duddeck in diesem Band, S. 35.

2 Martin Seel: Theorien, Frankfurt am Main: Fischer Verlag, 2009, S. 63.

Welt kann womöglich keine wissenschaftliche Disziplin leisten. Vereint jedoch können Wissenschaften vieles erfassen und die Welt Stück für Stück und immer besser verstehen.

Dies geschieht durch ihre Verständigung untereinander und Veröffentlichungen wie diese, die Sie in der Hand halten. In diesem Sinne wünsche ich Ihnen als Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft ebenso wie als Mitglied von acatech, der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften, eine aufschlussreiche Lektüre.

## > TECHNISCHES WISSEN. ENTSTEHUNG – METHODEN – STRUKTUREN. EINE EINFÜHRUNG.

KLAUS KORNWACHS/GÜNTER SPUR/CHRISTOPH HUBIG

Die Wissenschaftstheorie und die Philosophie haben seit den 1990er Jahren begonnen, für die Technikwissenschaft zu leisten, was sie im 20. Jahrhundert für die Naturwissenschaft bereits geleistet haben – eine Klärung der inneren Struktur des technischen Wissens. Dabei hat sich gezeigt, dass die Kunst zu konstruieren, zu bauen und Prozesse und Eigenschaften für Ziele zu nutzen, inhaltlich und strukturell über das naturwissenschaftliche Wissen hinausgeht. Eine Eigenschaft wird erst dann zu einer technischen Funktion, wenn sie brauchbar hinsichtlich eines Zweckes gedeutet und interpretiert werden kann. Diese Interpretation ist nicht deduktiv bestimmbar, sondern vom Interesse desjenigen, geleitet der etwas bauen will. Damit geht eine Theorie des technischen Wissens über das hinaus, was wir von naturwissenschaftlichen Theorien her kennen.

Die Bedeutung einer Untersuchung des technischen Wissens steht sicher außer Frage. Die universitäre Forschungslandschaft tut sich jedoch nach wie vor schwer damit, gerade dann interdisziplinär zu arbeiten, wenn es um das Wechselspiel von Technik- und Geisteswissenschaften geht. Zudem braucht eine solche Untersuchung die praktische Erdung. So haben an der Entwicklung der Wissenschaftstheorie der Physik nicht nur Logiker und Philosophen, sondern eben auch Physiker und Praktiker mitgewirkt. Die Wissenschaftstheorie hat es uns bei den Naturwissenschaften vorgemacht – sie begann mit ihrer Analyse, indem sie sich als erstes die Struktur des naturwissenschaftlichen Wissens, insbesondere des Wissens in der Physik, vornahm – erst später kam die Kritik der Methode dran.

acatech hat im ersten Jahr des Bestehens als Deutsche Akademie der Technikwissenschaften deshalb am 27. und 28. Juni 2008 im Produktionstechnischen Zentrum Berlin eine Konferenz veranstaltet, die einen Beitrag zur Forschungsdiskussion leisten will. Sie war bewusst angedacht zum Zeitpunkt der Gründung der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften, um auch den Reflexionsprozess über die methodischen, wissenschaftstheoretischen und formalen Grundlagen der Technikwissenschaften sichtbar werden zu lassen. Die Fragen nach der Entstehung, Methode und Struktur technischen Wissens standen dabei im Mittelpunkt und wurden von Experten aus Theorie und Praxis der Technikwissenschaften, der Geisteswissenschaften, der Wissenschaftstheorie und des Wissensmanagements diskutiert. Ziel war es, die Konsequenzen eines neuen Verständnisses des technischen Wissens zu identifizieren sowie Hinweise und Empfehlungen für Wissenschaft und Praxis zu finden.

Durch die Gründung von acatech als Deutsche Akademie der Technikwissenschaften haben die Technikwissenschaften in Deutschland sowohl ein Forum wie eine Interessenvertretung in Form einer nationalen Akademie bekommen, wie sie in den meisten Industrienationen bereits verwirklicht worden ist.

So gab es bereits am Ende des 19. Jahrhunderts verschiedene Ansätze, die Technikwissenschaften akademisch gleichberechtigt zu behandeln. Doch die damalige Initiative des Maschinenbau-Professors Alois Riedler zur Gründung einer „Akademie der technischen Wissenschaften“ in Preußen blieb erfolglos. Der Grund dafür war nicht etwa, dass es anderswo schon eine Akademie gegeben oder man Akademien keinerlei Bedeutung beigemessen hätte – ganz im Gegenteil! Die preußische Ministerialbürokratie verhinderte dieses Vorhaben nicht zuletzt mit dem Argument, dass den Technikwissenschaften die Wissenschaftlichkeit fehle. Sie seien keine „echten“, theoretisch fundierten Wissenschaften wie die Naturwissenschaften, sondern nicht mehr als angewandte Naturwissenschaften. Dieses Urteil kann man übrigens heute noch auf den Fluren so mancher Universität oder Wissenschaftsinstitution hören!

Mit großer Selbstverständlichkeit haben wir den Begriff der „Technikwissenschaften“ eingeführt. Dabei erscheint klar, dass die Technik schon in frühester Phase der Menschwerdung durch die Herstellung von Werkzeugen eine Rolle spielt und es heute als selbstverständlich angesehen wird, dass aus naturwissenschaftlicher Grundlagenforschung neue Produkte und Verfahren entstehen. Was aber ist technisches Wissen? Gibt es so etwas überhaupt neben dem naturwissenschaftlichen Wissen? Oder ist es eine Erfindung der Ingenieure und Techniker, die ihr Tun gegenüber den Wissenschaften abgrenzen oder gar legitimieren wollen?

Technik hat es zweifelsohne schon vor der Zeit gegeben, als die Naturwissenschaften im modernen Sinn im 17. Jahrhundert entstanden. Aber hatte nicht auch schon Galileo Galilei Pumpen und Bewässerungsanlagen gebaut und Fernrohre verbessert?

Bringen die Technikwissenschaften ein eigenes Wissen in die Welt und sind sie Ausgangspunkt für das Entstehen von Physik und Chemie gewesen oder wenden sie heute lediglich das an, was Physiker und Chemiker erdacht haben?

Die Verhältnisse sind nicht so eindeutig, dass man sie ohne weiteres für eventuelle akademische Abgrenzungskonflikte instrumentalisieren könnte. Denn die Naturwissenschaften wären ohne die Technik überhaupt nicht in der Lage, ihr Wissen in Form von Gesetzen zu behaupten – im Bereich der Geoforschung, der Kernforschung, der Elementarteilchenphysik mit ihren Beschleunigern und in vielen anderen Bereichen ist dies ganz offensichtlich gar nicht mehr möglich. Auch die Gesellschafts- und Geisteswissenschaften bedienen sich der Rechner- und Kommunikationstechnik, der Datenanalyse. Umgekehrt hat die Wissenschaft längst aufgehört, etwas ausschließlich Theoretisches zu sein, das im Elfenbeinturm der „reinen“ Lehre existiert. Sie ist eine aktive, praktisch verändernde Gestaltungskraft in der Welt geworden.

Was unterscheidet dann die nichttechnischen Wissenschaften von der Technikwissenschaft, der Technik und dem Handeln der Ingenieure? Wenig bis nichts sollte man meinen, denn die Wissenschaften – vor allem in ihren anwendungsorientierten Ausprägungen – sind immer technischer, und die Technik immer wissenschaftlicher geworden. Die Vermessung und dann die Technisierung der Welt zeigt, dass Technik immer schon Voraussetzung war, Wissenschaft treiben zu können, aber auch, dass Wissenschaft die Technik transparent gemacht hat, sie vom handwerklichen zum konstruktiven Umgang mit der Welt und den Dingen transformiert hat und Technik und Wissenschaft heute nicht mehr scharf voneinander getrennt werden können. Deshalb ist es Aufgabe des Wissenschaftlers zu verstehen, was genuin technisch an seiner Wissenschaft geworden ist, und Aufgabe des Technikers, zu verstehen, wie Wissenschaft seine jeweilige Technik verändert hat und weiter verändert.

Nun haben die Bemühungen um das Selbstverständnis der Technikwissenschaften, wozu auch diese Konferenz – so hoffen wir – ein Baustein werden kann, historische Vorläufer. Im Rahmen dieser Einleitung seien nur zwei Stränge erwähnt. Es sind zum einen die Bemühungen der Berlin Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Klasse Natur-, Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften gewesen, in Gestalt eines Konvents im Januar 1999 ein Arbeitssymposium zum Thema „Technikwissenschaften und Technik: Selbstverständnis – Gesellschaft – Arbeit“ zu veranstalten. Ein zweiter Strang stellt das in einigen Arbeitsitzungen in Berlin erstellte Buch „Erkennen und Gestalten – eine Theorie der Technikwissenschaften“, herausgegeben von Gerhard Banse, Armin Grunwald, Wolfgang König und Günter Ropohl, dar. Es formuliert, wenn auch noch nicht abschließend, die Richtung, in die auch diese Konferenz geht: Wie ist das technische Wissen beschaffen und wie hängen Wissen und Gestaltung zusammen? Einige der Autoren und Herausgeber waren bei der Konferenz anwesend, so dass eine Kontinuität in der Fortsetzung beider Stränge erwartet werden durfte.

Konferenzen und Workshops sind in den Geistes- und Kulturwissenschaften das, was man in der Technik einen Test und in den Wissenschaften ein Experiment nennt: Man stellt Fragen – aber nicht an die Natur oder an den Apparat, sondern an Menschen, die Bescheid wissen, und lässt sie mit ihren Antworten und Argumenten unter möglichst idealen Bedingungen interagieren. Wenn die richtigen Fachleute zum richtigen Thema auch noch zum richtigen Zeitpunkt zusammen sind und man ihnen genügend Zeit lässt, müsste eigentlich etwas dabei herauskommen.

Schaut man auf das Programm, so bereitet diese Konferenz in gewisser Weise den Rahmen für eine gründliche Analyse des technischen Wissens und dessen Systematisierung in der Technikwissenschaft vor: Ausgangspunkt technischen Wissens ist Praktisches Können und technische Erfahrung (Teil 1). Wie drücken wir diese Erfahrung aus, wie teilen wir sie mit? Und wie setzen wir Wissen, das wir aus der Beobachtung der

Natur gewinnen, in technisches Wissen um? Dies ist ja kein rein theoretisches Wissen wie beispielsweise die Grundgleichungen der Physik, sondern ein handlungsrelevantes Wissen, das immer auch in gesellschaftlichen Zusammenhängen gesehen werden muss.

Der zweite Schritt besteht in der Frage nach Problemen und Methoden der Gestaltung des technischen Wissens (Teil 2). Viele Disziplinen müssen integriert werden, um nur schon ein Automobil verstehen zu können – der Konstrukteur ist nicht mehr der Konstrukteur von vor 100 Jahren. Er weiß mehr und er geht anders vor.

Was aus technischem Wissen gemacht wird, ist nochmals eine andere Frage: Technik und Innovation als Geschehen bedingen sich, sind aber Einflüssen und Randbedingungen ausgesetzt wie ökonomischen Interessen oder den Grenzen der menschlichen Leistungs- und Lernfähigkeit. Wie sehen die Perspektiven einer innovationsorientierten Technikwissenschaft aus? (Teil 3) Können wir aus dem technischen Wissen, das wir haben, schon schließen, dass sich daraus eine gute Technik gestalten lässt?

All diese Fragen können nur erste Schritte sein – wir sind hier, auch als Akademie, erst am Anfang. Das Ziel sollte sein, technisches Wissen als genuine Wissensart zu identifizieren, also nicht nur als degenerierte, bloß angewandte Naturwissenschaft zu verstehen. Außerdem sollten in ersten Überlegungen auch die Konsequenzen eines neuen und umfassenderen Verständnisses des technischen Wissens und der wissenschaftlichen Technik bedacht werden, gerade was die methodische Prüfung des technischen Wissens, seine Formalisierbarkeit für Datenbanken und seine Lehr- und Lernbarkeit betrifft.

Auch beim Experiment wie beim Test gibt es „Nachmessungen“, Ergänzungen, neue Aspekte. Nicht alle eingeladenen Referentinnen und Referenten konnten anwesend sein. Der Konferenzband gibt die Möglichkeit, den Kreis der Diskussion zu erweitern. Da allen Autoren die Präsentationen der anderen Autoren zugänglich gemacht wurden, ergab sich erneut die Möglichkeit, gegenseitig Bezug zu nehmen. Die so gewonnene Intensivierung der Diskussion macht die daraus resultierende Verschiebung des Erscheinens des Bandes hoffentlich wieder wett.

# **TEIL 1: PRAKTISCHES KÖNNEN UND TECHNISCHE ERFAHRUNG**



# > „AUS SCHADEN WIRD MAN KLUG ...? WIE TECHNIK WISSEN GEWINNT“<sup>1\*</sup>

HEINZ DUDDECK

## 1 BAUWERKSEINSTÜRZE – URSACHEN UND WAS MAN DARAUS LERNT<sup>1</sup>

### DIE QUEBEC-BRÜCKE 1907

Die Balkenbrücke über den Firth of Tay hatte der Sturm in der Weihnachtsnacht 1879 mit 90 Menschen in die Tiefe gerissen. Für die Firth of Forth Brücke, von 1882 – 1890 gebaut, entwickelten Ingenieure die „sichere“ Kragarm-Konstruktion. Die Firth of Forth Brücke mit 521m mittlerer Spannweite steht heute noch wie ein hässlicher Dinosaurier – aber stabil. Nun soll 1907 die Quebec-Brücke nach gleichem Prinzip die Weltrekord-Weite von 550m für die mittlere Öffnung überspannen. In Bild 1 montieren am 23. August 1907 Brückenbauer Stück für Stück die Brücke über den St. Lawrence River bei Quebec im Freivorbau. Die Quebec Bridge Company hat seit sieben Jahren Theodor Cooper mit Beratung und Überwachung beauftragt, „a proud, confident consultant, fiercely devoted to his calling“.<sup>2</sup> Der entscheidet, weil die Bridge Company sparen will, dass der bisherige Entwurf noch geändert werden könne:

1. Die Mittelspannweite kann um 60 m auf 550 m vergrößert werden.
2. Die zulässigen Spannungen dürfen höher gewählt werden als bisher.

So wird ohne Nachberechnung des nun höheren Eigengewichts nach „Erfahrung“ und Plänen des ersten Entwurfs gebaut.

Schon zwei Monate vor dem Foto in Bild 1 warnen sich ausbiegende Druckstreben und die jüngeren Ingenieure. Doch Theodor Cooper, der 68 Jahre alt ist, der die Baustelle seit vier Jahren nicht gesehen hat, sondern nur seine Erfahrungsautorität von New York aus einsetzt, beschwichtigt. Fünf Tage nach diesem Foto wird es dramatisch, weil die Ausbeulungen größer werden. McLure, der junge Ingenieur, fährt nach New York zum Rapport. Ein Telegramm mit der Baustopp-Anordnung geht zur Stahlbaufirma, er-

---

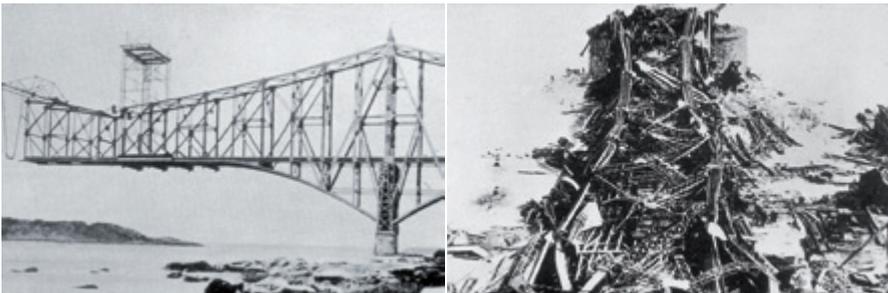
\* Nach einem Vortrag im Rahmen der Reihe „Homo faber – Das Machen als Motor des Wissens?“, TU Braunschweig, Nov. 2000. Überarbeitete und für diesen Band aktualisierte Version eines gleichnamigen Aufsatzes in den Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. Cramer, Braunschweig 2001, Band I, S. 135-159.

<sup>1</sup> Vgl. Scheer 2000.

<sup>2</sup> Vgl. Tarkow 1986; vgl. auch Walzel 1909.

reicht jedoch erst am Morgen danach die Baustelle. Doch die sieht an diesem Morgen so aus wie im Bild 2. Siebzig Tote, Prozesse, Schuldzuweisungen, Karriereknicks. Die neue Brücke wird erst 10 Jahre später 1917 eingeweiht und braucht 2,5-fach mehr Stahl. Ein Bericht hierüber<sup>3</sup> endet mit „Any great bridge builder is by nature a figure of hubris“.

Bild 1: Quebec-Brücke, Freivorbau 1907.



Quelle: Walzel, A. 1909, S. 29 (links) und Tarkow, J. 1986, S. 13 (rechts).

Was man daraus lernt:

1. Die Denk- und Handlungsentscheidungen von Ingenieuren werden durch einen harten Realtest geprüft. Falsch gedacht – Brücke stürzt ein. Irren sich dagegen Denker, die keinen Realisierungstest zu bestehen haben, bekommen sie eher nur das Schild „Eigenwilliger Denker“ umgehängt.
2. Extrapolationen aus dem bisherigen Erfahrungsbereich hinaus in erweiterte Dimensionen oder Anwendungen werden mit neuen Gefährdungsszenarien bestraft. Die Theorie ausbiegender Druckglieder war 1907 noch wenig entwickelt. Was knicken kann, darf nur mit geringeren Spannungen beansprucht werden als das, was unter Zug steht.
3. Insbesondere dann, wenn Ingenieure Unikate bauen, müssen sie zukünftiges Verhalten mit Kopf und Intuition, Berechnung und Ingenieurinstinkt erfassen, müssen sie mit hoffentlich hinreichend gesicherten Theorien Prognosen wagen, für das, was noch nicht existiert. Maschinenbauer haben es da leichter als Bauingenieure. Was in Serien gefertigt werden soll – wie z. B. Autos, Waschmaschinen, selbst Flugzeuge – wird erst einmal mit Prototypen aufs Gründlichste getestet.
4. Technik unterwirft sich nicht Autoritäten, wie es z. B. die Philosophie Jahrhunderte lang gegenüber Aristoteles tat. Die Sorgen schlafloser Nächte des

<sup>3</sup> Ebd.

jungen Ingenieure waren der Realität näher als die Beschwichtigungen einer Koryphäe. Junge Ingenieure wissen ein Lied davon zu singen, wie oft sich hinter der „größeren Erfahrung“ unzulängliches Wissen versteckt. Eitelkeit, ein Zuviel an Erfolgen oder auch nicht mehr offene Denkstrukturen führen dazu, was Amerikaner so treffend mit „he thinks, he is big“ kommentieren. Außerdem: Erfahrung deckt doch nur bisheriges, nie neues Wissen ab.

Für die Titelfrage, ob man aus Schaden klug werde, ist der Einsturz der Quebec-Brücke nur bedingt ein zutreffendes Beispiel. Ingenieure haben hieraus kaum neues Entwurfswissen gewonnen. Es ließ sich nachher leicht nachweisen, dass die in der Berechnung angesetzten Stahl-Eigengewichte zu klein waren, dass die Beanspruchungen über den Beulgrenzen lagen und, dass Fertigungsungenauigkeiten zum Einsturz beitrugen. Wissensgewinn gab es aber beim Handlungswissen. Man darf Kostenargumenten nicht den Vorrang vor technischen Erfordernissen geben. Expertentum und Alter schützen nicht vor Fehlentscheidungen. Man muss auch Bedenken Jüngerer hören. Insofern war man nachher klüger als zuvor, doch der Preis hierfür war hoch.

#### **DIE TACOMA-NARROWS-BRIDGE 1940**

Der Einsturz der Tacoma-Hängebrücke 1940 (Bild 3) ist ein klassischer Fall, bei dem neue Phänomene wegen Überschreitens von Erfahrungsbereichen auftreten. Die Fahrbahnen der Hängebrücken wurden nach den Erfolgen der George Washington Bridge in New York und der Golden Gate Bridge in San Francisco immer dünner, Bauingenieure sagen: schlanker. Bis der Wind – und nicht einmal der stärkste Berechnungswind die Torsionsschwingungen der Tacoma-Bridge so anfachte und aufschaukelte, dass sie brach. Zum „großen Glück“ für die Ingenieure: Ein Professor für Dynamik filmte diesen Einsturz. Er verlor freilich sein Auto, das er vertrauensvoll auf der Brücke stehen ließ.

Bild 3: Tacoma-Bridge 1940



Quelle: University of Washington Libraries, Special Collections, UW21422.

Bei diesem Beispiel waren Ingenieure nach dem Unglück in ihrem Entwurfswissen klüger. Nach Entwicklung der Theorie der Flattertorsionsschwingungen von Hängebrücken wurden alle Brückenfahrbahnen neu berechnet, viele verstärkt. Heute wird jede Hängebrücke in der Welt erst nach Windkanalversuchen und Schwingungsanalysen gebaut. Zitat eines US-Ingenieurs: Erfolgreiche Konstruktionen können schlechte Beispiele für zukünftige Bauten sein, wenn man deren Erfolg einem unzutreffenden Prinzip zuschreibt. Der Homo faber, der hier Brückenbauer ist, lernt nicht durch Tun, sondern durch Erfahrungen überschreitendes fehlerhaftes Tun. Oder: Er ist ein großartiger, erfahrener Ingenieur, ihm können wir vertrauen, – denn er hat schon viele Fehler gemacht ...? Ganz wie im Psychologischen: Schrecklich, einem fehlerfreien Menschen zu begegnen, der sich außerdem für einen solchen hält.

## DIE BERLINER KONGRESS-HALLE 1980

Die Kongress-Halle, die die Berliner die „schwängere Auster“ nennen, ist ein Geschenk der USA an die Freiheitsinsel Westberlin. Sie wurde 1956-57 nach Plänen eines US-Architekten und dem Vorbild der Raleigh-Arena in Texas entworfen. Weil einseitige Belastungen jedoch beim ursprünglichen Konzept nicht aufnehmbar sind, wird die Tragkonstruktion durch die deutschen Ausführungsfirmen verändert. Vereinfachend gesagt: Das Hängedach spannt sich nicht wie bei einem Tennisschläger zwischen die zwei schrägen Bögen, sondern die Bögen hängen an einem inneren Aussteifungsring. Sie sind eigentlich nur architektonisches Beiwerk, nicht Tragteile. Die Statik ist ziemlich komplex. Einfachere Tragwerkslösungen sind unter Zeitdruck nicht mehr möglich, denn die Fundamente sind schon fertig.

Nach 23 Jahren stürzt der Südbogen im Mai 1980 ein (Bild 4) und erschlägt m. W. zwei Personen. Die Spanndrähte in der 7cm dicken Dachhaut, an der der Bogen hing, waren gebrochen. Die starken Relativverformungen (z. B. aus Wind und Temperatur) hatten an den Anschlussstellen Risse erzeugt und die Spannkabel anrosten und durch Wechselbiegungen schließlich brechen lassen.<sup>4</sup> Im Laufe der Jahre rissen nacheinander so viele Kabel, bis sich der Bogen wie ein Reißverschluss vom Dach trennte und abstürzte. Ein typischer Mehrfach-Kausal-Schaden. Die Halle bekam ein völlig neues Dach, nun jedoch aus Stahl – und der Beton-Verein, der darin früher so stolz tagte, hat sich – nicht nur aus Scham – eine andere Kongress-Halle ausgesucht.

Bild 4: Abgestürzter Bogen 1980.



Quelle: Landesarchiv Berlin/Ehlers, Ludwig F Rep.290.

<sup>4</sup> Vgl. Schlaich/Kordina/Engell 1980.

Was man daraus lernt: Hier haben Ingenieure neue Kenntnisse aus 23jährigem Bauwerksverhalten gewinnen können.

1. Es gibt Zusatzeinflüsse, die erst langfristig zum Schaden führen. Man vermeidet sie nicht durch genaueres Berechnen, sondern durch besseres Konstruieren.
2. Oft sind mehrere Einflüsse kumulierend schadensfördernd. Hier waren es u. a. die unter das Dach getriebene Springbrunnen-Feuchtigkeit und die unterschiedlichen Verformungen aus Temperaturen.
3. Termindruck – hier aus allzu kurzen Bauzeitvorgaben – ist qualitätsfeindlich.
4. Man kann alle Regeln und Normen einhalten und dennoch schadensträchtig konstruieren.
5. Ingenieure müssen der Langzeitbeständigkeit gleiches Gewicht geben wie der Tragfähigkeit.

Der Gewinn an Wissen liegt hier nicht im Grundsätzlich-Theoretischen, sondern im Konstruieren, im Besser-Machen, im Vermeiden von Langzeitgefährdungen.

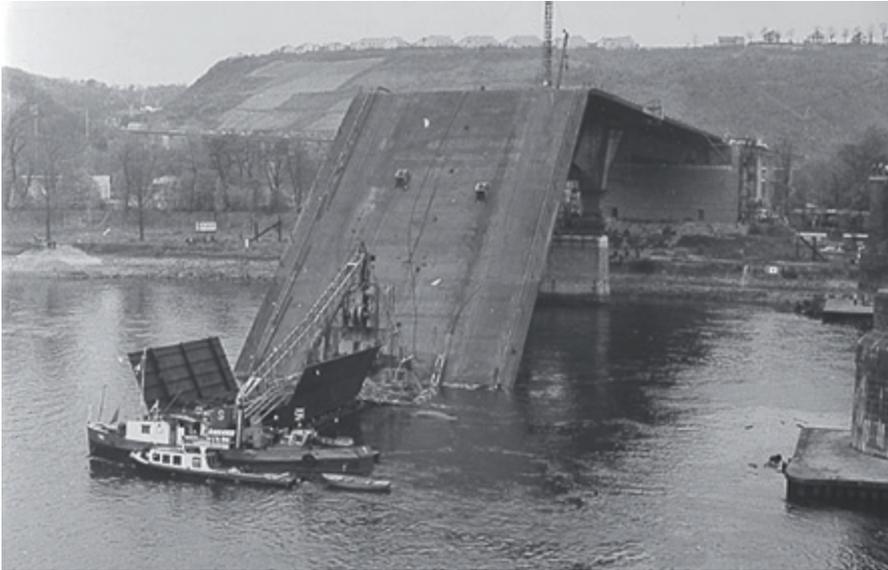
#### **DIE RHEINBRÜCKE BEI KOBLENZ 1971**

1971 wird die Stahlbrücke über den Rhein bei Koblenz im Freivorbau hergestellt. Der große Kastenträger hat eine untere Breite von 11 m. Der Derrick auf der Vorbauspitze hebt vorgefertigte Segmente von Transportschuten nach oben. Die zu hebenden Teilstücke sind bis zu 17 m lang und recht schwer. Im November 1971 ist der Kragarm bereits 104 m vorgebaut. Als das letzte Segment gehoben wird, knickt der Kragarm ein (Bild 5). Die Spitze schlägt auf den Rheingrund auf. 13 Bauarbeiter werden getötet. Ein Amateur, der den Brückenschluß dokumentieren will, fotografiert den Einsturz. Die untere Druckplatte des Kastenträgers versagt an der höchstbeanspruchten Stelle. Sie ist durch innere Längsträger stark ausgesteift und nach den Regeln der Technik über das Beulen von ausgesteiften Platten berechnet worden. Die Ursache<sup>5</sup>: Die Stoßstellen der Aussteifungsprofile der unteren Stahlplatte hatten zur Vermeidung von sich kreuzenden Schweißnähten 46 cm lange Aussparungen. Die verbleibenden Flansche knickten an dieser Stelle aus. Hinzu kam: Die Sicherheitsbeiwerte der Berechnungen gingen vom günstigeren Plattenverhalten aus, was bei balkenartig ausgesteiften Plattenfeldern nicht gilt. Sie waren außerdem für Montagezustände geringer als für Verkehrslastfälle.

---

<sup>5</sup> Siehe auch Scheer 2000.

Bild 5: Eingestürzte Koblenzbrücke 1971.



Quelle: Stadtarchiv Koblenz.

Der Einsturz dieser stählernen Kastenbrücke war einer von mehreren dieser Brückenart.<sup>6</sup> 1970 versagten die Westgate-Brücke bei Melbourne, die Milford-Hafenbrücke in England und 1969 die Wiener Donaubrücke durch Beulen ausgesteifter Blechfelder. Diese Fälle initiierten internationale experimentelle und theoretische Forschungen. Der Schadensfall bringt viele Forschungsgelder. Brücken dieser Art sind seitdem sicherer. Worin man im Nachhinein klüger war:

1. Es kommt auf das konstruktive Detail an. Die komplizierteste numerische Berechnung kann falsch sein, wenn das Berechnungsmodell kritische Konstruktionsdetails (die Ausklinkungen an Schweißnähten) nicht erfasst.
2. Was mit zu stark vereinfachten Modellen bei Berechnung und Experiment gefunden wird, kann nicht immer auf komplexere Realsysteme übertragen werden. Die realen Sicherheiten können kleiner sein.
3. Montagelasten sind tatsächliche Lasten. Sie enthalten keine stillen Reserven wie z. B. bei Nutz- und Windlasten, für die Ingenieure obere Streuwerte ansetzen.

<sup>6</sup> Vgl. Scheer 1998.

Dieser Fall ist eher ein Beispiel für das Thema, dass erst aus Machen neues Wissen folgt, freilich mit dem hohen Preis des Schadensfalls. Die Darstellung von Bauten, die versagten, kann beliebig lang fortgesetzt werden. Sie haben viel zu den Fortschritten in der Bautechnik beigetragen. Dies kann in den Büchern von Joachim Scheer über „Versagen von Bauwerken“ nachgelesen werden, vom Versagen der Snofru-Pyramide in Medum vor 4500 Jahren bis zu Bauten unserer Zeit.<sup>7</sup>

## 2 NUR AUS SCHADEN WIRD MAN KLUG... ?

Die konkreten Beispiele aus meinem Fach zeigen, was Schadensfälle lehren, in welcher Hinsicht man klüger wird, wie komplex jeweils die Ursachen sind und in jedem Einzelfall anders. Da ist der Zugewinn an Wissen selten von so grundsätzlicher Art wie Archimedes' „heureka“ in der Badewanne. Technische Schadensfälle weisen eher auf Grenzüberschreitungen bisher abgesicherten Tuns hin, auf unvollständige Prognose-Modelle, auf fehlerhaftes Denken, auf Machen mit unzureichendem Wissen. Sie tragen zur Verbesserung bisheriger Techniken bei. Klug wird man hier nur im Sinne von: Was haben wir falsch gemacht? Aber ist dies schon neues Wissen der Wissenschaften? Vielleicht ist es dies am ehesten noch bei der Tacoma-Bridge und begrenzt bei der Koblenz Brücke der Fall wegen der neu erfahrenen Phänomene, die neue Erkenntnisse brachten, die zur Revision und Erweiterung der Entwurfs- und Berechnungsregeln zwangen.

Nun sollte hier nicht nur von Schadensfällen die Rede sein, sondern auch davon, ob Machen Motor des Wissens sei. Es muss ja auch Wissenszugewinn ohne Schadensfall geben. Doch der Titel impliziert eher, dass in der Technik nicht so sehr das Machen, sondern das Falsch-Machen Wissen fördert. Dies unterscheidet übrigens Ingenieure z. B. von Wortwissenschaftlern. Jene erfahren harte Realtests. Diese aber? Macht etwa das Schreiben von Falschem klüger? Wenn es nur den Weg des Falsch-Machens zu besserem Verstehen, zu richtigerem Wissen gäbe, dann wäre es schlimm. Denn es gibt große Bereiche der Technik, in denen wir auf keinen Fall erst aus Schaden klug werden dürfen. Dies sind technische Systeme, deren Sicherheit wir auch gegen hypothetische Gefährdungen, die hoffentlich nie eintreten, nachzuweisen haben.

Wenn Geo-Ingenieure unterirdische Deponien für toxische Abfälle planen – auch radioaktive gehören dazu – müssen sie nachweisen, dass der Gebirgseinschluss auch in 1.000 oder 10.000 Jahren die Biosphäre gegen Kontaminierung zuverlässig schützt. Für solche Nachweise brauchen wir Wissen, das Risiken analysiert, für die keine Erfahrungen vorliegen, die wir aber auch auf keinen Fall machen wollen. Und solche Nachweise müssen außerdem die technischen Laien, die Gesellschaft, überzeugen. Die Geotechniker stützen sich auf im Labor untersuchte Proben, auf in-situ-Beobachtungen und Messungen, auf Erfahrungen des Jahrhunderte alten Bergbaus und auf Berechnungen, die Prognosen für zukünftige Zustände erstellen. Will man Aussagen über die Zukunft machen, bleibt nur der berechnungstheoretische Weg über Strukturmodelle, die Zustände in beliebigen Zu-

<sup>7</sup> Vgl. Scheer 2000 und Scheer 1998, S. 133-166.

kunfts Jahren zu erfassen versuchen. Hier können Ingenieure nicht durch Machen Wissen gewinnen. Da müssen Theorie und rechnerisches Modell erfunden werden.

Insbesondere bei Großprojekten sind Nachweise für Versagensszenarien nicht erfahrbaren Charakters erforderlich. Technik, die das Funktionieren eines Systems, die Optimierung von Ressourcen und die Minimierung von Umweltschädigungen sichert, kann man erproben und weiterentwickeln, also erfahren. Wenn jedoch Anlagen großen Gefahrenpotentials, wie Staudämme gegen Erdbeben, Kraftwerke gegen Gaswolkenexplosionen oder ein Flugzeugaufprall bemessen werden sollen, muss weitgehend erfahrungslos gearbeitet werden. Das ergibt viele Möglichkeiten zum Irrtum. Gesucht ist nämlich die Grenzsituation des Versagenzustandes. Dies ist viel schwieriger als der Gebrauchs-Betriebszustand. Der Weg vom Machen zum Wissen ist weit.

Ein Nordseesperwerk muss für die Jahrhundert-, wenn nicht für eine Jahrtausend-Sturmflut bemessen werden. Allein das Ausdenken der dabei auftretenden Wellenkräfte ist mehr eine intellektuelle Leistung als Erfahrungswissen. Und hoffentlich – denken die Ingenieure – wird ihr Werk nie einem solchen Realtest unterworfen. Die gleichen Probleme haben Maschinenbauer und E-Techniker, wenn sie Katastrophen-Szenarien analysieren.

Eine ganz andere Art des Handelns und Entscheidens ohne erfahrendes Wissen fordert der tiefe Tunnelbau: Beim 51 km langen St. Gotthard-Basis-Tunnel drücken bis zu 2300m Fels und Wasser auf den Tunnel. Aus Vorerkundigungen kann das tatsächliche Gebirgsverhalten nur begrenzt erfasst werden. Dennoch entscheiden Schweizer Ingenieure bei der Planung dieses viele Milliarden Schweizer Franken teuren Projekts, dass zwei Röhren für die Eisenbahn bis etwa 2012 aufzufahren sind. Erst der Vortrieb – also das Machen – erschließt, welche unterschiedlichen Felsformationen mit welchen Eigenschaften man antreffen wird. Nachher wird man es wissen.

Selbstverständlich haben auch die Technikwissenschaften – wie die Physik – Instrumentarien der Wissensmehrung entwickelt:

- Computersimulationen erfragen das Verhalten technischer Konstrukte und Systeme.
- Der Windkanal untersucht Windbeanspruchungen von Türmen, Brücken, Flugzeugen, die aerodynamisch optimale Form eines Pkw's.
- Erst mit der Entwicklung entsprechender Messgeräte wissen wir, wie Nitrate aus Felddüngung durch den Boden sickern.
- Seismische Großaktionen, Sprengungserregungen von Sizilien bis zum Nordkap, erbringen das Wissen, mit welchen Erdschollen sich Europa wohin bewegt.

Doch dies alles sind eher Problemlösungen, für die man hochentwickelte Apparate und Methoden der Technik braucht.

### 3 WIE SICH DIE BAUTECHNIK ZUR WISSENSCHAFT ENTWICKELTE

Lassen Sie mich einen kleinen historischen Diskurs machen, wie Technik zu Wissen kam. Technik ist das griechische *téchne*, die Kunst, das Können, die Geschicklichkeit. Bei Platon und Aristoteles: die menschliche praktische Fähigkeit, etwas hervorzubringen. Und ausdrücklich gegen die *theoria* und gegen das von Natur aus Gewordene abgesetzt. Bei Vitruvius Pollio (ca. 30. v. Chr.) ist Bauen gleich Baukunst. Bis in die Renaissance hinein waren alle Techniken Künste: Die Kunst des Wasserbaus, des Ackerbaus, des Schmiedens, die Kunst des Brückenbaus, die Bergbaukünste. Ich will an meinem Fach aufzeigen, wie handwerkliche Kunst, das tradierte Können, mit dem Erfragen, warum dies alles eigentlich so gut funktioniert, schließlich zur Technikwissenschaft wird.

Der Mensch hat schon seit den frühen Hochkulturen vor 5000 Jahren Paläste, Tempel und Türme gebaut – und nicht nur in Babylon. Der Leuchtturm auf der Insel Pharos vor Alexandria, der in der Antike zu den sieben Weltwundern zählte, ist von den beiden Ptolemäus dem I. und dem II. 305 bis 280 vor Christi gebaut worden.<sup>8</sup> Der Hauptturm war 72m, die Spitze ca. 120m hoch. Dieses Meisterwerk des Bauens überstand 1600 Jahre bis ein Erdbeben es 1326 zerstörte. Dieser 120m hohe Turm ist sicherlich nicht allein mit Intuition und fortgeschriebener Erfahrung gebaut worden. Da hat es sicherlich auch Berechnungen gegeben, also theoretisches Wissen, was ein Bauwerk gegen Sturm und Erdbeben standfest macht.

Die gotischen Kathedralen des 13. Jahrhunderts in der Picardie und in der Normandie sind ganz besonders eindrucksvolle Beispiele für technische Leistungen, die sich aus handwerklichem Können entwickeln (Bild 6). Baumeister oder Werkmeister waren die Berufsbezeichnungen für die Dombauer, nicht „Ingenieur“ oder gar „Statiker“. Die Werkmeister erlernten die Bauhüttenkunst. Villard de Honnecourt aus der Picardie schrieb ca. 1230 sein Hüttenbuch, in dem niedergelegt ist, was ein Bauhüttenmeister von der Gewölbekunst, dem Kraftfluss in den Pfeilern bis zum Zimmern der Lehrgerüste und der Kunst der Steinmetzen alles wissen musste.<sup>9</sup> Wie ein Gewölbe trägt, wie Stützpfeiler den Horizontalschub auffangen und in die Fundamente leiten, das wusste man sehr wohl. Freilich, es gab auch manche Einstürze, dramatisch und oft in Bauzuständen. Gar mancher Baumeister musste nachts und heimlich und ohne Honorar durchs hinterste Stadttor das Weite suchen, obwohl er ja nun durch Schaden so viel klüger war.

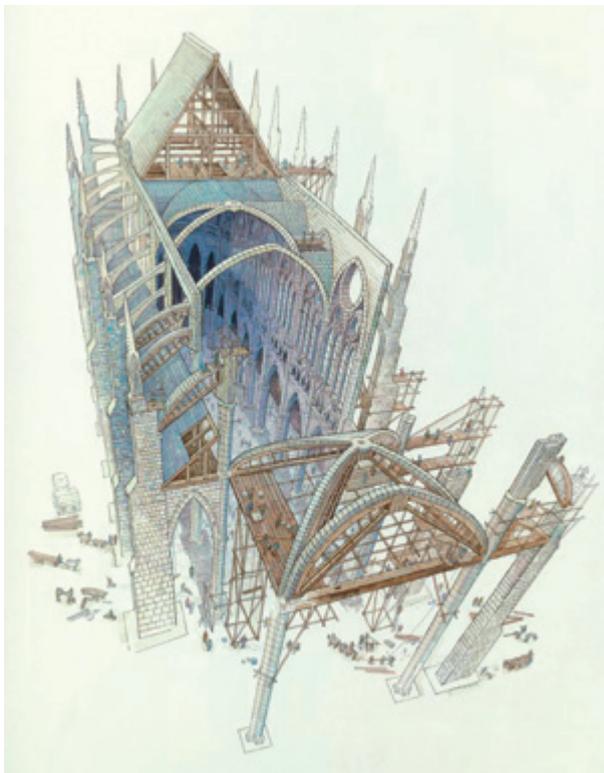
Bauingenieure setzen den Beginn der wissenschaftlich begründeten Baukunst als Technikwissenschaft, die das Verhalten von Bauwerken mit Berechnungsmodellen untersucht, auf das Jahr 1742. Da legen drei Mathematiker-Mönche dem Papst Benedikt XIV ihr Gutachten über Ursache und Behebung der Schäden an der Peterskirche in Rom vor. Michelangelo, Entwurfsverfasser und ab 1546 auch Bauleiter, also 200 Jahre früher, hatte die Kuppel zu steil entworfen. Die Zugrisse im Stützring des Gewölbes erforderten stählerne Ringanker. Das Gutachten wandte Festigkeitsgrenzen und Prinzipien der Me-

<sup>8</sup> Vgl. Heinle/Leonhardt 1988.

<sup>9</sup> Vgl. Conrad 1990.

chanik an. 1742, das ist mehr als 100 Jahre nach Galilei und Descartes, den Begründern mathematischer Methoden in den Wissenschaften. Die Kritik der „Praktiker“ an diesem Gutachten ist bezeichnend: „Wenn die Peterskuppel ohne Mathematik und vor allem ohne die in unseren Tagen so gepflegte Mechanik erdacht, entworfen und erbaut werden konnte, so wird sie auch ohne Mathematiker restauriert werden können ... Michelangelo konnte keine Mathematik und war trotzdem imstande, die Kuppel zu bauen“.<sup>10</sup>

Bild 6: Gotische Kathedrale im Bau, 13. Jhd.



Quelle: National Geographic.

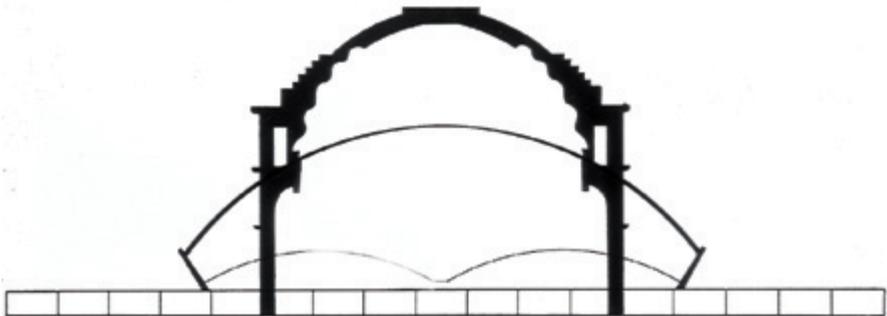
Was all dies für unser Thema sagt? Diejenigen Techniken, deren Traditionen bis zur téchne des Aristoteles reichen, haben ohne wissenschaftliches Wissen gebaut, bewässert, Maschinen gebastelt. Auch die hochkomplizierten Welt- und Planetenuhren wie die am Alstädter Rathaus in Prag von 1410 sind ohne Differentialgleichungen ausgetüfelt

<sup>10</sup> Vgl. Straub 1992.

worden. Die Meister dieser Künste hatten ein anderes Wissen, vielleicht sogar ein tieferes Wissen als wir heute, das sie zu großartigen Werken befähigte. Dass ein Balken über einem Raum, einen Wasserlauf trägt, weiß der Mensch schon seit 100.000den von Jahren. Dies kann er leicht in Intuition und Erfahrungen umsetzen. Doch was da im Inneren des Balkens eigentlich vorgeht, wie man dazu ein wissenschaftliches Modell erfindet, das für alle Balken gilt, das fällt dem Menschen offenbar äußerst schwer. Selbst solche intelligenten Köpfe wie Galilei machten falsche Ansätze für die inneren Spannungen in einem auf Biegung beanspruchten Balken. Es vergingen 100 Jahre, bis Euler so etwas Elementares wie ein Elastitätsmodul eindeutig definierte. In die Diskussion, was eine „lebende Kraft“ sei, heute „kinetische Energie“  $\frac{1}{2} mv^2$ , griffen Descartes, Leibniz und sogar Kant und Goethe ein. Das Umsetzen von sichtbarem Naturverhalten in wissenschaftliche Denkmodelle braucht einige Generationen der klügsten Köpfe. Die Baustatik erhält eigentlich erst durch Müller-Breslau vor 130 Jahren ihr gesichertes theoretisches Fundament.

Das wissenschaftliche Wissen zielt auf mathematisierbare Modelle, die für alles, was gebaut wird, gelten, auf ein Wissen wie Tragwerke auf Einwirkungen reagieren und wie Prognosen für Entwürfe zukünftiger Bauten zu erstellen sind. Hat man erst solches Modellwissen, dann können wir heute Bauwerke wagen, die Bauten tradierter Erfahrungen weit überflügeln. Bild 7 zeigt die Kuppelschale der Höchster Festhalle – im Dicken-Durchmesser-Verhältnis dünner als ein Hühneri – im Vergleich zu dem von Trajan und Hadrian 118 - 125 n. Chr. erbauten Pantheon in Rom von 43m lichter Weite. Die eine ist wissenschaftliche, die andere handwerkliche Technik.

Bild 7: Pantheon in Rom (118 - 125) und Höchster Festhalle 1959.



Quelle: Bild Heinz Duddeck

Dieses wissenschaftliche Wissen ist wohl durch das Machen angestoßen worden, manchmal auch durch die evolutionären Leistungen der Natur, für Bild 7: die Schalen der Muscheln, Schildkröten, des Schädels, der Nuss. Die Entwicklung des wissenschaftlichen Wissens ist jedoch eher die Leistung des menschlichen Intellekts. Man findet theoretische Modelle, Theorien, weder durch Machen noch durch Anschauen, vielmehr durch Erfinden, durch einen schöpferischen Akt der Fantasie nach tieferem Eindringen in wahrnehmbares Verhalten. Da aber Fantasie auch von dem lebt, was man sich erwünscht, irrt der Mensch hier leicht und oft beträchtlich. Hier warnt sogar Goethe, man habe vom sinnlich Wahrnehmbaren auszugehen. Vorsicht sei geboten, wenn das mit den Sinnen Erkennbare auf Abstraktes zurückgeführt werde. Goethe freilich, der sich um wissenschaftliche Erkenntnisse so intensiv bemühte, war wenig zum Wissenschaftler geeignet, denn er konnte das Staunen vor dem Schönen des Ganzen nicht verlernen. Wissenschaft nimmt auseinander, ohne zu staunen.

#### 4 TECHNIK UND TECHNIKWISSENSCHAFTEN

Und wie kam die Eisenbahn in die Welt? Doch wohl mehr primär durch Machen als durch Wissen. Und wie kommt der Ingenieur zum Machen? Da ist zuerst die Beobachtung eines Phänomens. Der Deckel über einem Topf kochenden Wassers beginnt zu tanzen. Daher fragt der Kopf: Was verursacht dies? Dampf erzeugt offenbar Druck und dies umso mehr, je fester der Deckel drauf sitzt und je heißer das Wasser. Dann kommt die Idee: Damit muss man doch einen Zylinder in einem Kolben bewegen können. Der Homo faber hat eine Vision und beginnt zu basteln und zu experimentieren. Denis Papin, der Hugenotte, baute 1690, als er in Marburg und Kassel war, die erste Dampfmaschine im Versuchsstadium, James Watt 1787 die erste, die einen Drehantrieb erzeugte. George Stephenson 1825 die erste Dampflokomotive. Das Knobeln, Verbessern, Erproben, Schlappen-Erleiden, Immer-klüger-werden, hat recht lange – 135 Jahre – gebraucht, bis getreu dem 200 Jahre zuvor gesetzten Ziel von Francis Bacon, aus Wissen etwas Nützliches zu machen, die ersten Lokomotiven fuhren. Doch welche Art von Wissen hatten diese Knobler und Erfinder? Musste James Watt etwa den 1. und den 2. Hauptsatz der Thermodynamik kennen? Offenbar nicht. Die wurden erst 100 Jahre später von Clausius, Kelvin und von Helmholtz formuliert. Wusste Stephenson, was Wärme eigentlich ist? Die ungeordnete Bewegungsenergie von Molekülen?

Technik hat sich weitgehend aus einfachen Anfängen durch immer neu hinzukommendes Wissen auf den heutigen Stand entwickelt. Dieses jeweils neue Wissen ist jedoch meist Erfahrungs-, Erprobungswissen, nicht das wissenschaftliche Wissen, das danach fragt, warum denn diese Technik im tiefsten Inneren, von der Physik her also, eigentlich so gut funktioniert. Die wissenschaftlichen Begründungen folgten erst nach dem Erfinden und Machen. In der VW-Autostadt kann man sehr schön die Entwicklung des Autos sehen. Mit Pferdekutschen-Vorbildern begann es. Als dann wissenschaftliches

Wissen hinzukommt, gibt es stark beschleunigte Entwicklungen. Aber eigentlich auch nur in Form hinzukommender Funktionen, Verbesserungen, Optimierungen: Vom Fürther „Adler“ zum ICE III. Vom Segelgleiter Lilienthals zum Airbus. Vom Kopfhörer-Radio zur Stereoanlage. Vom Bell-Edisonschen Telefon zum Handy. Vom Baumstamm über den Bach bis zu Brücken, wie die im Bild 8 in der Normandie.

Bei diesen Techniken aus tradiertem Erfahrungswissen fällt auf, dass Ingenieure nicht wissen müssen, wie und wo alles begann. In dem letzten Entwicklungsprodukt ist oft das gesamte Erfahrungswissen aller vorangehenden Generationen eingefangen. Wer den Otto-Motor auf 3-Liter-Verbrauch trimmt, braucht nicht nachzufragen, was Nikolaus August Otto 1870 im Kopf hatte. Philosophen dagegen sind nach drei Sätzen bei Platon. Man muss schon lange suchen, um Beispiele zu finden, bei denen zuerst das wissenschaftliche Wissen war und sich erst danach eine zugehörige Technik entwickelte: Die Kerntechnik, die Lasertechnik, die Silikon-Computertechnik, die Biotechnik. Alle sind erst jüngeren Datums. Hier sucht naturwissenschaftliches Grundlagenwissen, das meist Ergebnis zweckfreier Neugier ist, den nachträglichen technischen Zweck. Es ist absehbar, dass der umgekehrte Weg vom Wissen zum Machen, der uns erst seit der Entwicklung der Technikwissenschaften offen steht, der wichtigere zukünftige Entwicklungsweg von Technik sein wird.

Unsere heutige Technik hat also zwei Wurzeln:

- erstens die aus Erfindungen gewachsenen, durch Wissenschaft beschleunigt entwickelten Techniken und
- zweitens die sich aus naturwissenschaftlichen Erkenntnissen eröffnenden neuen Techniken, die keine handwerklichen Vorstufen haben.

Ingenieure brauchen für beide Techniken Modelle, Abbildungen der Wirklichkeit. Freilich, nur in dem Maße, wie diese Modelle in gewünschter Weise zu funktionierender Technik führen.

Bild 8: Normandie-Brücke, gebaut 1994.



Quelle: © PinkSony - Fotolia.com.

Die zugehörigen Theorien sind Produkte des Kopfes. Sie lassen sich nicht aus empirischen Daten allein ableiten. Aus Machen allein kommt noch nicht theoretisches Wissen. Da muss der Kopf erst noch die Interpretation und die Erfindung der verallgemeinernden Theorie hinzutun. Durch Billardspielen findet man nicht Stoß- und Impulsgesetze. Viel Denken findet noch nicht, was sich dabei in unserem Kopf tut. Umgekehrt ist eine Theorie durch noch so viel bestätigende Erfahrung nicht beweisbar, obgleich William James meinte: „What works, is correct“. Der Homo faber, der da Ingenieur ist, weiß dies alles. Er weiß aber auch, dass er nur dann ein guter Ingenieur ist, wenn er das für sein Objekt und Problem jeweils angemessene, notwendige und hinreichende Wissen einsetzt, nicht mehr (also nicht tiefer fragend) und nicht weniger (also nicht fahrlässig unwissend). Technik braucht zu ihrer Realisierung nicht das volle verfügbare Wissen, sondern nur das jeweils praktikable. Beispiel: Der Fernsehturm wird mit vereinfachten Ersatzlasten für Wind wie ein Balken berechnet, obwohl er eher eine Zylinder-Hohlraum-Struktur hat wie ein Bambusrohr, also eine Schale ist.

## 5 WELCHES WISSEN MEINT DIE FRAGE, OB MACHEN MOTOR DES WISSENS SEI?

Nachfolgend wird versucht, etwas Ordnung in die bei den Beispielen angesprochenen Wissensarten zu bringen. Dazu kann auch Jürgen Mittelstraß' „Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie“<sup>11</sup> zu Rate gezogen werden.

### ABGRENZUNGEN

WISSEN = subjektiv und objektiv zureichendes Fürwahrhalten  
 MEINEN = subjektiv und objektiv unzureichendes Fürwahrhalten  
 GLAUBEN = nur subjektives Fürwahrhalten

Wie sich Wissen von Meinen und Glauben abgrenzt, findet man schon bei Platon und Aristoteles. Hier sind Kants Formulierungen zitiert. Unter Meinen mag sogar die „öffentliche Meinung“ fallen. Zum Glauben: Der Papst hält sicherlich für wahr – er spricht ständig vom „Leben in der Wahrheit“ –, dass Maria (Zitat Brockhaus) „nicht nur der Seele, sondern auch dem Leibe nach erbsündenfrei in den Himmel aufgenommen wurde“ (Dogma von der Assumption 1950). Aristoteles grenzt auch τέχνη, Kunstfertigkeit, das handwerkliche, technische Können, vom Wissen ab. In den Kontext des hier erörterten Wissens gehört dagegen sicherlich nicht das „absolute Wissen“ in der Phänomenologie des Geistes von Hegel, denn in dieser letzten Gestalt des Wissens werde dereinst Religion und philosophische Erkenntnis, Subjektives und Objektives aufgehoben sein.

Wenn wir nun Wissen differenzieren, sind wir wieder bei Platon und Aristoteles. Sie unterscheiden:

1. Theoretisches Wissen, die Erste Philosophie. Wir würden heute eher wissenschaftliches Wissen sagen. Die Ergebnisse z. B. von Naturwissenschaften und Mathematik. Für die Technik etwas verkürzt definiert: Warum etwas funktioniert. Warum Dampf Druck erzeugt.
2. Praktisches Wissen. Bei Aristoteles als praktische Philosophie mit Fragen der Ethik und Moral, des rechten normativen Handelns, der Ökonomie, auch des guten und glücklichen Lebens befaßt. Für die Technik wäre dies etwa Wissen, wie etwas funktioniert, die theoretischen Grundlagen, wie man eine Brücke baut.
3. Poietisches Wissen, das dem Herstellen eines Objektes dienende Wissen, z. B. das der Architektur. Für Technik vereinfachend etwa Handlungswissen, was zu tun ist, damit etwas in die Welt kommt.

Für alle drei Arten des philosophischen Wissens ist theoria unabdingbar. Daher fallen diejenigen Wissenschaften, die nur faktisches Wissen sammeln, nicht unter die philosophischen Wissenschaften: also Sammlungen historischer Ereignisse, archäologischer Funde, griechischer Goldmünzen, aber auch Sammlungen medizinischer Fallstudien

<sup>11</sup> Vgl. Mittelstraß 1995.

oder statistischer Daten der Soziologen. Ihnen allen fehlt die Theorie. So auch noch der Kabinettsentwurf 1802 zur Reorganisation der Preußischen Akademie, der heutigen Berlin-Brandenburgischen:

*„Mitglied der Akademie der Wissenschaften kann nur derjenige seyn, der sich in einem bestimmten Fache der physischen und moralischen Wissenschaften, ... zu seinem Vorteil ausgezeichnet hat. Ausgeschlossen sind alle Redner und Dichter, weil die Gesellschaft, d. h. der Staat, sie entbehren kann. Ausgeschlossen sind ferner alle Metaphysiker, d. h. alle Philosophen von Profession, alle Theologen und Juristen. Ausgeschlossen sind endlich alle Politiker, weil die Politik keine Wissenschaft genannt werden kann“.*<sup>12</sup>

Zu schön, um dies hier nicht zu zitieren. Die preußischen Beamten von 1802 hatten ihren Platon gelesen oder Robert Hooke, der 1663 nahezu Gleiches bei der Gründung der Royal Society of London einforderte. Die heutige Akademie hat jedoch alle, die wissenschaftlichen wie die sammelnden Wissenschaften und die „metaphysischen“ Philosophen. Theologen, jedoch nur, sofern sie Kirchenhistoriker sind.

Wenn man die verschiedenen Arten von Wissen sortiert, mag man zu folgender Liste kommen. Sie ist nicht ganz stringent. Die Bedeutungen überlappen sich. Doch wir können hieran entlang fragen, welche Art von Wissen gemeint ist, wenn Machen Motor des Wissens sein könnte.

1. Faktenwissen ist eigentlich nur Information, eignet sich bestens für Internet und Lexika: Nikolaus Kopernikus ist am 19. Februar 1473 in Thorn geboren. Fakten können selbstverständlich auch Ergebnisse von wissenschaftlichen Forschungen sein. Das Auffinden der Protein-Sequenzen unserer ca. 30.000 Gene ist ein solches Ergebnis. Die Informationstechnologie meint, schon Daten seien Knowledge.
2. Wissen im Sinne des Verstehens von Zusammenhängen: Welche Folgen hat das kopernikanische Weltbild in der Kulturgeschichte gehabt? Was macht das Klima wärmer? Kann man durch Machen Zusammenhänge besser verstehen? Selten. Vielleicht, wenn erst dadurch Interdependenzen aufgedeckt werden: Flussbegradigung zur Auen-Entwässerung führt zu erhöhten Hochwassern.
3. Erklärungswissen: Wie entsteht der zweite Regenbogen? Warum haben dessen Farben die umgekehrte Reihenfolge? Machen hat da wohl keine Chance. Da muss man Optik kennen.
4. Handlungswissen, meist Erfahrungswissen: Was muss ein Bauleiter planen und veranlassen, damit nach zwei Jahren ein Bauwerk richtfertig ist? Hier kann Machen viel Wissen bringen. Knowing by doing. Doch dieses Wissen ist hier

<sup>12</sup> Treusch 2001.

sicherlich nicht gemeint. Durch Tun zum Wissen zu gelangen, wie man's richtig zu tun habe? Da würde Neil Postman sagen, dass auch seine Tante Molly erst durch Machen erlernt habe, wie der Kuchen des neuen Rezepts gelingt.

5. Alltägliches Problemlösungswissen, das auf lebensweltliche Orientierungen zielt: Was muss ich tun, um zu einem Baugrundstück zu kommen? Das ist ja wohl auch nicht gemeint. Bleibt also
6. Wissenschaftliches Wissen: Es ist – nach Mittelstraß<sup>13</sup> – auf Begründungen bezogen und unterliegt Postulaten der Überprüfung. Es könnte Karl Poppers Falsifizierung gemeint sein. Es ist das in der Vielfalt enthaltene Allgemeine, meist gesetzmäßige Allgemeine, das sich auf jedes gleichartig Spezielle übertragen lässt. Ich denke, dies ist gemeint.

Kann man also durch Machen – Machen weitgehend technisch instrumentell verstanden – Wissen gewinnen? Auch die Technikwissenschaften brauchen Methoden, um neue Gesetzmäßigkeiten zu finden, die dann via intelligentem Kopf und Fantasie zu neuen Theorien führen. In der Technik erfolgt dies nicht auf direktem Wege, sondern Machen oder Machen-Wollen gibt eher Anstöße zu neuem Wissen. Beispiele:

- Weil Böden durch Schadstoffe kontaminiert werden können, fragen wir nach Theorien der Durchströmung poröser Stoffe.
- Weil Tunnelmaschinen auf Findlinge und Blindgänger-Bomben stoßen können, ist eine geophysikalische Vorerkundung vor dem Schneidrad gesucht.
- Wenn wir irgendwann in der Zukunft mit Wasserstoff Autofahren wollen, müssen wir wissen, wie Energietransformationen auf Wasserstoffbasis gefahrungsfrei möglich sind.
- Wenn wir biologische Computer entwickeln wollen, die in Nanotechnik Moleküle als Transporteure von Informationen nutzen, muss Grundlagenwissen die Eignung von Molekülen erst erforschen.

## 6 VERSTEHEN WIR NUR, WAS WIR MACHEN KÖNNEN?

Für die technischen Wissenschaften kann man dies – wenn man die Frage vordergründig läßt – grundsätzlich bejahen. Denn Ingenieure sind auf das Reale aus. Sie sind die „Macher“. Also wollen sie die Welt auch nur so weit verstehen, wie es für ihr Tun erforderlich ist. Sie neigen eher dazu, auch das zu tun, was sie nicht verstehen oder im Eigentlichen nicht ganz verstehen. Es genügt, wenn das Werk aus Erfahrung funktioniert und gelingt. Doch die Titel-Frage ist sicherlich differenzierter gemeint. Eine erste Stufe wäre:

Verstehen wir die Welt nur so weit, wie wir sie durch Technik befragen?

---

<sup>13</sup> Vgl. Mittelstraß 1995.

Dies mag für Naturwissenschaften und Technik zutreffen. Von Niels Bohr stammt: „Physik sagt nicht, wie die Welt ist, sondern nur was wir über ihre Natur aussagen können“. Doch die Frage greift wohl zu kurz, denn dann könnte man mit einem ironischen Syllogismus sagen:

- Machen führt zu Wissen.
- Philosophen machen nichts.
- Also wissen Philosophen nichts.

Doch so kann es ja wohl nicht sein. Wo bleibt da die Leistungsfähigkeit der Logik? Was hat Kant nicht alles bewegt! Schnell ein ausgleichendes Zitat von Erasmus: „Die Philosophie lehrt in einem Jahr mehr als noch so vieles Experimentieren in 30 Jahren. Sie lehrt mit (großer) Sicherheit, während durch Probieren mehr Menschen unglücklich werden als klug. Hingegen zeigt die Theorie auf kurzem Wege, was man tun und lassen muss“. Dies meint ja, dass Denken, die Theorie, dem Machen vorausgehen muss, was auch zu Karl Poppers Satz passt, dass nämlich Erfahrungen von der Theorie abhängig sind, nicht umgekehrt. Auch technische Experimente sind durch die Fragestellungen der Theorie vorprogrammiert, selten offen für überraschende Antworten.

Wissen wir nur, was wir erfragen können?

Warum gibt es keine Experimente zum Nachweis der Existenz von Engeln? Die Scholastiker hätten sicherlich DFG-Mittel bewilligt. Weil wir keine experimentierfähige Theorie über Engel haben? Könnten wir dies erfragen, wüssten wir es. Vielleicht ist am akzeptabelsten:

Wir wissen von der Welt nur, was unser Verstand begreift.

Wir müssen handelnd in die Welt eingreifen, um aus der Antwort auf unser Tun wenigstens den Teil von Welt zu verstehen, den wir erfragen. Wenn dieses Handeln unter Machen verstanden wird, dann ist Machen gewiss ein starker Motor, zu Wissen zu gelangen. Doch nicht alles Wissen braucht das Handeln.

Wenn Technik in Zukunft vor allem die aus Wissenschaft entwickelte Technik ist, nicht mehr die aus Erfahrung tradierte, dann entstehen ganz neue Chancen, aber auch größere Verantwortlichkeiten. Tradierte Techniken haben eher den Charakter von kultureller Evolution. Der Mensch schwimmt in diesem Entwicklungsstrom glücklich oder widerstrebend, doch offenbar machtlos mit. Dagegen können wir bei aus Wissen „gemachter Technik“ bestimmen, welche Technik wir haben sollen. Dann gehen auch Wertevorstellungen in Technikentwicklungen ein. Technik folgt dann nicht einer blinden Evolution wie die der biologischen. Der Mensch bestimmt, wohin die Reise in die Zukunft geht. Also sollten wir uns schon ein wenig anstrengen, ein gutes Reiseziel zu finden.

**LITERATUR****Conrad 1990**

Conrad, D.: Kirchenbau im Mittelalter, Leipzig: Edition Leipzig, 1990.

**Heinle/Leonhardt 1988**

Heinle, E./Leonhardt, F.: Türme Aller Zeiten - Aller Kulturen, Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1988.

**Mittelstraß 1995**

Mittelstraß , J. (Hrsg.): Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, Stuttgart: Verlag J.B. Metzler, 1995.

**Scheer 1998**

Scheer, J.: Einstürze von Bauwerken – Fakten, Ursachen, Folgen. In: Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Bd. XVIII (1998), S. 133 – 166.

**Scheer 2000**

Scheer, J.: Versagen von Bauwerken, Ursachen, Lehren. Bd.1, Brücken. Berlin: Ernst U. Sohn, 2000.

**Schlaich/Kordina/Engell 1980**

Schlaich, J./Kordina, K./Engell, H.-J.: Teileinsturz der Kongreßhalle Berlin - Schadensursachen. Zusammenfassendes Gutachten. In: Beton- u. Stahlbetonbau 75 (1980), S. 281-294.

**Straub 1992**

Straub, H.: Die Geschichte der Bauingenieurkunst: Ein Überblick von der Antike bis in die Neuzeit, 4. Aufl., Basel: Birkhäuser, 1992.

**Tarkow 1986**

Tarkow, J.: A Disaster in the Making. In: American Heritage of Invention and Technology (1986), S. 10 – 17.

**Treusch 2001**

Treusch, J.: Schlüssel zur Zukunft - Visionen des 21. Jahrhunderts. In: MNU Zeitschrift 54 (2001), Heft 6, o. Seitenangabe.

**Walzel 1909**

Walzel, A.: Über Brückeneinstürze. In: Mitteilungen des Deutschen Ingenieurvereins in Mähren (1909), No. 2, o. Seitenangabe.

# > DIE PRAGMATIK DES TECHNISCHEN WISSENS ODER: „HOW TO DO WORDS WITH THINGS“<sup>1</sup>

WERNER RAMMERT

## 1 TECHNISCHE PRAXIS: SPRECHEN MIT DINGEN IN DER SPRACHE DER WIRKSAMKEIT

Technisches Wissen gründet im praktischen Tun und hat seinen Zweck im wirksameren Tun. Es unterscheidet sich vom naturwissenschaftlichen Wissen dadurch, dass es letztlich nicht um das Erkennen und Erklären abstrahierter und isolierter Wirkungen geht, sondern um das Gestalten und Erzeugen konkreter und im soziotechnischen Kontext funktionierender Wechselwirkungen. Das gilt für die Passung von Schraube und Gewinde und die Einpassung in nationale Normungssysteme ebenso wie für die Kombination von Teiltechniken zu globalen Fertigungs- und Recyclingsystemen der Fabrikproduktion. Diese technischen Praktiken bedürfen zwar des naturwissenschaftlichen Wissens über die Dinge und deren kausaler Verkettung, z. B. über die Härte des Stahls oder den Informationsverlust bei der Signalübertragung; aber seine Verwendung ist eingebettet in das tausendfache Regelwissen der einzelnen Technikwissenschaften. Dieses technische Wissen hat seinen Ort in der Pragmatik des technischen Handelns, bei der es um die Möglichkeiten, Funktionalitäten und Wirksamkeiten in bestimmten Kontexten geht. Die Botschaft dieses Beitrags ließe sich so zuspitzen: Während sich die Naturwissenschaften mit „words“, sprich Zeichen, Repräsentationen, Kalkülen und Gesetzen, einen Reim auf die Natur der Dinge machen, setzen die Technikwissenschaften mit den Dingen neue Zeichen, erfinden neue Ausdrucksmöglichkeiten und weben mit den technischen Infrastrukturen an neuen soziotechnischen Texturen.

Von der Pragmatik technischen Wissens zu sprechen heißt eigentlich, Eulen nach Athen zu tragen, da das produktive Machen von und das praktische Tun mit Dingen als Kern der Technikwissenschaften angesehen werden kann. Da stimme ich mit vielen anderen überein, die Technikwissenschaften als „Handlungswissenschaften“ zu klassifizieren<sup>2</sup>, vielleicht mit dem besonderen Akzent einer „experimentellen Handlungswissenschaft“<sup>3</sup>. Aber drei Tendenzen geben diesem Unternehmen einer pragmatistischen Technik- und Sozialtheorie einen besonderen Reiz und seine Rechtfertigung:

*Erstens* soll damit der Überbetonung der Semantik technischen Wissens entgegenge-

---

<sup>1</sup> Die ungewöhnliche Klein/Groß-Rechtschreibung des englischen Untertitels "How to do words with Things" folgt spiegelbildlich dem Referenztitel von John L. Austin „How to do things with Words“ FN 20. Für kritische und konstruktive Hinweise danke ich Michael Hahne, Andrea Maurer und Cornelius Schubert.

<sup>2</sup> Vgl. u.a. die Beiträge von Wolfgang König, Günter Ropohl, Klaus Kornwachs und Wolfgang Grunwald in Banse et al. 2006.

<sup>3</sup> Rammert 2007, S. 65 ff.

wirkt werden, wie sie mit der durchgreifenden Verwissenschaftlichung der Ingenieurskünste einherging. Sie stärkte den Glauben an die perfekte Programmierbarkeit komplexer technischer Systeme und sie verdrängte das in den Dingen, Communities und Praktiken gespeicherte nicht-explizite Wissen.<sup>4</sup> Die Pragmatik lenkt den Blick wieder auf das praktische Tun in den verschiedenen Phasen der Anwendung technischen Wissens: a) dem Entwerfen, Planen, Konstruieren und Programmieren spezifischer Funktionalitäten, b) dem Gestalten und Testen technischer und nutzerbezogener Schnittstellen und c) der Integration in bestehende Produktionsanlagen oder Unternehmensstrukturen, technische Infrastrukturen sowie soziale, ökologische und ökonomische Verwendungszusammenhänge.

*Zweitens* sollen damit auch die selbst auferlegten Beschränkungen einer dualistischen Sicht auf Technik und Gesellschaft aufgehoben werden, wonach das Machen technischer Sachen nichts mit dem sozialen Handeln und umgekehrt, wonach das soziale Handeln nichts mit den realen Techniken zu schaffen hat. Der Pragmatismus eröffnet die Möglichkeit, die technische Konstruktion als Teil der gesellschaftlichen Konstruktion von Wirklichkeit zu begreifen. Die Bedeutung („words“) einer neuen Technologie entwickelt sich dann aus dem Verständigungsprozess vieler miteinander in Interaktion stehender Menschen und Interessengruppen, die a) durch stetige Verhandlung untereinander, b) durch experimentelle Interaktivität mit den Dingen und c) durch kreative Verwendung der Dinge deren Bedeutung immer wieder neu herausstellen.<sup>5</sup>

*Drittens* sollen mit dieser Perspektive auch die Schranken für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Technik- und Sozialwissenschaftlern ein wenig geöffnet werden. Gegenwärtig entworfene technische Systeme und Umgebungen werden dank moderner Informations-, Kommunikations- und Sensorentechnik als mehr oder weniger ‚autonome Agenten‘ gestaltet, mit ‚intelligenten Verhaltensweisen‘ ausgestattet und für ihre Besitzer maßgeschneidert und zunehmend auf ‚interaktive Art‘ und ‚locker gekoppelt‘ vernetzt. Für die technikwissenschaftliche Konstruktionspraxis derartiger Systeme bieten sich Modelle sozialer Interaktion und gesellschaftlicher Kopplung an.<sup>6</sup> Und umgekehrt, wenn soziales Handeln zunehmend auf verschiedene Instanzen wie Menschen, Maschinen und Programme verteilt wird, dann bedarf die sozialwissenschaftliche Analyse, aber auch die gesellschaftliche Gestaltung technischer Infrastrukturen der Kenntnisse und Erfahrungen der Ingenieurs- und Planungswissenschaften.

Der Beitrag gliedert sich in zwei Teile. Der nächste Abschnitt (2) beschäftigt sich mit den Problemen technischen Wissens und der Pragmatik technischen Handelns. Zunächst wird danach gefragt, wie es zur Verdrängung der pragmatischen Aspekte im technischen Wissen kommen konnte, welche Probleme sich die Technikwissenschaften

<sup>4</sup> Wengenroth 2006 und 2009.

<sup>5</sup> Vgl. für die gesellschaftliche Konstruktion Berger/Luckmann 1969 und für die technische Konstruktion Rammert 2007, S. 37 ff.

<sup>6</sup> Vgl. zu den technischen Agenten und zur Sozionik die Beiträge von Thomas Malsch, Werner Rammert und Ingo Schulz-Schaeffer in Malsch 1998.

damit einhandeln. Dann werden Perspektive und Programm eines auf technisches Handeln bezogenen Pragmatismus skizziert und gezeigt, wie dieser zur Lösung der Probleme herangezogen werden könnte. Im 3. Abschnitt werden mit der Eigenaktivität, der Komplexität, der Heterogenität und der Ubiquität vier Merkmale der Technostruktur benannt, welche die Technikwissenschaften gegenwärtig zu Anpassungen des Wissens herausfordern. Am Thema der Technik in Aktion wird demonstriert, dass sich die pragmatistische Perspektive auch und speziell für die Analyse und Gestaltung der Aktivitäten und Interaktivitäten der technischen Objekte in soziotechnischen Konstellationen eignet. Der Beitrag schließt mit einigen Folgerungen zur Pragmatik technischen Könnens, wie sie sich aus den vorherigen Überlegungen für die Praxis der Ingenieurausbildung und der transdisziplinären Forschung und Entwicklung mit anderen Disziplinen ergeben.

## 2 PROBLEME MIT DEM TECHNISCHEN WISSEN UND DIE PERSPEKTIVE DES PRAGMATISMUS

### 2.1 VOM ANERKENNUNGSPROBLEM ZUM ANPASSUNGSPROBLEM

Zwei Probleme bewegen die Technikwissenschaften, was den Wert und die Brauchbarkeit ihres Wissens betrifft: erstens, das Anerkennungsproblem, das zu einer forcierten Verwissenschaftlichung und einer Verdrängung des pragmatischen Charakters technischen Wissens geführt hat, und zweitens das Anpassungsproblem an veränderte Anforderungsstrukturen, welche gegenwärtig eine Rückbesinnung auf den pragmatischen Kern der Technikwissenschaften nahelegen.

Die Anerkennung des technischen Wissens als gesellschaftlich hoch geschätztes und später als wissenschaftlich begründetes Wissen ist ein altes Problem, das von der Antike bis zur modernen Wissenschaft Ende des 19. Jahrhunderts anhält. Im Ranking der Wissensformen blieb das technische Wissen immer auf dem letzten Platz: In der antiken Gesellschaft wurde zwar das Können der Baumeister, Gesetzesmacher oder Landvermesser für notwendig erachtet, nützlich für die Haus-, Stadt- und Kriegswirtschaft. Aber der Status als begründetes Wissen wurde ihm nicht gewährt. Die Exzellenz wurde im philosophischen Wissen gesucht und gesehen. In den Universitäten vom Mittelalter bis zur Neuzeit blieb weitgehend die Hierarchie der Wissensformen erhalten: Religion rangierte vor Philosophie, Philosophie vor den Naturwissenschaften, als sich diese dann nach der Aufklärung langsam von Theologie und Philosophie lösten. Zuerst und auch außerhalb der Universität kamen die technischen Künste, die in eigenen Bauakademien, Militär- und Gewerbeschulen weitergegeben wurden.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Vgl. König 1995 und i.d. Band.

Seit Ende des 19. Jahrhunderts kehrt sich der Trend um: Die technischen Künste formieren sich zu technologischen Disziplinen, wandeln sich zu Wissenschaften, die sich nach dem Vorbild der Physik auf axiomatischen Theorien gründen, Praktiken formalisieren, Prozesse modellieren und Relationen mathematisieren. Diese ‚nachholende Verwissenschaftlichung‘ bringt die Technikwissenschaften sichtbar voran, auch in der gesellschaftlichen Anerkennung. Der säkulare Glaube an den technisch-wissenschaftlichen Fortschritt rangiert seit der industriellen Moderne weit vor den religiösen Glaubensformen. Die Ingenieurschulen und Bauakademien werden in Technische Hochschulen umbenannt, schließlich in den Stand Technischer Universitäten mit Promotions- und Habilitationsrecht erhoben. Gegenwärtig hat das technische Wissen keine Anerkennungsprobleme mehr im System der Wissenschaften. Ein Blick auf die aktuellen Technologien der Computer-, Gen- und Nanowissenschaften und auf die Reputation der technischen Wissenschaftsinstitutionen (MIT, CalTech, EIT, acatech, Fraunhofer) stärkt die Vermutung, dass es zu einem dominanten Modell der Forschung aufgestiegen ist.

Die erfolgreiche Lösung des Anerkennungsproblems durch konsequente Verwissenschaftlichung der Technik hatte allerdings einige kaum bemerkte Nebenfolgen:

Die Orientierung am Vorbild der Naturwissenschaft lässt den Handlungsbezug technischen Wissens in den Hintergrund rücken. Abstraktes Wissen verdrängt den Wert konkreter Erfahrungen; mathematisierte Beziehungen werden wichtiger als fallbezogenes Regelwissen, und von Kontexten gereinigte Systemkonstruktionen blenden die Kunst des ‚piecemeal engineering‘ und des intuitiven Umgangs mit nicht säuberlich trennbaren und „not well-structured problems“ bei komplexen soziotechnischen Konstellationen aus.<sup>8</sup> Solange wie die technischen Systeme relativ einfach von den natürlichen und sozialen Umwelten abgekapselt und die Teilsysteme intern stabil hierarchisch integriert werden konnten, zeigten sich bei abrupten Veränderungen der Umweltdynamik höchstens mal punktuelle Probleme. Je mehr jedoch die Grenzen zwischen den Systemen durchlässiger werden und die Techniken selbst nach dem Modell des Handelns in Aktion treten, desto dringlicher wird die Rückbesinnung auf den konstruktiven Handlungsaspekt technischen Wissens und seine Bezüge zu den pragmatischen Bedingungen seines erfolgreichen Gelingens. Ansonsten erwachsen aus der einseitigen Sicht auf das technische Wissen systematische Anpassungsprobleme der Technikwissenschaften an die neuen Technostrukturen der Gesellschaft.

## 2.2 PRAGMATISMUS ALS PERSPEKTIVE

Technisches Wissen wird „in pragmatischer Hinsicht“ erzeugt und hat sich im praktischen Kontext als wirksames Funktionieren zu bewähren. „Weltgestaltung“, nicht Welt-

---

<sup>8</sup> Vgl. Wengenroth/Heymann 2001; Böhle 2003; Star 1989.

erklärung, steht im Vordergrund, und die hat das Wissen auf den „wirklichen Menschen“ und „zum Gebrauch für die Welt“ anzuwenden und die wechselnden Weltzustände und die lebensweltlichen Zwecke einzubeziehen, wie es schon in Immanuel Kants „Anthropologie in pragmatischer Hinsicht“ (1798) heißt.<sup>9</sup> Auch die Technik kommt bei ihm schon vor, unter den Begriffen „Angewohnheiten“, „Methoden und Maschinen und unter diesen die Verteilung der Arbeiten“.<sup>10</sup> Sieht man nur die am naturwissenschaftlichen Ideal orientierte Perfektion des technischen Wissens, den Drang zum restlosen kausalen Erklären und idealisierten Beherrschen, verliert man leicht die Kluft zwischen ‚reiner‘ Semantik und ‚schmutziger‘ Pragmatik aus den Augen: Die gereinigten Teile technologischen Wissens, die selbstverständlich zum Fortschritt der modernen Technikwissenschaften beigetragen haben, müssen letztlich in die vermischten Zweck-Mittel-Beziehungen der konkreten Umwelten eingebaut werden.<sup>11</sup> Als reale Konstruktionen sind sie in die Vielfalt verschiedener real existierender Techniken einzupassen. Als praktische Konstruktionen sind sie per definitionem mit wirtschaftlichen, politischen und kulturellen Zwecken vermischt. Praktisches Können und technische Erfahrung, intuitives Wissen und experimentelles Erproben sind daher keine Residuen der Unvollkommenheit technischen Wissens, die es zu beseitigen gilt, sondern sie sind und bleiben – bei aller Verwissenschaftlichung – notwendige Bestandteile der Technikwissenschaften.

Systematisch wurde die pragmatistische Perspektive in der amerikanischen Philosophie erarbeitet. Der philosophische Pragmatismus, wie er von Charles Peirce über John Dewey bis hin zu George Herbert Mead entwickelt wurde, war im Wesentlichen eine Antwort auf den kontinentalen Rationalismus und Idealismus. Er beginnt mit einem Primat der Praxis bei der Behandlung von Fragen des Denkens, Wissens und Erkennens. Er betont das Lösen konkreter Probleme, wie z. B. unter bestimmten Bedingungen Gewissheit hergestellt werden kann, gegenüber abstrakten Fragen nach der Wahrheit. Und er bezieht sich bei der Lösung theoretischer wie praktischer Probleme auf das Prinzip experimentellen Handelns.<sup>12</sup>

Damit drehen seine Vertreter den Spieß der Erkenntnis um: Sie nehmen die Vorgehensweise des praktischen und alltäglichen Problemlösens und das Vorbild der Labor- und Ingenieurwissenschaften zum Vorbild für philosophisches Denken. Sie benutzen die Pragmatik technischen Wissens als Grundlage und Modell für die Lösung wissenschafts-, sprach- und sozialtheoretischer Probleme. Wahrheit, Wissen und Bedeutung sind auf Praktiken des ‚Wahr-Machens‘, des Lösens konkreter Probleme und des beobachtbaren interaktiven Verhaltens zwischen Körpern zurückzuführen. Der Begriff eines Gegenstands wird nicht essentialistisch definiert, sondern auf der Grundlage von zu vollziehenden Operationen und als Inbegriff der Konsequenzen, die sich ergeben, wenn

<sup>9</sup> Kant 1998, S. 21, 29.

<sup>10</sup> Ebd., S. 63.

<sup>11</sup> Vgl. Bunge 1966; Poser 2003; Kornwachs 2006.

<sup>12</sup> Dewey 1995 <1925>, 29 ff.; Hickman 1990, S. 60 ff.

in einer bestimmten Weise auf den Gegenstand eingewirkt wird.<sup>13</sup> Auch die Bedeutung eines Wortes wird nicht aus einem inneren Sinn hergeleitet, sondern aus dem Kontext der Kooperation und symbolischen Interaktion, in dem zugleich erwartet und beobachtet werden kann, welche Folgen eine Geste oder ein Zeichen für sich und einen anderen hat.<sup>14</sup> So wie aus der Wechselwirkung zweier physikalischer Objekte in Experimentalsystemen auf eine interobjektive Ordnung von Ursachen und Wirkungen geschlossen wird, so wird in der pragmatistischen Sozialtheorie von George H. Mead aus der Wechselwirkung der Interaktion zweier mit Sinnen und Organen ausgestatteter Körper die Entstehung einer intersubjektiven sinnhaften Ordnung hergeleitet.<sup>15</sup>

Mit dieser pragmatistischen Perspektive wird ein Standpunkt gewonnen, der nicht nur das Herstellen wissenschaftlicher Fakten und die Erzeugung moralischer Fakten bei aller Unterschiedlichkeit der Elemente auf eine gemeinsame Basis stellt und damit in ihrer Identität und Differenz vergleichbar macht. Der Pragmatismus lenkt die Aufmerksamkeit auch auf das Tüfteln und Basteln, das notwendig ist, um technisches Wissen in konkrete Apparate, Maschinen und Programme zu verwandeln. Er untersucht das experimentelle Ausprobieren zwischen beabsichtigten Wirkungen und beobachteten Widrigkeiten, zwischen explizitem Mittel und impliziten Möglichkeiten. Dieses Experimentieren schafft in einem ständigen Prozess der „Re-Konfiguration“ wechselseitig den jeweiligen Menschen und die jeweilige Technik einer Epoche. Es bildet den Kitt zwischen Fakten und Erkenntnissen, aus denen unsere Gesellschaft und ihre Techniken bestehen.<sup>16</sup> Damit ermöglicht der Pragmatismus eine neue Perspektive zur Überwindung des Dualismus von Technik und Gesellschaft und die Kooperation der Technik- und Sozialwissenschaften, die an verschiedenen Fronten für dieselbe Sache – die Verbesserung der menschlichen Lebensqualität – kämpfen.<sup>17</sup> Dabei ist dieses pragmatistische Untersuchen („inquiry“) stets vom Anspruch praktischer Lösungen geleitet, Methoden und Programme zu entwickeln, neue Verbindungen, Erkenntnisse und Instrumente hervorzubringen. Technisches Wissen, was dabei in der Form technischer Regeln entsteht, referiert dabei auf beide Aspekte, unter dem Aspekt der Wirksamkeit auf die Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen den Objekten und unter dem Aspekt der Zweckmäßigkeit auf die intendierten Zweck-Mittel-Relationen.<sup>18</sup>

### 2.3 PRAGMATIK ALS PROGRAMM

Die Pragmatik ist zunächst einmal ein Bereich der linguistischen Sprachtheorie. Während die Semantik die Bedeutung der Wörter zum Gegenstand hat und die Syntax ihre Stellung im Satzbau, befasst sich die Pragmatik mit ihrer praktischen Verwendung in

<sup>13</sup> Vgl. Peirce 1970 <1907> und Dewey 1998 <1929>, S. 111 ff.

<sup>14</sup> Mead 1968, S. 115 ff.

<sup>15</sup> Mead 1968, S. 427 f.; Joas 1989, S. 143 ff.

<sup>16</sup> Suchman 2007, S. 259 ff.

<sup>17</sup> Vgl. Rorty 1994.

<sup>18</sup> Siehe auch Kornwachs 2006, S. 72, Hubig 2006, S. 21 ff.

verschiedenen Kontexten. Seit Wittgensteins Philosophie der normalen Sprache hat sich das wissenschaftliche Interesse von den Regeln der Grammatik hin zu den Praktiken des Sprechens verschoben. Die Bedeutung der Wörter kann nicht ohne den praktischen Gebrauch, ihre Verwendung in bestimmten Kontexten verstanden werden. Menschen wenden nicht wie Computerprogramme strukturierte Regeln der Grammatik an, sondern beim Verwenden von Wörtern in konkreten Lebensformen bringen sie Bedeutungen und Muster hervor, die man im Nachhinein als Regeln rekonstruieren kann.

Bahnbrechend für die Theorie der Sprache war John L. Austins Vorlesung über „Taten und Worte“<sup>19</sup>, weil er diesen Aspekt des Tuns, des Wortemachens, zum Fokus für die gesamten Geistes- und Sozialwissenschaften erhob. Den Titel seines legendären Buches „How to do things with Words“ könnte man auch so übersetzen: „Mit Worten etwas bewirken“. Für den Fall performativer Äußerungen, wenn Sprechen etwas bewirken soll, dann werden Worte zu Taten, dann sagen Sätze nicht nur etwas aus, sondern sie machen etwas. Solche „Sprechakte“ geben jemandem einen Namen, sie verheiraten zwei Personen oder sie ernennen jemanden zu etwas. Ihre Funktion besteht nicht darin, etwas nur festzustellen, was der Fall ist, sondern auch praktisch herbeizuführen, was dann der Fall sein wird. Sie repräsentieren nicht Wirklichkeit, sie konstruieren sie mit all ihren Folgen.

Für die Theorie der Technik ist dieser Aspekt der Pragmatik, das Hervorbringen der Dinge, eigentlich selbstverständlich. Aber was ein neues Licht auf die Theorie technischen Tuns und Wissens werfen könnte, ist die von mir im Untertitel vorgenommene Umformung des Austinschen Titels: „How to do Words with things“. „Mit den Dingen etwas sagen“ soll heißen, wann immer Dinge gemacht oder mit Dingen etwas getan wird, werden Worte gemacht, Aussagen getroffen und wird Bedeutung gestiftet. Ähnlich wie durch die Sprechakte entsteht durch die Technikakte ein Universum technischer Ausdrucksformen, eine Sprache mit eigenen grammatischen Regeln, einer eigenen Semantik der Funktionalitäten und einer eigenen Syntaktik funktionierender technischer Kombinationen. Das will besagen, dass technisches Handeln nicht nur als sinnfreies „How to do things with things“ verstanden werden kann, dem dann nachträglich eine kulturelle Bedeutung wie ein Kleidungsstück übergezogen wird, sondern

- dass technisches Tun *gleichzeitig* Dinge macht und bedeutsame Zeichen setzt,
- *sachlich und sinnhaft* zugleich das Handeln anderer orientiert, einengt oder ermöglicht
- und über die *Textur und Architektur* der technischen Systeme die Verfassung der Gesellschaft und die Kultur einer Epoche mitträgt.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Austin 1975 <1962>.

<sup>20</sup> Siehe ähnliche Konzepte von Technik als „objektivierte Kultur“ bei Simmel 1983 <1900>, S. 96, als „Verfassung“ bei Winner 1980 und als „Versammlung“ bei Latour 2001.

Pragmatik als Programm für die Analyse technischen Wissens bedeutet somit immer zugleich zweierlei:

Erstens, das technische Konstruieren und die objektivierten Technostrukturen als eine der Sprache ähnliche, aber andere Ausdrucksform menschlichen Handelns zu untersuchen. Der Philosoph und Anthropologe Ernst Cassirer hatte schon die Technik neben Mythos, Logos und Kunst als eine vierte „symbolische Form“ angesehen: In ihr drücken sich die Menschen in der ‚Sprache‘ der Wirksamkeit aus.<sup>21</sup> Die Pragmatik des technischen Wissens untersucht die Technik als ‚Technikakte‘ unter dem Gesichtspunkt des herstellenden und verwendenden Umgangs mit zweckmäßigen Artefakten in bestimmten Kontexten und historischen Bezügen. Erst der Gebrauch eines Dings oder einer Konfiguration von Dingen in einer bestimmten Konstellation macht daraus in letzter Instanz ein zweckmäßig wirkendes Mittel. Die technischen Regeln, in denen das Wissen um die Wirksamkeiten und Finalitäten festgehalten wird, können sich dann in gewisser Weise als Regelwerk ähnlich einer Grammatik etablieren. Von der Pragmatik der Sprache kann für das technische Konstruieren gelernt werden, dass das technische Handeln ähnlich wie das Sprechhandeln in konkreten Ausdrucks-, bzw. Gestaltungssituationen immer wieder aktualisiert und angepasst werden muss, es zwar ein Lexikon oder Archiv voller gesammelter gelungener und wirksamer Lösungen gibt, auf die man zurückgreifen kann, aber man für neue Problemlagen neue Regeln und neue Kombinationen und erweiterte Rahmungen erproben muss.

Zweitens, durch technisches Konstruieren analog zum Verfertigen der Gedanken beim Reden<sup>22</sup> neue Wege zu finden, Dinge zum Ausdruck zu bringen und dadurch neue Möglichkeiten zum Handeln zu erschaffen. Dies stellt jedes Mal aufs Neue die Herausforderungen, vorhandene technologische Ideen in der Praxis zu erproben und solange zu überarbeiten, bis sie funktionieren.<sup>23</sup> Entscheidend ist, sie in die technologischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Gegebenheiten einzupassen, die man in den zukünftigen Anwendungssituationen vorfindet. Es gilt Methoden zur Verfügung zu stellen, die für die wechselseitigen Verflechtungen dieser Gegebenheiten sensibel sind, um Innovationen zu entwickeln, die nicht nur technologisch auf der Höhe der Zeit, ökologisch nachhaltig und ökonomisch profitabel sind, sondern auch bei den Menschen auf breite Akzeptanz stoßen.

Bei der gesellschaftlichen Konstruktion der Wirklichkeit lassen sich die Stufen der Objektivierung des Wissens (Sprache) und des technischen Handelns (Technik) in analoger Weise kennzeichnen.

Auf der ersten Stufe der Entstehung beginnt die Sprache mit „Anzeichen“<sup>24</sup> für

<sup>21</sup> Cassirer 1985 <1930>, S. 52; Rammert 2007, S. 53.

<sup>22</sup> Kleist 1996, 310 ff.

<sup>23</sup> Dewey 2002 <1938>, S. 127 ff.

<sup>24</sup> Zur Objektivierung des Wissens siehe Berger/Luckmann 1969, S. 320ff. und zur Übertragung auf technisches Handeln Rammert 2007, S. 37 ff.

etwas, die im praktischen Kontext der Interaktion aus Spuren, Ereignissen oder Gesten bedeutsame Zeichen werden lassen. Die Technik beginnt dementsprechend mit ‚Proben‘ und ‚Problemen‘, die im praktischen Kontext der „inquiry“, des Bastelns und der „experimentellen Interaktivität“<sup>25</sup> aus Dingen, Formen und Bewegungen wirksame technische Mittel und Installationen macht. Sie bleiben sachlich tentativ, zeitlich episodisch und räumlich lokal gebunden.

Auf der zweiten Stufe werden die Zeichenverwendungen in „Erzeugnisse“ umgewandelt. Sie werden von den Orten und Zwecken ihrer ursprünglichen Genese entkoppelt, bleiben aber als signifikante Zeichen und Symbole an typische Situationen gebunden. Bei der Technik erlangen dann die Entwürfe den Status ‚erprobter Installationen‘ für spezifische Kontexte. Als detaillierte Verfahrensabläufe, wirksame Artefakte oder nützliche Sonden werden sie in den Technologie- und Maschinenbüchern gesammelt. Als beispielhafte Problemlösungen werden sie von ihren Entstehungsorten in Mühlen, Bergwerken oder Bewässerungsanlagen losgelöst, bedürfen jedoch als einfache oder kombinierte Maschinen immer noch der Einbettung in das berufliche und branchenübliche Repertoire von Mechanikern oder Ingenieuren.

Auf der dritten Stufe sind die Sprachelemente aus den Kontexten vollständig entbunden und bilden ein eigenes „Zeichensystem“, die Sprache mit ihren expliziten Nutzungsregeln. Ebenso bildet sich ein universalisiertes ‚technologisches System‘ heraus, das aus den Regelwerken erfolgreicher technischer Funktionslösungen besteht und die technischen Regeln gänzlich dekontextualisiert in sich vereinigt.

Mit dieser parallelen Modellierung sprachlichen und technischen Handelns eröffnet sich ein Forschungsprogramm, mit dem Technik analog zur Sprache unter den Gesichtspunkten der Semantik, Pragmatik und Syntaktik verfeinert und systematisch untersucht werden kann. Besonders die Pragmatik als Programm macht die einzelnen ‚Technikakte‘ im Rahmen technischen Handelns zur kleinsten Untersuchungseinheit, lässt einen präzisen Blick auf das Machen von Technik, das Machen mit Technik und das Mitmachen der Technik in den jeweiligen Situationen zu.<sup>26</sup>

Gleichzeitig lässt sich mit der grammatikalischen Perspektive die Technik als Arsenal objektivierter Technikakte und die Technologie als Archiv der verkodeten Schemata der Technisierung begreifen. Für die Anwendung dieses Potentials – das ist die Lehre auch aus der Sprachpragmatik – bedürfen sie jedoch immer des „enactments“ in praktischen Situationen.<sup>27</sup> So wie jeder situativ gesprochene Satz sich nicht nur aus den Regeln der Grammatik ableiten lässt, so bleibt auch jeder technische Konstruktionsakt bei allen Rückgriffen auf vorhandene Regelwerke eine mehr oder weniger zweckmäßige

<sup>25</sup> Vgl. Dewey 2002 <1938>, S. 16 und 59 ff.; Rammert 2007, S. 65 ff.

<sup>26</sup> Rammert 2008a, S. 344 ff.

<sup>27</sup> Schulz-Schaeffer 2000, S. 64 ff.

Äußerung unter spezifischen Kontextbedingungen. Je mehr und je unterschiedlicher die Kontexte werden, auf die sich technisches Handeln zu beziehen hat (etwa Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit, Sicherheit, Datenschutz etc.) und in die es institutionell eingebunden wird (Wirtschaft, Politik, Wissenschaft, Recht, ästhetisches Design etc.)<sup>28</sup>, desto strategisch bedeutender wird ein solches Programm einer an Technikakten und Erfahrungssituationen orientierten Feinanalyse technischen Wissens.

### 3 TECHNIK IN AKTION: MERKMALE VERÄNDERTER TECHNOSTRUKTUREN UND DIE FOLGEN FÜR TECHNISCHES WISSEN

Bisher hatten wir uns mit dem herstellenden und verwendenden Umgang mit technischen Artefakten befasst und dabei auf den experimentellen und Sinn ausdrückenden Handlungscharakter der Technikakte hingewiesen. Jetzt kehren wir den Blick um, vom Generieren, Gestalten und Installieren der Technik hin zu Gangart und Agentenschaft der technischen Objekte selbst. Die pragmatistische Perspektive erleichtert auch die Analyse von Veränderungen der Technikobjekte und ihrer Aktivitäten und Interaktivitäten. Konnte man lange Zeit getrost die technischen Objekte als passive und fest fixierte Mittel auffassen, die als unveränderliche Bestandteile stumm und stetig ihre Funktion erfüllen, so zeigen gegenwärtige Technostrukturen von Produktion, Verkehr und Kommunikation vier auffällige Veränderungen:

Die *Eigenaktivität* technischer Objekte hat deutlich zugenommen, und zwar vielfältiger als bei klassischen Formen der Mechanisierung und Automation. Die Objekte wirken als Agenten und werden gebündelt als Agenturen oder „autonome“ Systeme entworfen.<sup>29</sup> Für den Umgang mit ihnen reichen Konzepte der Instrumentalität nicht mehr aus; die höhere Eigenaktivität verlangt nach einem Konzept, das mehr der Wechselseitigkeit zwischen Mensch und Technik Rechnung trägt: Dafür schlage ich das Konzept der „Interaktivität“<sup>30</sup> zwischen den beiden Seiten vor.

Die *Komplexität* der technischen Konfigurationen aus den Objekten ist rasant angewachsen: Nicht nur die Zahl der materiellen Bauteile und ihrer Kopplungsbeziehungen bei einem PKW sind vervielfacht, sondern auch noch die Anzahl der verschiedenen Funktionssysteme für Zündung, Stabilisierung, rechnervermittelte Optimierung und die Verbindung mit Steuerungs- und Informationssystemen in der Umwelt. Der Blick vom einfachen Artefakt und seiner blockweisen Aggregation hat sich schon verschoben hin zu einem zwischen mehreren Ebenen geschichteten und kompliziert geschachtelten technischen System.

Die *Heterogenität* der Elemente, die bei der Gestaltung solcher hochkomplexer Systeme berücksichtigt werden müssen, verlangt eine umfassendere, besonders aber auch vielfältigere Konzipierung und Modellierung: Nicht nur Sachsystem und menschliche

<sup>28</sup> Vgl. als Anwendung auf „Intelligente Objekte“ die Beiträge in Herzog/Schildhauer 2009.

<sup>29</sup> Vgl. auch Christaller/Wehner 2003; Rammert 2007, S. 167 ff. und 179 ff.

<sup>30</sup> Rammert 2008b, S. 71.

Handlungssysteme, sondern auch Zeichensysteme und Umweltsysteme sind in eine Funktionsbeziehung zu setzen, die ihren jeweiligen Besonderheiten Rechnung trägt.<sup>31</sup>

Die *Ubiquität* der technischen Dienste übernimmt eine führende Rolle: Die technischen Infrastrukturen werden zunehmend so eingerichtet, dass man alle Artefakte nicht nur überall in der Welt erhalten und verwenden kann, sondern dass sie unterwegs von überall zu jeder Zeit in der erwünschten Konfiguration genutzt werden können. Das Mobiltelefon und das „Ubiquitous Computing“<sup>32</sup> sind Beispiele für diesen Wandel von stationärer zu mobiler Techniknutzung.

Auf diese Veränderungen hat es auf Seiten der Technikwissenschaften schon einige wichtige konzeptuelle Antworten gegeben: z. B. von der Artefakt- hin zur Verfahrens- und zur Systemwissenschaft (im Chemical Engineering, im Maschinen- und Anlagenbau oder in Architektur und Urban Design). Vor allem die höhere Eigenaktivität der Objekte legt jetzt eine zusätzliche Perspektivenerweiterung nahe, in welcher die Aktivitäten und Interaktivitäten der Objekte in heterogenen soziotechnischen Konstellationen zum Fokus werden.

### 3.1 OBJEKTE IN AKTION: DIMENSIONEN UND NIVEAUS DER EIGENAKTIVITÄT

Gegenüber rein mechanischen Abläufen gewinnen gegenwärtig technische Objekte ein höheres Niveau an Eigenaktivität. Die neueren Informations- und Kommunikationstechniken sorgen in den vier Dimensionen der Motorik, der Aktorik, der Sensorik und der Informatik für einen qualitativen Wandel: Technische Objekte werden vom stationären Apparat zum mobilen Agenten verwandelt. Sie werden vom fest verdrahteten Artefakt in einen programmierbaren Agenten transformiert. Mit der Sensorik wandeln sie sich vom sturen Gerät zu einer re-aktiven Agentur. Und mit den Mitteln der Informatik können sie vom Status des passiven Instruments in die Rolle des pro-aktiven Agenten erhoben werden.<sup>33</sup> Zusammengefasst legen es diese Tendenzen gesteigerter Eigenaktivität nahe, das Instrumenten-Konzept technischer Mittel durch ein angemesseneres Konzept zu ersetzen, dem Konzept der technischen Agenten und Agenturen.

Die Perspektive der Pragmatik kann auch auf die Einschätzung der Aktivitätsniveaus technischer Agenten angewandt werden. Nach ersten Zugriffen auf Produktions-, Programmier- und Informationstechniken hat sich vorläufig folgende Einteilung von Aktionsniveaus bewährt:<sup>34</sup>

1. **passiv:** Objekte, die in jeder Hinsicht von außen bewegt oder geändert werden, um zu wirken (Werkzeug, Karteikarte, Preisschild)
2. **aktiv:** Objektkombinationen, die bestimmte Operationen in den vier Dimensionen selbsttätig ausführen (Bohrmaschine, Lochkarte, Strichscanner)

<sup>31</sup> Ropohl 2006, S. 57.

<sup>32</sup> Vgl. Greenfield 2006; Fleisch/Mattern 2005; Kündig/Bütschi 2008.

<sup>33</sup> Zur Agententypologie vgl. Rammert 1998, S. 99 ff. und Wooldridge/Jennings 1995, S. 117.

<sup>34</sup> Rammert 2006, S. 171 f.

3. **re-aktiv:** Objektkombination mit Rückkoppelung für einfache Anpassungen (sensorgesteuerte Bohrmaschine, Hilfeagent, RFID-Kasse)
4. **pro-aktiv:** Verteilte Systeme, die sich mittels wechselseitiger Abstimmung koordinieren (Kooperierende Rettungsroboter, Multiagentensystem, ‚Smarte Objekte‘)
5. **trans-aktiv:** Intelligente Systeme, die im Hinblick auf Eigen-, Fremd- und Gesamtaktion Zweck-Mittel-Relationen selbständig reflektieren und verändern (bisher nur menschliche Teams oder hybride soziotechnische Konstellationen).

Solange die Aktivitäten auf den unteren beiden Niveaus eingeordnet werden können, reichen die alten Konzepte für die Analyse und Modellierung aus. Erst für die höheren Niveaus ergeben sich die qualitativen Veränderungen, welche oben angesprochen worden sind. Ein pragmatistisches Konzept macht die Ebenenunterschiede sichtbar und in ihren Konsequenzen ansprechbar<sup>35</sup>.

### 3.2 OBJEKTE IN INTERAKTION UND INTERAKTIVITÄT: STEIGERUNG DER BINNENKOMPLEXITÄT UND ERHÖHUNG DER HETEROGENITÄT AN DEN SCHNITTSTELLEN

Hat man sich einmal an diese Sichtweise der Pragmatik (2.) gewöhnt, fallen zwei weitere Konsequenzen auf: die erste betrifft den Wandel der internen Struktur der technischen Systeme und die zweite betrifft die Veränderungen an den Außengrenzen, den sogenannten Schnittstellen der technischen Systeme.

In der Geschichte der Technikwissenschaften geht es längst nicht mehr allein um die einzelnen Artefakte oder die einfachen Maschinen wie Hebel, Rad und schiefe Ebene. Die wirksame Kombination der einzelnen Artefakte zu Maschinen und Apparaturen und schließlich deren optimale Konfiguration zu großen Anlagen und Produktions- und Verteilungssystemen sind ihr Thema. Die hierarchische Verschachtelung der technischen Infrastruktursysteme mit großen technischen Anlagesystemen und diese wiederum mit Teilsystemen des Antriebs, der Verarbeitung, des Transports und der Regelung, die selbst wiederum aus kleineren Subsystemen sich zusammensetzen, ist Standardsicht auf die technischen Systeme.

Wenn allerdings diese festen Beziehungen durch zunehmende Eigenaktivitäten einzelner Objekte und speziell durch die Aktivitäten programmierter und mobiler Zeichenobjekte in Bewegung geraten, wandeln sich die eingekapselten Systeme von Maschinen in offene Systeme mit intern interagierenden Teilsystemen. Dann wandeln sich fest gefügte Ablaufsysteme in lose gekoppelte Netzwerke verschiedener fest gekoppelter Teilsysteme, mit Puffern und auf dynamische Umwelten variabel re-aktiven Möglichkeiten.<sup>36</sup> Je mehr Objekte, je mehr Dimensionen der Objektaktivität und je mehr unterschiedliche Arten von Objekten und deren Beziehungen ins Spiel kommen, desto eher

<sup>35</sup> Rammert/Schulz-Schaeffer 2003, S. 48 ff.

<sup>36</sup> Vgl. aus organisations- und risikosozilogischer Perspektive auch Mayntz/Hughes 1988; Perrow 1987.

bietet es sich an, das Einzel- und das Gesamtverhalten von technischen Objekten und Systemen mit dem Vokabular von Aktion und Interaktion zu beschreiben. Instrumentelle Funktion und festes Gefüge können nicht mehr die Binnenkomplexität differenziert genug erfassen.

Wenn die technischen Objekte an Eigenaktivität gewinnen, erwachsen daraus auch veränderte Anforderungen an die Schnittstellen, vor allem an die zwischen Menschen und Technik. Bei der Handhabung von Werkzeugen, aber auch noch bei der Führung von Maschinen kann man von instrumenteller Nutzung sprechen. In der Gestalt des Griffes oder im Design der Hebel und Kurbeln zeigt sich der zweckgemäße Zugriff auf das technische Mittel. Wenn Maschinen und Anlagen für vorgesehene Abläufe eingerichtet werden, wenn Steuerungscomputer selbst variabel programmiert werden und wenn Zeichenobjekte, wie Suchagentenprogramme, aktiv werden und relativ selbständig in Dateien recherchieren, dann wandelt sich die direkte instrumentelle Nutzungsbeziehung in eine vermittelte instruktiv-auslösende Beziehung um. Treten die technischen Systeme an den Schnittstellen mit dem Nutzer in den Dialog, fordern ihn oder sie zu Eingaben auf oder bieten sie von sich aus Hilfe an und werden die Objekte als Agenten aktiv, dann entwickelt sich die Schnittstelle zu einer interaktiv-kommunikativen Beziehung, die an Zeichen, Gesten und Medien der zwischenmenschlichen Interaktion anschließt: Schreiben und Lesen, Sprechen und Hören, Zeigen und Folgen, Berühren und Auslösen in zweckmäßigen symbolischen Rahmungen und Ikonographien bilden die Aktivitäten zwischen den beiden Seiten. Je höher das Eigenaktivitätsniveau der technischen Elemente ansteigt, desto mehr verschiebt sich die Beziehung zwischen Menschen und Wirk- oder Zeichenobjekten von der Instrumentalität hin zur Interaktivität. Mit Interaktivität soll jene besondere Form der Beziehung zwischen Mensch und Technik bezeichnet werden, bei der erst durch eine Wechselseitigkeit der Aktivitäten ein Prozess ausgelöst und noch im Verlauf auch näher beeinflusst werden kann.

Diese mediale Vermitteltheit der Steuerung lässt auch zu, dass die Schnittstelle nicht mehr an den Arbeitsplatz an der Maschine oder an den Standort der Anlage oder des Archivs gebunden ist, sondern von allen Orten aus über verschiedene Medien Zugang und Zugriff zur Nutzung der Funktionalitäten von Produktions-, Bestell-, Informations- und Kommunikationssystemen hat. Hierin liegen die oben angesprochenen neuen Möglichkeiten von der Lokalität hin zur Ubiquität der Techniknutzung. Außerdem zeichnet sich angesichts der Vermehrung der Gestaltungsmöglichkeiten eine zunehmende Performativität und gewisse Abkoppelung der Schnittstelle von den technischen Systemen ab, wobei sie zunehmend eine Eigenlogik der Entwicklung entfaltet und eine Aufwertung in Forschung und Ausbildung erfährt.

### 3.3 VERTEILTE AKTIVITÄTEN IN SOZIOTECHNISCHEN KONSTELLATIONEN

Der Gegenstand der technischen Gestaltung wird sich in zwei Richtungen verändern: Er wird erstens an Größe und Komplexität gewinnen. Er wird zweitens an Varietät und Heterogenität der beteiligten Instanzen zunehmen.

Schon lange geht es beim PKW nicht mehr nur um Motor und Mechanik, sondern als Fahrzeugsystem umfasst es schon mechanische, hydraulische, elektrische und elektronische Systeme, die gegenwärtig mit Schnittstellen zu Informations- und Kommunikationssystemen ausgestattet werden. Es hat sich angesichts der Vermehrung und der Veränderung der Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine, bei denen die Instruktionen nicht mehr nur direkt, sondern durch Rechensysteme vermittelt oder gar selbsttätig korrigiert werden und eine Beziehung der Interaktivität herstellen, die erweiterte Sicht auf ein Fahrer-Fahrzeug-System durchgesetzt. Je mehr durch Funkkontakte, Relais und Verkehrssteuerungssysteme zwischen Fahrer, Fahrzeug und technischen Infrastrukturen Interaktionen stattfinden, desto eher scheint die Fahrer-Fahrzeug-Umwelt als große Systemperspektive angemessen zu sein. Schließt man auch noch die anderen Systeme der Mobilität, das Mobilitätsverhalten der Menschen und die Programme der Verkehrsgestaltung mit ein, gewinnen wir einen hoch abstrakten Blick auf die soziotechnische Konstellation des Verkehrs mit ihren Interaktivitäten zwischen Menschen und Objekten und mit ihren Interdependenzen zwischen den verschiedenen Installationen und Institutionen des Verkehrssystems.<sup>37</sup>

Das technische Wissen wird weiterhin in bewährter Weise auf die Gestaltung und Optimierung von Maschinen, Apparaturen und Anlagen angewandt werden. Es wird ebenfalls auf die Gestaltung der Steuerung, Programme und Architekturen intelligenter Software-Systeme hin erweitert werden. Und es wird auch weiterhin auf die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstellen übertragen werden. Aber es reicht angesichts der Unterschiede von Wirkobjekten („hardware“), Zeichenobjekten („software“) und menschlichen Akteuren („humans“) nicht mehr aus, das technische Wissen des „mechanical“, „electrical“, „software“ und „human engineering“ modularartig zu aggregieren. Mit steigender Komplexität wächst auch das Erfordernis eines „system engineering“, das sich mit der interaktiven Koppelung der verschiedenen Teile und Ebenen befasst.

Aus der Perspektive der Pragmatik käme daher die übergreifende Frage hinzu: Wie verteilen wir die Aktivitäten auf die verschiedenen Agenturen von Mensch, Maschine und Programm, um eine effiziente, umweltschonende und sichere Mobilität zu gewährleisten? Daraus ergeben sich dann detailliertere Fragen, z.B. wieviel Anteil am Abstandhalten oder Abbremsen des Fahrzeugs dem Fahrer, dem Tempomaten oder einem in der Umwelt über Sensoren und Videokameras gesteuerten Verkehrslenkungssystem überlassen werden soll? Oder wie die Transparenz für den einzelnen Nutzer, die Kontrolle zentraler Beobachtung über einzelne Nutzer, die Interventionsmöglichkeiten in das Fahrzeugverhalten und in das System an den Schnittstellen wie zu gestalten sind? Aus der Perspektive der

<sup>37</sup> Zur verteilten Intelligenz im Verkehrssystem vgl. Rammert 2002.

Pragmatik kämen die Aktivitäten und ihre Verteilung differenzierter in den Blick. Der blinde Trend zu mehr Automation komplexer Systeme und zur Verringerung menschlicher Intervention, wie er reflexartig nach Unfällen<sup>38</sup> und bei Komplexitätssteigerungen technischer Systeme fortgesetzt wird, könnte durch eine ausgewogenere Haltung korrigiert werden, in der nach den jeweiligen Anteilen an Handlungsträgerschaft gefragt und je nach Besonderheit der Situation oder der Funktion des Leistungssystems diese zwischen Intervention und Automation jeweils ausbalanciert wird.

Die Vorzüge und Nachteile der jeweiligen Agenturen könnten optimaler eingeschätzt und für die Gestaltung der Konstellation eingesetzt werden. Menschliche Fehleranfälligkeit ist zugleich mit hoher Flexibilität bei dynamischen und undurchsichtigen Situationen gepaart. Auf der Festigkeit und Berechenbarkeit von Sachsystemen beruht einerseits ihre Sicherheit und Effizienz, und andererseits ist sie gleichzeitig die Quelle für Katastrophen bei unerwarteten Abweichungen oder Interferenzen. Zeichensysteme eignen sich wiederum hervorragend für ein fast kostenloses Konstruieren und Durchspielen von verschiedenen Objekt-design- und ganzer Fertigungssystemvarianten, ebenso für das Simulieren komplexer Zusammenhänge; aber sie sind blind für die Widerständigkeit der Umwelt oder den Verschleiß physikalischer Sachsysteme und auch für die zweckwidrigen Manipulationen nicht legitimer Arbeitgeber und krimineller Nutzer. Um diese erweiterte Perspektive auf technisches Handeln und Wissen nicht nur zu erkennen, sondern um praktische Antworten auf die gestellten Fragen zu finden, bedarf es des konstruktiven Tuns, des Verwebens technischer, ökologischer und gesellschaftlicher Fakten. Das heißt, dass die vorhandenen Kompetenzen aus den entsprechenden Disziplinen zusammengeführt werden müssen, und zwar nicht nur in der Theorie, sondern auch und vor allem in der Praxis durch tätiges Ausprobieren und Vermengen der unterschiedlichen Methoden, Werkzeuge und Erkenntnisse und durch das Entwickeln einer gemeinsamen Sprache sowie durch das Ko-Konstruieren von Lösungen, die in der Gesellschaft funktionieren.

#### 4 ZUR PRAGMATIK TECHNISCHEN KÖNNENS

Die pragmatistische Perspektive hat gezeigt, dass die Bewältigung der Probleme der Heterogenität und der Komplexität zu einem kontinuierlichen Tun zwingt. Die Einkapselung und die technische Fixierung von Abläufen funktioniert nur noch eingeschränkt. Denn die Technik in Aktion bedeutet – so hatten wir aufgezeigt –, dass die technischen Objekte mehr Eigenaktivität zeigen. Dadurch verändern sich nicht nur die Objekte selbst, sondern auch ihre Beziehungen untereinander und ihre Beziehungen zu den Menschen an den Schnittstellen. Die Komplexität der technischen Systeme, die den Gegenstand der Technikwissenschaften ausmachen, wächst: Es geht nicht mehr nur um den Bau von Maschinen und Gebäuden, sondern um die Konstruktion und Planung von Großanlagen, von Verfahrensabläufen und von Stadtteilen. Die zukünftigen Technikwissenschaften werden ein stärkeres Gewicht auf das Verfahrens- und Systemengineering legen müssen.

<sup>38</sup> Für den Flugverkehr siehe Potthast 2006.

Wenn der Gegenstand technischen Handelns mehr als nur räumlich, zeitlich und sachlich fixierte Objekte, sondern zunehmend auch mobile, eigenaktive und interaktive Objekte sind, dann verlangt diese Aktivierung der Techniken ein verändertes Verständnis von Systemen. Ihre Selbstveränderungsfähigkeit und ihre Veränderung durch Interaktivitäten an den Schnittstellen sind in die Modellierung mit einzubeziehen. Sie gewinnen den Charakter von soziotechnischen Systemen, die andere Erfordernisse an die Steuerung und an das Management dieser komplexen Systeme stellen. Die zukünftigen Technikwissenschaften werden sich dann mit dem logistischen und sozialwissenschaftlichem Wissen zum Management komplexer Systeme<sup>39</sup> und zur Governance gemischter Systeme anreichern müssen, um die technischen, rechtlichen, ökonomischen und kulturellen Aspekte angemessen balancieren zu können.

Wenn es nicht mehr nur um die wirksame Gestaltung der sachlichen Wirkobjekte und das optimierende Design ihres Zusammenwirkens geht, sondern auch um diejenige der Zeichenobjekte von Agentenprogrammen bis hin zur Architektur verteilter intelligenter Systeme, dann ergeben sich ganz neue gemischte Konstellationen, in denen die Aktivitäten der verschiedenen sachlichen, zeichenhaften und menschlichen Agenten nicht einfach nur zusammenwirken, sondern sich wechselseitig über Interaktivitätsbeziehungen beeinflussen. Die angemessene Bewältigung dieser Heterogenität der soziotechnischen Konstellationen erfordert von den Technikwissenschaften einen erweiterten Begriff des soziotechnischen Gestaltens und eine Kompetenz zur reflexiven Gestaltung, bei der die Verteilung der Aktivitäten und auch die zu erwartenden Interaktivitäten schon in die Prozesse des Entwerfens und Erprobens hineingenommen werden, statt nachträglich durch Ergonomie, Technikfolgenabschätzung oder Marketing nachgebessert zu werden. Das technische Wissen muss, wenn es denn angemessen als experimentelles Handlungswissen begriffen wird, sich mit psychologischem, ästhetischem und soziologischem Wissen anreichern, um speziell fit für die interaktive Schnittstellengestaltung zu werden. Nutzenfunktion, Nutzbarkeit, akzeptiertes Nutzerverhalten und Nutzungsfreude sind schon im Technikentwicklungsprozess und im iterativen Techniktesten miteinander zu verknüpfen.<sup>40</sup>

Schließen wir am Ende den Kreis! Wir hatten damit begonnen die Technik unter dem Gesichtspunkt des Machens zu betrachten. Unter der Perspektive der Pragmatik haben wir sie als ‚Technikakte‘ bestimmt, die zugleich Konstellationen der Wirksamkeit herstellen und Sinn stiften. Dann hatten wir aus dieser Perspektive umgekehrt die technischen Instrumente als Objekte gekennzeichnet, die zunehmend pro-aktiv werden und in Interaktivität mit den Nutzern treten. Je mehr die Objekte aktiv am Bewirken angestrebter Handlungen mitmachen und je mehr die Nutzer mit ihnen in ein Interaktivitätsverhältnis treten, desto stärker kommen die wirksamen soziotechnischen Konstellationen durch das Zusammenspiel zustande. Es könnte sich in der Zukunft abzeichnen,

<sup>39</sup> Siehe Weyer/Schulz-Schaeffer 2009 und die Beiträge in Dolata/Werle 2007.

<sup>40</sup> Vgl. u.a. Rammert et al. 1998 und Hahne et al. 2006.

dass die neuen Techniken erst durch das Zusammenspiel der Technikakte der Hersteller und der Technikakte der Nutzer zum Funktionieren gebracht werden, wie es sich jetzt schon manchmal in den Nischen offener Foren im Internet zeigt. So wie die Musikindustrie, die Filmwirtschaft und derzeit die Presse sich gegenwärtig neu rekonfigurieren, so könnte sich auch das Entwerfen und Entwickeln technischer Systeme erneuern. Egal an welchen Orten sie zukünftig stattfindet, die Pragmatik technischen Handelns und die Eigenaktivität technischer Objekte werden von besonderer Bedeutung sein. Mit der pragmatistischen Perspektive sind wir gut gerüstet, den herstellenden und verwendenden Umgang mit den Techniken zu beobachten und auch praktisch zu begleiten.

## LITERATUR

### **Austin 1975**

Austin, J. L.: Zur Theorie der Sprechakte. How to do things with Words, Stuttgart: Reclam, 1975 (1962).

### **Banse et al. 2006**

Banse, G. et al.: Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften, Berlin: edition sigma, 2006.

### **Berger/Luckmann 1969**

Berger, P./Luckmann, T.: Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit, Frankfurt a. M.: Fischer, 1969.

### **Böhle 2003**

Böhle, F.: Wissenschaft und Erfahrungswissen – Erscheinungsformen, Voraussetzungen und Folgen einer Pluralisierung des Wissens. In: Bösch, S./Schulz-Schaeffer, I. (Hrsg.): Wissenschaft in der Wissensgesellschaft, Wiesbaden: Westdeutscher Verlag, 2003, S. 143-177.

### **Bunge 1966**

Bunge, M.: Technology As Applied Science. In: Technology and Culture, 7 (1966), S. 329-347.

**Christaller/Wehner 2003**

Christaller, T./Wehner, J. (Hrsg.): Autonome Maschinen, Wiesbaden: Westdeutscher Verlag 2003.

**Dewey 1995**

Dewey, J.: Erfahrung und Natur, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1995 <1925>.

**Dewey 1998**

Dewey, J.: Die Suche nach Gewissheit, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1998 <1929>.

**Dewey 2002**

Dewey, J.: Die Theorie der Forschung, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 2002 <1938>.

**Dolata/Werle 2007**

Dolata, U./Werle, R. (Hrsg.): Gesellschaft und die Macht der Technik: sozioökonomischer und institutioneller Wandel durch Technisierung, Frankfurt a. M.: Campus-Verlag, 2007.

**Fleisch/Mattern 2005**

Fleisch, E./Mattern, F. (Hrsg.): Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis, Heidelberg: Springer, 2005.

**Greenfield 2006**

Greenfield, A.: Everyware. The dawning age of ubiquitous computing, Berkeley: New Riders, 2006.

**Grunwald 2006**

Grunwald, A.: Technisches Handeln. In: Banse, G. et al. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften, Berlin: Ed. Sigma, 2006, S. 57-70.

**Herzog/Schildhauer 2009**

Herzog, O./Schildhauer, T. (Hrsg.): Intelligente Objekte. Technische Gestaltung – Wirtschaftliche Verwertung – Gesellschaftliche Wirkung, Heidelberg: Springer, 2009 (acatech)

**Hahne et al. 2006**

Hahne, M. et al.: Going Data in Interaktivitätsexperimenten. Neue Methoden zur Analyse der Interaktivität zwischen Mensch und Maschine. In: Rammert, W./Schubert, C. (Hrsg.): Technografie. Zur Mikrosoziologie der Technik, Frankfurt a. M.: Campus 2006, S. 275-309.

**Hickman 1990**

Hickman, L.: John Dewey's Pragmatic Technology, Bloomington: Indiana University Press, 1990.

**Hubig 2006**

Hubig, C.: Die Kunst des Möglichen I. Technikphilosophie als Reflexion von Medialität, Bielefeld: transcript, 2006.

**Joas 1989**

Joas, H.: Praktische Intersubjektivität, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1989.

**Kant 1998**

Kant, I.: Anthropologie in pragmatischer Hinsicht, Stuttgart: Reclam, 1998 <1789>.

**Kleist 1996**

Kleist, H. v.: Über die allmähliche Verfertigung der Gedanken beim reden. In: Erzählungen. Kleine Schriften und journalistische Arbeiten. Werke 3, Köln: Könnemann, 1996, S. 310-316.

**König 1995**

König, W.: Technikwissenschaften. Die Entstehung der Elektrotechnik aus Industrie und Wissenschaft zwischen 1880 und 1914, Chur: G + B Fakultas, 1995.

**König 2006**

König, W.: Geschichte der Technikwissenschaften. In: Banse, G. et al. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften, Berlin: edition sigma, 2006, S. 24-37.

**Kornwachs 2006**

Kornwachs, K.: Technisches Wissen. In: Banse, G. et al. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften, Berlin: edition sigma, 2006, S. 71-84.

**Kündig/Bütschli 2008**

Kündig, A./Bütschli, D. (Hrsg.): Die Verselbständigung des Computers, Zürich: vdf-Verlag, 2008 (TA-SWISS).

**Malsch 1998**

Malsch, T. (Hrsg.): Sozionik. Soziologische Ansichten über künstliche Sozialität, Berlin: edition sigma, 1998.

**Mayntz/Hughes 1998**

Mayntz, R./Hughes, T. P. (Hrsg.): The Development of Large Technical Systems, Frankfurt a. M. und Bolder: Campus und Westview Press, 1998.

**Mead 1968**

Mead, G. H.: Geist, Identität und Gesellschaft, Frankfurt a. M.: Suhrkamp 1968 <1934>.

**Peirce 1970**

Peirce, C. S.: „How To Make Our Ideas Clear“ und „What Pragmatism is“. In: Pragmatism. The Classic Writings, edited by H. S. Thayer, New York: Mentor Book, 1970 <1907>.

**Perrow 1987**

Perrow, C.: Normale Katastrophen. Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik, Frankfurt a. M.: Campus, 1987.

**Poser 2003**

Poser, H.: Entwerfen als Lebensform. Elemente technischer Modalität. In: Kornwachs, K. (Hrsg.): Technik – System – Verantwortung, Münster: LIT, 2003, S. 561-575.

**Potthast 2006**

Potthast, J.: Ursachenforschung und Schuldzuweisung nach dem Absturz der Swissair 111. In: Rammert, W./ Schubert, C. (Hrsg.): Technografie. Zur Mikrosoziologie der Technik, Frankfurt a. M.: Campus 2006, S. 341-368.

**Rammert 1998**

Rammert, W.: Giddens oder die Gesellschaft der Heizelmännchen. Zur Soziologie technischer Agenten und Verteilter Künstlicher Intelligenz. In: Malsch, T. (Hrsg.): Sozionik, Berlin: edition sigma, 1998, S. 91-128.

**Rammert 2002**

Rammert, W.: Verteilte Intelligenz im Verkehrssystem. Interaktivitäten zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002), S. 404-408.

**Rammert 2006**

Rammert, W.: Technik in Aktion: Verteiltes Handeln in soziotechnischen Konstellationen. In: Rammert, W./ Schubert, C. (Hrsg.): Technografie. Zur Mikrosoziologie der Technik, Frankfurt a. M.: Campus, 2006, S. 163-195.

**Rammert 2007**

Rammert, W.: Technik – Handeln – Wissen. Zu einer pragmatistischen Technik- und Sozialtheorie, Wiesbaden: VS –Verlag Sozialwissenschaften, 2007.

**Rammert 2008a**

Rammert, W.: Technographie trifft Theorie. Forschungsperspektiven einer Soziologie der Technik. In: Kalthoff, H. et al. (Hrsg.): Theoretische Empirie. Zur Relevanz qualitativer Forschung, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 2008, S. 341-367.

**Rammert 2008b**

Rammert, W.: Where the action is: Distributed Agency between Humans, Machines, and Programs. In: Seifert, U. et al. (Hrsg.): Paradoxes of Interactivity. Perspectives for Media Theory, Human-Computer-Interaction, and Artistic Investigations, Bielefeld: transcript, 2008, S. 62-91.

**Rammert et al. 1998**

Rammert, W. et al.: Wissensmaschinen. Soziale Konstruktion eines technischen Mediums: Das Beispiel Expertensysteme, Frankfurt a. M.: Campus, 1998.

**Rammert/Schulz-Schaeffer 2003**

Rammert, W./Schulz-Schaeffer, I.: Technik und Handeln. Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt. In: Ders. (Hrsg.): Können Maschinen handeln? Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik, Frankfurt a. M.: Campus, 2003, S. 11-64.

**Ropohl 2006**

Ropohl, G.: Der Begriff „Technik“ und Der „Gegenstand“ Technik. In: Banse, G. et al. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften, Berlin: edition sigma, 2006, S. 44-57

**Rorty 1994**

Rorty, R.: Hoffnung statt Erkenntnis. Eine Einführung in die pragmatistische Philosophie, Wien: Passagen, 1994.

**Schulz-Schaeffer 1998**

Schulz-Schaeffer, I.: Akteure, Aktanten und Agenten. Konstruktive und rekonstruktive Bemühungen um die Handlungsfähigkeit von Technik. In: Malsch, T. (Hrsg.): Sozionik. Soziologische Ansichten über künstliche Sozialität, Berlin: edition sigma, 1998, S. 129-167.

**Schulz-Schaeffer 2000**

Schulz-Schaeffer, I.: Sozialtheorie der Technik, Frankfurt a. M.: Campus, 2000.

**Seliger 2007**

Seliger, G.: „Aufbruch zu nachhaltiger Produktionstechnik“. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 102 (2007), Nr. 4, S. 180-181.

**Simmel 1983**

Simmel, G.: Die Arbeitsteilung als Ursache für das Auseinandertreten der subjektiven und objektiven Kultur <1900>. Schriften zur Soziologie, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1983, S. 95-128.

**Suchman 2007**

Suchman, L. A.: Human-Machine-Reconfigurations. Plans and Situated Actions, Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

**Star 1989**

Star, S. L.: The Structure of Ill-Structured Solutions: Boundary Objects and Heterogeneous Distributed Problem Solving. In: Huhns, M./Gasser, L. (Hrsg.): Distributed Artificial Intelligence, Vol. 2, London: Pitman, 1989, S. 37-54.

**Wengenroth 2006**

Wengenroth, U.: Intuitiv-heuristische Methoden. In: Banse, G. et al. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften, Berlin: edition sigma, 2006, S. 13-144.

**Wengenroth 2009**

Wengenroth, U.: Die reflexive Modernisierung des Wissens (unveröffentlichtes Manuskript.)

**Wengenroth/Heymann 2001**

Wengenroth, U./Heymann, M.: Die Bedeutung von „tacit knowledge“ bei der Gestaltung von Technik. In: Beck, U./Bonß, W. (Hrsg.): Die Modernisierung der Moderne, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 2001, S. 106-121.

**Weyer/Schulz-Schaeffer 2009**

Weyer, J./Schulz-Schaeffer, I. (Hrsg.): Das Management komplexer Systeme, München: Oldenbourg Verlag, 2009.

**Winner 1980**

Winner, L.: Do Artifacts Have Politics? In: Daedalus 109 (1980), S. 121-136.

**Wooldridge/Jennings 1995**

Wooldridge, M./Jennings, N. (Hrsg.): Intelligent Agents: Theory and Practice. In: The Knowledge Engineering Review 10 (1995), Nr. 2, S. 115-152.



**TEIL 2: TECHNIKWISSENSCHAFTLICHES  
WISSEN. GESTALTUNG, PROBLEME UND  
METHODEN**



# > WERTE, WISSEN UND WISSENSINTEGRATION IN DEN TECHNIKWISSENSCHAFTEN. SYSTEMATISCHE UND HISTORISCHE BETRACHTUNGEN

WOLFGANG KÖNIG

## 1 EINLEITUNG

Wie es die Überschrift bereits ankündigt, gliedert sich mein Beitrag in zwei Teile. In dem ersten systematischen Teil frage ich nach den Spezifika der Technikwissenschaften.<sup>1</sup> Dabei sehe ich den entscheidenden Unterschied gegenüber den Geistes- und den Naturwissenschaften in der Zielorientierung der Technikwissenschaften. Darüber hinaus verarbeiten die Technikwissenschaften aus sehr unterschiedlichen Quellen stammendes Wissen, dem wiederum verschiedene Wertorientierungen zugrunde liegen. Die durch die Technikwissenschaften bei ihren Modellbildungen geleistete Wissensintegration stellt damit gleichzeitig eine Wertintegration dar. Ich verzichte darauf, den Modellbegriff systematisch zu entfalten. Zumindest soll jedoch gesagt werden, dass der Begriff Modelle ausgesprochen weit verstanden wird und technikwissenschaftliche Generalisierungen aller Art umfasst, das heißt Formeln, qualitative Vorstellungen, Konstruktionsregeln, gegenständliche Prinziplösungen, Prototypen usw.

Im zweiten empirischen Teil konkretisiere ich die Ausführungen über Werte, Wissen und Wissensintegration in den Technikwissenschaften an einem historischen Fallbeispiel: den Drahtseilberechnungen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Den technischen Kontext bildet hierbei die Konstruktion von Luftseilbahnen für die Beförderung von Material und Personen.

## 2 SPEZIFIKA DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN

Wissenschaften lassen sich durch ihren Gegenstand, ihre Ziele, ihre Methoden und durch die Art und Weise ihrer Institutionalisierung charakterisieren. Besonders augenscheinlich unterscheiden sich die Technikwissenschaften von anderen Wissenschaften und Wissenschaftsgruppen durch ihre Ziele.<sup>2</sup> Ihnen geht es nicht nur um Welterkenntnis, sondern auch um Weltgestaltung, also um eine in einem weiteren Sinn soziale Zielsetzung. Den aus dieser spezifischen Zielstellung entstehenden theoretischen Fragen ist bislang wenig nachgegangen worden. So hat sich die traditionelle Wissenschaftstheorie unter dem Begriffspaar „Verstehen und Erklären“ vorwiegend mit den Geisteswissenschaften und den Naturwissenschaften beschäftigt. Gemäß gängiger Interpretationen bemühen

---

<sup>1</sup> Dieser Teil rekurriert auf die von mir verfassten Teile in Banse et al. 2006.

<sup>2</sup> Müller 1990; König 1995, S. 324ff.

sich die Geisteswissenschaften um das Verständnis und die Deutung der Ergebnisse geistigen Schaffens mit einem Schwerpunkt auf Texten. Die Naturwissenschaften erklären die ungestaltete sowie die vom Menschen gestaltete Natur, indem sie die zu Grunde liegenden Gesetzmäßigkeiten herausarbeiten.

Elemente geistes- wie naturwissenschaftlicher Zielsetzungen lassen sich auch in den Technikwissenschaften finden. Technische Produkte und Prozesse unterliegen den gleichen Naturgesetzmäßigkeiten wie naturale Objekte. Tatsächlich werden sie von Technikwissenschaftlern hinsichtlich ihrer naturalen Dimensionen und mit naturwissenschaftsnahen Methoden untersucht. Und technische Produkte und Prozesse lassen sich als Texte lesen, in welche die Ziele und Werte ihrer Produzenten gleichsam eingeschrieben sind. Bei Verbesserungsinnovationen und Variantenkonstruktionen tun Technikwissenschaftler deshalb gut daran, sich des Entstehungszusammenhangs der jeweiligen Technik zu vergewissern.

Die Technikwissenschaften gehen jedoch über das Ziel des Erkennens der vorhandenen Technik hinaus; ihnen geht es um die Gestaltung des Neuen. Sie suchen nach gegenständlichen Mitteln, um gesellschaftliche Ziele umzusetzen. Sie arbeiten technische Möglichkeiten aus und empfehlen deren Überführung in technisch-gesellschaftliche Praxis. Zur Charakterisierung dieser Ziel-, Zweck-, Zukunfts- und Handlungsorientierung der Wissenschaftsgruppe Technikwissenschaften sind eine ganze Reihe von Begriffen vorgeschlagen worden. Da ist die Rede von finalen, intentionalen, teleologischen Wissenschaften, von strategischen, präskriptiven, pragmatischen, praxisorientierten Wissenschaften, von Möglichkeits-, Gestaltungs- und Handlungswissenschaften.

Mit den genannten Begriffen lassen sich nicht nur die Technikwissenschaften kennzeichnen, sondern auch andere. Diese bilden gemeinsam mit den Technikwissenschaften eine dritte große Wissenschaftsgruppe neben den Naturwissenschaften und den Geisteswissenschaften.<sup>3</sup>

Bild 1: Ein System der Wissenschaften

GEISTESWISSENSCHAFTEN	HANDLUNGSWISSENSCHAFTEN	NATURWISSENSCHAFTEN
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geschichte</li> <li>- Literatur</li> <li>- Philosophie</li> <li>- usw.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sozialwissenschaften</li> <li>- Technikwissenschaften</li> <li>- Medizin</li> <li>- usw.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Physik</li> <li>- Chemie</li> <li>- Biologie</li> <li>- usw.</li> </ul>

Als Mitglieder dieser dritten Wissenschaftsgruppe werden u.a. angeführt: die Medizin, die Pharmazie, die Umweltwissenschaften, die Agrarwissenschaften, die Sozialwissenschaften, die Wirtschaftswissenschaften, die Rechtswissenschaften. Über die jeweiligen

<sup>3</sup> Vgl. Simon 1996.

Zuordnungen ließe sich natürlich streiten. Strukturelle Ähnlichkeiten zu den Technikwissenschaften sollen hier am Beispiel der Medizin angedeutet werden. Die Medizin orientiert sich am gesellschaftlichen Ziel der Gesundheit. Sie greift sowohl auf wissenschaftliche Erkenntnisse aus verschiedenen Disziplinen zurück wie auf praktisches Erfahrungswissen. Und sie besitzt wie die Technik einen Doppelcharakter als wissenschaftliche Disziplin und ärztliche Kunst.

Der Nachteil der hier vorgestellten Wissenschaftsklassifikation besteht darin, dass sie einen Kategorienwechsel beinhaltet. Die Klassen „Geisteswissenschaften“ und „Naturwissenschaften“ werden mit Blick auf den Gegenstand der Wissenschaftsgruppen konstituiert, die Klasse „Handlungswissenschaften“ mit Blick auf die Ziele. Konzentriert man sich auf eine Kategorie, die Ziele der Wissenschaften, dann lassen sich alle Wissenschaften auf einem Kontinuum zwischen dem Ziel des Erkennens und dem Ziel des Gestaltens situieren.

Bild 2: Die großen Wissenschaftsgruppen zwischen den Zielen Erkennen und Gestalten.



Dabei befinden sich die Technikwissenschaften näher an dem Ziel des Gestaltens, die Natur- und der Geisteswissenschaften näher am Ziel des Erkennens.

Die Ziele der Technikwissenschaften lassen sich analytisch unterteilen in praktische, kognitive und soziale.

Bild 3: Ziele der Technikwissenschaften



Die Grenzen zwischen den drei Zielkomplexen sind fließend, und sie sind eng aufeinander bezogen. Dabei wird als praktisches Ziel der Beitrag der Technikwissenschaften zur Gestaltung der technischen Praxis verstanden. Das kognitive Ziel besteht in der Produktion und Überprüfung technikwissenschaftlichen Wissens. Das soziale Ziel – im engeren Sinn – bezieht sich auf die Institutionalisierung der Technikwissenschaften als aus Einzeldisziplinen bestehende Wissenschaftsgruppe. Wie alle Wissenschaften streben auch die technikwissenschaftlichen Disziplinen nach institutioneller Festigung, Erhaltung und Expansion.

Es entspricht dem Selbst- und dem Fremdverständnis der Technikwissenschaften, dass sie an der Gestaltung der technischen Praxis mitwirken. Ihre Institutionalisierung in der Zeit der frühen Industrialisierung erfolgte mit dem Auftrag, die technisch-gewerbliche Entwicklung voranzutreiben. Der Begriff der „Verwissenschaftlichung der Technik“<sup>4</sup> besagt, dass ihr Stellenwert für die Technikentwicklung bis zur Gegenwart immer wichtiger geworden ist. Dessen ungeachtet gibt es in der Technikentwicklung eine Arbeitsteilung zwischen Wissenschaft und Praxis bzw. zwischen Hochschule und Industrie. In der Regel entsteht an wissenschaftlichen Hochschulen keine marktfähige Technik. Und in den Ausnahmefällen agieren die Beteiligten aus der Wissenschaft und der Hochschule als Techniker und nicht als Technikwissenschaftler.

Vielmehr wird in den Technikwissenschaften Wissen erzeugt, das zur Anwendung fähig und zur Anwendung bestimmt ist. Selbst wenn dieses Wissen die Gestalt gegenständlicher Prinziplösungen oder Prototypen annimmt, bedürfen diese der weiteren Entwicklung und Ausarbeitung, um praktisch eingesetzt zu werden. Darüber hinaus erzeugen die Technikwissenschaften gewissermaßen Wissen auf Vorrat. Es ist zwar mit Blick auf spätere Anwendungen gewonnen, aber nicht zur unmittelbaren Verwendung bestimmt. Es ließe sich auch von einer virtuellen Gestaltung durch die Technikwissenschaften sprechen. Die Technikwissenschaften erzeugen keine fertige Technik, sondern machbare und mögliche Techniken.

Die virtuelle Gestaltung in den Technikwissenschaften zielt auf technische, Mensch-Maschine und auf soziotechnische Systeme. Die Praxistauglichkeit dieser Gestaltungsempfehlungen wird durch eine Reihe von Rückkopplungen zwischen der technischen Praxis und den Technikwissenschaften gesichert. In der Regel gehen technikwissenschaftliche Arbeiten vom Stand der Technik und der Wissenschaft aus. Das heißt, sie rezipieren das in der Praxis Bewährte und das von anderen Wissenschaftlern ebenfalls mit Blick auf die Praxis Entworfenene. Innovative Forschungen werden derart an praxisorientierte Wissensbestände angeschlossen. Des Weiteren legen die Hochschulen bei der Berufung von Ingenieurprofessoren auf Praxiserfahrung Wert. Diese bringen aus der Industrie zum einen konkrete Forschungsfragen mit, zum anderen eine Sensibilisierung für die Kriterien praktischer Brauchbarkeit. Darüber hinaus erfordern Auftragsforschungen und Kooperationsprojekte von Industrie und Hochschule einen ständigen Abgleich der Forschungs- und Entwicklungsziele.

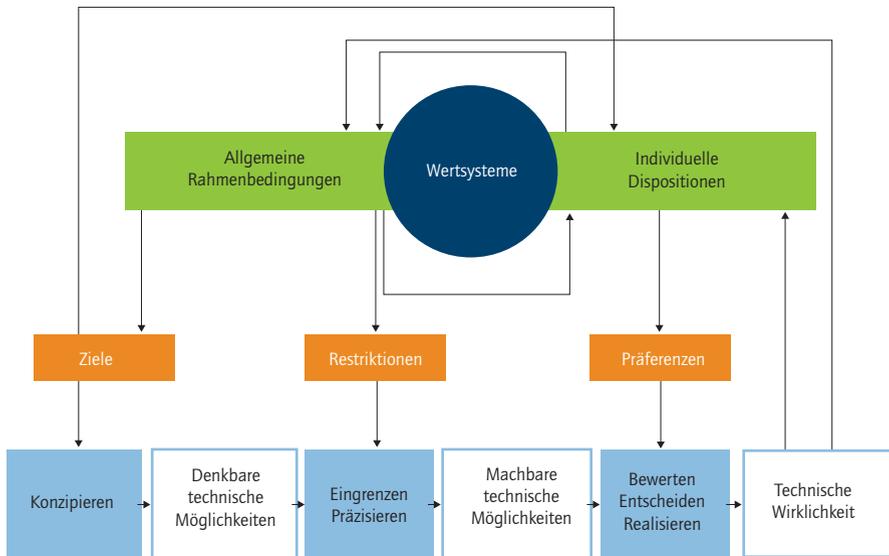
---

<sup>4</sup> Vgl. König 1995, 298-303.

Hiermit ist bereits angedeutet, dass die Technikwissenschaften ihre Ziele in größerem Maß als andere Wissenschaften nicht eigenmächtig formulieren, sondern bereits vorfinden bzw. von außen angetragen bekommen. Einerseits sind Ziele in die existierende Technik, den Ausgangspunkt von Verbesserungsinnovationen, „eingeschrieben“. Andererseits erfolgen Forschungsarbeiten mit Blick auf mögliche Entwicklungsziele. Die derart in der Technik zusammenwirkenden älteren, aktuellen und zukünftigen Zielstellungen stammen aus verschiedenen Bereichen der Gesellschaft. Den größten direkten Einfluss auf technische Forschung und Entwicklung dürften in Wirtschaft und Staat formulierte Ziele besitzen.

Die Technikwissenschaftler sind Adressaten gesellschaftlicher Zielstellungen und gleichzeitig an der Formulierung der Ziele für die Technik beteiligt. Wissenschaftliche Arbeiten erfolgen nie voraussetzungslos, sondern gehen von vorgefundenen technischen Kenntnissen und Realisierungen aus, welche frühere Zielzuschreibungen enthalten. Mit ihren aktuellen Arbeiten stellen Technikwissenschaftler einen Anschluss an solche Ziele her – sei es bewusst oder unbewusst –; sie akzeptieren die in der Technik vorhandenen Ziele, verwerfen, ergänzen oder modifizieren sie. Darüber hinaus stehen sie häufig vor der Aufgabe, neue gesellschaftliche Ziele und Werte oder Umgewichtungen im bestehenden Ziel- und Wertsystem technisch umzusetzen. So hat beispielsweise die um 1970 erfolgte gesellschaftliche Aufwertung der Umweltqualität die Technikwissenschaften vor eine Fülle neuer Aufgaben gestellt. In die existierenden technikwissenschaftliche Modelle der Energieumwandlung in Kohlekraftwerken mussten z.B. Rauchgasentschwefelungs- und -entstickungsanlagen integriert werden. Oder es entstanden miteinander konkurrierende Forschungsstrategien, wie die einer zentralen oder dezentralen Energieversorgung. Innerhalb der jeweiligen Forschungsrichtungen wurden je eigene Modellwelten entworfen.

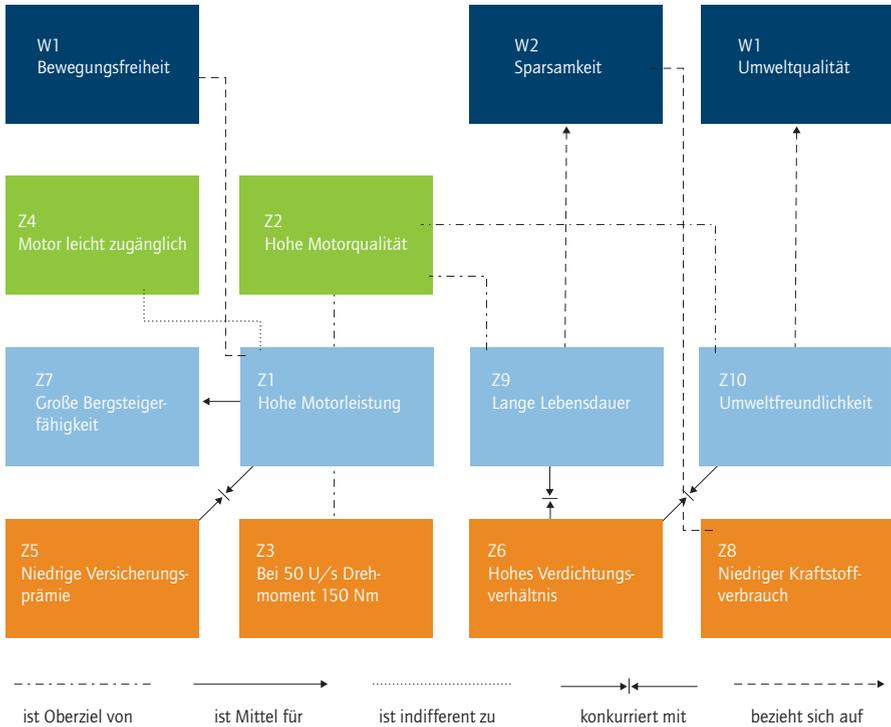
Bild 4: Entwicklung und Auswahl technischer Möglichkeiten unter dem Einfluss allgemeiner Rahmenbedingungen und individueller Dispositionen.



In ihren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten generieren die Technikwissenschaftler Modelle als Repräsentationen und Interpretationen existierender und möglicher technischer Praxen. Dabei integrieren sie Daten und Vorstellungen sowohl über die Struktur und Funktion wie über die Ziele der Technik. Modellbildung beinhaltet immer auch Komplexitätsreduktion. In unserem Zusammenhang heißt dies, dass nur eine begrenzte Auswahl technischer und „nicht-technischer“ Ziele in die Modelle eingehen. Es ist wichtig, dass diese notwendige Reduktion bewusst erfolgt und gegebenenfalls begründet wird. Das Gleiche gilt für die Gewichtung der aufgenommenen Ziele und die ebenfalls unumgehbare Festsetzung der Systemgrenze des Modells.

Je nachdem, welchen Stellenwert man bei einem Automobil-Verbrennungsmotor den Zielen große Elastizität, Drehfreudigkeit, Verbrauchsminderung oder geringen Schadstoffausstoß einräumt, gelangt man zu unterschiedlichen Modellen und Ergebnissen.

Bild 5: Beziehungen zwischen Zielen und Werten (dargestellt am Beispiel typischer Zusammenhänge bei einem PKW-Ottomotor).



Quelle: VDI 1991

Noch radikalere Konsequenzen hat es, wenn man die Systemgrenze der Betrachtung erweitert und nach technischen und organisatorischen Lösungen fragt, um das gesellschaftliche Ziel hohe Mobilität zu erreichen, also das gesamte Verkehrsspektrum einbezieht. Und schließlich lässt sich fragen, ob hohe Mobilität wirklich wünschenswert ist und wie Modelle einer verminderten Mobilität aussehen könnten.

Das Bild bietet das Modell eines die konkrete technische Praxis bestimmenden Ziel- und Wertsystems. Hinter den einzelnen Zielen stehen differenzierte gesellschaftliche Interessen von Konsumentengruppen, politischen Gruppierungen, Weltanschauungsgemeinschaften usw. In offenen Gesellschaften sind komplexe Zielsysteme, in denen Wertkonflikte und Interessensgegensätze zum Ausdruck kommen, der Normalfall. Zwischen den einzelnen Gruppierungen findet ein gesellschaftlicher Aushandlungsprozess über die anzustrebenden technischen Ziele und ihre Gewichtung statt. So hat sich in den

vergangenen Jahrzehnten die Gewichtung zwischen den auf die technische Leistung bezogenen Zielen und Werten auf der einen Seite und den ökonomischen und ökologischen auf der anderen deutlich verschoben. Die vorhandene Technik und technische Entwicklungsprojekte lassen sich somit als Ergebnisse gesellschaftlicher Konflikte und Kompromisse sowie struktureller Veränderungen interpretieren.

Schon aus den bisherigen Ausführungen ergibt sich, dass technikwissenschaftliche Arbeiten und Aussagen notwendigerweise einen hybriden Charakter besitzen. Sie kombinieren Struktur- und Funktionselemente der Technik mit gesellschaftlichen Zielsystemen. Und sie rekurrieren auf Wissen, das aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen und technischen Praxen stammt. Im Folgenden behandle ich die Frage, wer und aufgrund welcher Kriterien die Qualität technikwissenschaftlichen Wissens beurteilt. Nach den vorangegangenen Ausführungen über die Spezifik der Technikwissenschaften dürfte es klar sein, dass solche Beurteilungen wissenschaftliche und praktische Kriterien kombinieren – oder anders formuliert: Eine scharfe Unterscheidung zwischen wissenschaftlichen und praktischen Kriterien macht nur bedingt Sinn.

Für die Technikwissenschaften lassen sich denn auch traditionelle Kriterien von Wissenschaftlichkeit, wie „Wahrheit“, nur sehr bedingt verwenden.<sup>5</sup> Dies gilt selbst dann, wenn man „Wahrheit“ nur den Status einer regulativen Idee zubilligt. Die Gründe hierfür liegen in der engen Verschränkung von Erkennen und Gestalten. Die Technikwissenschaften formulieren Aussagen über vorhandene und mögliche Technik. Bei den Aussagen über mögliche, das heißt noch zu gestaltende, Technik handelt es sich um die theoretische Antizipation von Konstruktions- und Entwicklungsprozessen. Die Frage der Wahrheit ist dabei von vornherein dadurch eingeschränkt, dass erstens der Gegenstand, auf den sich die Aussagen beziehen, noch nicht existiert. Zweitens beanspruchen technikwissenschaftliche Aussagen keine universelle Gültigkeit, sondern nur Geltung in spezifischen Kontexten. Und drittens sind technikwissenschaftliche Aussagen für eine Überprüfung gemäß der klassischen wissenschaftstheoretischen Schemata zu komplex.<sup>6</sup>

An die Stelle von „Wahrheit“ und anderer Kriterien von Wissenschaftlichkeit wie Konsistenz und Kohärenz tritt bei den Technikwissenschaften die Bewährung ihrer Aussagen in der Praxis. In einer saloppen Formulierung: Der Naturwissenschaftler ruft „Heureka!“, der Technikwissenschaftler: „Es funktioniert!“<sup>7</sup> Technikwissenschaftliche Modelle bewähren sich, wenn die auf ihrer Basis gebaute Brücke nicht einstürzt, wenn das Werkzeug die errechneten Standzeiten besitzt, der Motor die gewünschte Drehfestigkeit, die Schadstoffemissionen in den geforderten Grenzen bleiben, die Anlage den erwarteten Output erzielt, die Fabrik die projizierten Gewinne einfährt. Mit dieser punktuellen Aufzählung ist schon angedeutet, dass die Frage der Bewährung in der Praxis komplex ist und – abhängig von den Bewertungsperspektiven und dem zeitlichen Horizont – unterschiedlich beantwortet werden kann.

<sup>5</sup> Vgl. Müller 1990.

<sup>6</sup> Vgl. Poser 2001.

<sup>7</sup> Nach Kornwachs 2006

Bei der „Bewährung in der Praxis“ handelt es sich um ein komplexes Phänomen, das kulturell und zeitlich variant und nur bedingt objektivierbar ist. Letzten Endes geht es um Anerkennungsakte in der Ingenieurwelt und in der Gesellschaft. Der unscharfe Begriff der Ingenieurwelt umfasst zunächst die in Disziplinen organisierten Technikwissenschaftler. Zu diesen Scientific Communities gehören nicht nur an Hochschulen arbeitende Ingenieure, sondern auch an außeruniversitären Forschungsstätten und in industriellen Forschungseinrichtungen tätige. Die Wissenschaftlergemeinschaft der Ingenieure ragt nicht nur in die technische Praxis hinein, sondern ist zudem in vielfältiger Weise an sie rückgebunden. „Bewährung in der Praxis“ heißt darüber hinaus, dass nicht nur forschende Ingenieure über die Brauchbarkeit technikwissenschaftlicher Aussagen urteilen, sondern auch Konstrukteure, Produktionsingenieure, Vertriebsingenieure usw. – kurz: alle, welche direkt oder indirekt technikwissenschaftliche Aussagen anwenden. Besonders die technisch-wissenschaftlichen Vereine bemühen sich um Abstimmungsprozesse zwischen den genannten Gruppen. Darüber hinaus ist die Anerkennung technikwissenschaftlicher Aussagen durch die Ingenieurwelt mit der Anerkennung der Technik durch die Gesellschaft gekoppelt. Wenn sich eine Technik, auf die sich technikwissenschaftliche Gestaltungsempfehlungen beziehen, gesellschaftlich nicht durchsetzt, dann bedeutet dies nicht unbedingt, dass die zu Grunde liegenden technikwissenschaftlichen Modelle verworfen werden, kann diese aber irrelevant machen.

Als Zwischenergebnis lässt sich festhalten: Ein zentrales Charakteristikum der Technikwissenschaften besteht darin, dass sie praktische Ziele verfolgen. Die Ziele und die hinter diesen stehenden Werte werden in der Regel nicht in den Technikwissenschaften selbst formuliert, sondern aus der Gesellschaft – bei einer Dominanz der Wirtschaft – übernommen. Die rezipierten Ziele und Werte beeinflussen die Wissensgenerierung, Wissensakquise und Wissensintegration. Dabei stammt das Wissen in den Technikwissenschaften aus unterschiedlichen Quellen: aus anderen Wissenschaften, aus der von den Technikwissenschaften selbst durchgeführten empirischen Forschung, aus in der Praxis gemachten Erfahrungen. Mit der Wissensintegration in den Technikwissenschaften ist gleichzeitig eine Wertintegration verbunden. Diese abstrakten Aussagen werden im Folgenden an einem sehr kleinen Beispiel konkretisiert: der Drahtseilberechnung.

### 3 FALLBEISPIEL: DIE WISSENSCHAFTLICHE BEHANDLUNG DES DRAHTSEILS UND DIE KONSTRUKTIONSPRINZIPIEN VON LUFTSEILBAHNEN<sup>8</sup>

Das Drahtseil, das heißt ein aus Stahldrähten geschlagenes Seil, wurde in den 1830er Jahren im Harzer Bergbau entwickelt. Im Bergbau löste es bei der Förderung aus dem Schacht die bislang verwendeten Ketten oder Hanfseile ab und ermöglichte das maschinelle Einfahren der Bergleute. In den folgenden Jahrzehnten verbreitete es sich in weitere Einsatzfelder. Drahtseile kamen zum Einsatz beim Bau von Hängebrücken, bei

<sup>8</sup> Für das Folgende verweise ich auf: Woernle 1915, S. 33ff.; Isaachsen 1907; Benoit/Woernle 1915; Rubin 1926, S. 1755-1759; Hunziker 1941; ten Bosch 1941; Bing 1931; Frank 1929; Luxbacher 1992; König 2000, S. 180-182. Ich danke Prof. Dr.-Ing. Dietrich Severin für die Durchsicht dieses Kapitels.

der Kraftübertragung über kürzere Entfernungen, bei Kränen, bei Seilbahnen für den horizontalen Gütertransport und – nach der Erfindung der Sicherheitsbremse in den 1850er Jahren – bei Personenaufzügen in höheren Häusern.

Für die Berechnung der Drahtseile verbreitete sich eine von dem Technikwissenschaftler Franz Reuleaux 1861 aufgestellte Formel.

Bild 6: Drahtseilberechnungsformel nach Reuleaux (1861).

$$\sigma = \sigma_z + \sigma_b = \frac{S}{F} + \frac{\delta}{2p} E$$

In dieser Formel bedeutet in heutigen Begriffen:

$\sigma$  maximale Spannung im Draht  
 $\sigma_b$  Biegungsspannung  
 $F$  Metallischer Querschnitt des Seils  
 $p$  Radius der Seilkrümmung

$\sigma_z$  Zugspannung  
 $S$  Seilzugkraft  
 $\delta$  Drahtdurchmesser  
 $E$  Elastizitätsmodul des Werkstoffs

Für unseren Zusammenhang ist bei dieser Formel ausschließlich von Bedeutung, dass Reuleaux die Beanspruchung des Seils als Summe aus Zug- und Biegungsspannung ausdrückte. 1881 stellte der Stuttgarter Maschinenbauer Carl von Bach<sup>9</sup> Überlegungen zum Drahtseil und der Berechnungsweise nach Reuleaux an.<sup>10</sup> Dabei gelangt er zu zwei Ergebnissen, die in keinem unmittelbaren Zusammenhang standen.

1. Er stellte fest, dass Reuleaux für Drahtseile eine höhere Spannung zuließ als bei anderen Maschinenelementen.<sup>11</sup> Er wies also auf zu beseitigende Inkohärenzen hin. Darüber hinaus sah er darin die Gefahr, dass dies „den jungen Ingenieur verführen konnte, so hohe Anstrengungen auch auf andere Maschinenteile zu übertragen.“<sup>12</sup> Als Konsequenz reduzierte Bach die zulässige Spannung. Bach ging es also einerseits um eine technikwissenschaftliche Vereinheitlichung und andererseits um ein didaktisches Ziel.

<sup>9</sup> Über Bach: König 1999, S. 72-77 und die dort angegebene Literatur.

<sup>10</sup> Bach 1881, Bd. 1, S. 166-172.

<sup>11</sup> Das Folgende beruht auf Aufzeichnungen Bachs aus dem Ersten Weltkrieg: TU Chemnitz, Archiv, Nachlass Prof. Julius Bach II/174, S. 176 u. 177.

<sup>12</sup> Ebd. 174, Äußerung Bachs v. 5.11.1915.

2. Auf der anderen Seite hatte man die Erfahrung gemacht, dass die Seile länger hielten, als nach der Formel Reuleaux' zu erwarten war. Als Konsequenz fügte Bach der Biegungsspannung den „Berichtigungsfaktor“  $3/8$  hinzu. Dies bedeutete quantitativ, dass die rechnerische Beanspruchung des Seils aus Zug und Biegung geringer war als bei Reuleaux. Und es bedeutete qualitativ, dass bei der Berechnung von Drahtseilen nach Bach der Biegungsspannung gegenüber der Zugspannung ein geringerer Stellenwert zukam. Dabei überschätzte Bach offensichtlich die Elastizität des Drahtseils, das er mit einer Feder verglich.

Bild 7: Drahtseilberechnungsformel mit Korrekturfaktor Bachs (1881).

$$\sigma = \sigma_z + \frac{3}{8} \sigma_b = \frac{S}{F} + \frac{3}{8} \frac{\delta}{2p} E$$

In der Zeit bis zum Ersten Weltkrieg hatte der Bachsche Berichtigungsfaktor erhebliche konstruktive Auswirkungen auf den Seilbahnbau. In der Hochindustrialisierung wurde eine Vielzahl auf Stützen verlaufender horizontaler Materialeilbahnen gebaut. Sie transportierten vor allem in der Grundstoffindustrie Schüttgüter auf dem Werksgelände. Sie konnten aber auch bei der Rohstoffgewinnung das geförderte Material über viele Kilometer zu Verladestationen bringen, wenn keine andere Möglichkeit per Bahn oder per Schiff zur Verfügung stand. In den Jahren vor dem Krieg kamen Personen-Luftseilbahnen in Gebirgen dazu.<sup>13</sup> Mit ihnen fuhren Wanderer und Ausflügler zu hoch gelegenen Aussichts- und Ausgangspunkten.

Solche Drahtseilbahnen wurden auf Stützen aus Holz oder aus Metall geführt. Die auftretenden Zugspannungen hingen unter anderem von der durch Gewichte erzeugten Vorspannung, der Länge der Bahn und den bewegten Massen ab; für die Biegespannungen war, wie es die Reuleaux-Bachsche Formel besagt, in erster Linie der Krümmungsradius des Seils verantwortlich, den es beim Lauf über die Rollen einnimmt. Zwischen der Zug- und der Biegungsspannung bestand ein umgekehrtes – aber nicht lineares – Verhältnis. Eine Steigerung der Zugspannung verminderte die Biegungsspannung, weil sich der Radius der Seilkrümmung vergrößerte – und umgekehrt. Aus dem Bachschen Berichtigungsfaktor ließ sich die Konstruktionsanweisung ableiten, die – von Bach im Vergleich zu Reuleaux als kritischer angesehene – Zugspannung niedrig zu

<sup>13</sup> König 2000, S. 175-190.

halten, was in einer Erhöhung der – als weniger kritisch erachteten – Biegungsspannung resultierte. Im Endeffekt führte dies zur Konstruktionsregel, Luftseilbahnen mit zahlreichen Zwischenstützen – das heißt mit niedriger Zugspannung und hoher Biegungsspannung – zu bauen. Zudem reduzierten die zahlreichen Zwischenstützen mit ihrer großen Seilkrümmung die Fahrgeschwindigkeit und damit die Beförderungskapazität. Die bei zahlreichen Bauwerken umgesetzte Konstruktionsregel erhöhte also die Bau- und Betriebskosten und verminderte die Einnahmen. Sie bedeutete eine hohe Hypothek für die Wirtschaftlichkeit der Bahnen. Aus einer Ex post-Perspektive lässt sich sagen, dass der Bachsche Berichtigungsfaktor sich beim Bau von Luftseilbahnen als Innovations- und Diffusionshindernis erwies.

In der Zeit um den Ersten Weltkrieg herum gerieten die Bachsche Berechnungsmethode und sein Berichtigungsfaktor von zwei Seiten her unter Beschuss: von Seiten der praktischen Erfahrung und von Seiten der empirischen Ingenieurwissenschaft. Während des Krieges wurden an der österreichisch-italienischen Alpenfront in großem Umfang Materialeilbahnen errichtet.<sup>14</sup> In der Ausnahmesituation des Krieges erhöhte man die zulässigen Zugspannungen über das Übliche hinaus und verminderte damit die Zahl der erforderlichen Zwischenstützen. Zur Überraschung der Techniker verschlissen die Seile dieser Bahnen nicht etwa schneller – wie nach der Formel Bachs und den geltenden Konstruktionsprinzipien zu erwarten gewesen wäre –, sondern sie hielten länger.

Um die gleiche Zeit führten Technikwissenschaftler an der Technischen Hochschule Karlsruhe, und zwar der Professor für Hebe- und Transportmaschinen Georg Benoit und sein Assistent Richard Woernle, Biegeversuche durch, bei denen sie Drahtseile mit kompakten Stäben verglichen.<sup>15</sup> Bach war davon ausgegangen, dass ein Drahtseil weniger beansprucht werde als ein kompakter Draht gleichen Durchmessers. Die Karlsruher Versuche erwiesen diese Prämissen als irrig. Die Biegeversuche beanspruchten die Drahtseile weit mehr als erwartet.

Als Konsequenz aus den im Krieg gemachten Erfahrungen sowie den Karlsruher Versuchen eliminierten die Technikwissenschaftler den Bachschen Berichtigungsfaktor und kehrten zur Schreibweise Reuleaux' zurück. Seilbahnen wurden fortan mit größerer zulässiger Zugspannung und weniger Zwischenstützen gebaut. Im Extremfall verwandte man für die Überwindung eines Höhenunterschieds, für den man vorher 45 Zwischenstützen gebraucht hatte, nur noch sechs.<sup>16</sup> Die neue Konstruktionsweise trug viel dazu bei, dass Luftseilbahnen seit Mitte der 1920er Jahre gegenüber anderen Technologien wie z.B. Standseilbahnen konkurrenzfähig wurden.

Im Folgenden ein kurzer Ausblick auf die weitere Behandlung des Drahtseils im Kontext der Luftseilbahnen. Die Zugspannung besaß in den technikwissenschaftlichen Diskussionen und in den behördlichen Bauvorschriften weiterhin einen hohen Stellen-

<sup>14</sup> Gedenkblatt 1967; Innerhofer/Staffler 1996, S. 125f., S. 144 u. 149.

<sup>15</sup> Woernle 1915; Benoit/Woernle 1915.

<sup>16</sup> König 2000, S. 181.

wert. Die ersten Bauvorschriften für Personenseilbahnen schrieben eine 10-fache Sicherheit auf Zug vor. Im Laufe der Zwischenkriegszeit wurde dieser Wert auf 4 reduziert, eine Größenordnung, in der er sich auch heute noch bewegt. Ebenso wird heute noch mit einer Formel gerechnet, welche die Reuleauxschen Ursprünge erkennen lässt. Man könnte also von einer Kontinuität innerhalb der Technikwissenschaften ausgehen, wobei irrige Annahmen korrigiert wurden. Tatsächlich kam es aber darüber hinaus zu einer gravierenden Veränderung der technikwissenschaftlichen Betrachtungsperspektive. Hatten die Technikwissenschaftler im 19. Jahrhundert vor allem das – zu vermeidende – Reißen des Drahtseils im Blick, so die Technikwissenschaftler im 20. Jahrhundert den – nicht zu vermeidenden, aber zu vermindernenden – Verschleiß des Seils.

Hinter der Reduzierung des Sicherheitsfaktors in der Zwischenkriegszeit stand unter anderem die Erkenntnis, dass die technikwissenschaftlichen Pioniere die Bedeutung sowohl der Zug- wie der Biegungsspannung überschätzt hatten. Die Ursachen von Seilschäden lagen weniger in der Zug- und in der Biegungsspannung als in den sogenannten Hertzschen Pressungen zwischen den Rollen und den einzelnen Seildrähten. Dabei handelt es sich – abhängig von der Seilkonstruktion – um linien- oder punktförmige Pressungen auf kleinen Flächen, die extreme Werte erreichen können. Als Folge reißt nicht das Seil, sondern der einzelne Draht bricht infolge von Ermüdung. Im hypothetischen Extremfall können sämtliche Einzeldrähte – wenn auch nicht an der gleichen Stelle – gebrochen sein, das Seil hält dennoch. Die Einzeldrähte des Seils werden durch Reibung zusammengehalten, so dass der gebrochene Draht in kurzer Entfernung von der Bruchstelle wieder voll mitträgt.

Die hier skizzierte Erkenntnis lässt sich auch so formulieren, dass die Drahtseile der Luftseilbahnen in der Regel nicht durch Maximalbeanspruchungen zerstört werden, sondern durch Dauerbeanspruchungen. Daraus zog man schon in der Zwischenkriegszeit zwei Konsequenzen: (1) Man suchte die Hertzschen Pressungen zu reduzieren, indem man neuartige verschlossene Seile entwickelte, die Rollen vergrößerte, sie ausfütterte und mehrere Rollen in Tragseilschuhen zusammenfasste; alle diese Maßnahmen vergrößerten die Auflageflächen. (2) Man überwachte die Seile, indem man die auf eine Längeneinheit entfallenden Drahtbrüche zählte. Dabei kamen zunächst optische und taktile Verfahren zum Einsatz. Heute prüft man auch das Innere des Seils mit Hilfe magnetinduktiver Verfahren. Bei einer kritischen Zahl an Drahtbrüchen wird das Seil abgelegt. In früherer Zeit wurden aus den gewonnenen Erfahrungen Seilwechselintervalle abgeleitet, das heißt, die Seile wurden in regelmäßigen Abständen ausgewechselt. Es ist interessant, dass man entgegen der allgemeinen Tendenz zur Theoretisierung der Technik in diesem Fall von mehr theoretischen zu mehr empirischen Verfahren überging.

#### 4 ZUSAMMENFASSUNG

Die Fallstudie illustriert Spezifika der Technikwissenschaften: die Heterogenität der Ziel-systeme und den hybriden Charakter technikwissenschaftlichen Wissens. Zum hybriden Charakter gehören die Wissens-elemente, die in die Modelle eingehen, der jenen Wissens-elementen zugeschriebene Stellenwert sowie deren Herkunft. Im Fallbeispiel, bei den Drahtseilberechnungen und beim Bau von Luftseilbahnen, treten drei Ziele der Technikwissenschaften in Erscheinung.

1. Das Gestaltungsziel: Die Technikwissenschaften wollten einen Beitrag zur praktischen Gestaltung der Luftseilbahnen leisten. Es ist deutlich geworden, dass sie dieses Ziel etwa ein halbes Jahrhundert lang nur bedingt erreichten. Zentrale Wissens-elemente, die üblichen Berechnungsmethoden nach Bach und sein Berichtigungsfaktor, hemmten über lange Zeit den Luftseilbahnbau mehr, als dass sie ihn förderten.
2. Das Erkenntnisziel: Die Technikwissenschaften wollten insbesondere das Drahtseil als zentrales Maschinenelement der Luftseilbahnen theoretisch-mathematisch erfassen und beschreiben. Dies wurde mehr oder weniger erreicht – allerdings auf Kosten der praktischen Brauchbarkeit des verwendeten Modells. Bach ging es nicht zuletzt um die Kohärenz der Technikwissenschaften, er wollte die zulässige (Zug-)Spannung bei Maschinenelementen vereinheitlichen.
3. Das Didaktikziel: Carl von Bach wollte – nach eigenem Bekunden – bei den Studierenden das Sicherheitsdenken fördern. Es entzieht sich unserem Urteil, ob dies erreicht wurde.

Der durch Carl von Bach eingeführte empirische Koeffizient bewährte sich aus mehreren Gründen in der Praxis nicht. Es machte den Bau von Luftseilbahnen unwirtschaftlich. Damit lag es nahe, ihn einer genaueren Prüfung zu unterziehen. Karlsruher Kollegen Bachs deckten dabei in praktischer Laborarbeit zentrale Schwächen der Annahmen Bachs auf. Und schließlich erwiesen sich die aus dem Korrekturfaktor abgeleiteten Konstruktionsprinzipien in der technischen Praxis des Baus von Versorgungsseilbahnen im Ersten Weltkrieg als falsch. Als Prüfungsinstanzen traten also sowohl Technikwissenschaftler wie in der Praxis tätige Techniker in Erscheinung. Dieser Evaluierungsgruppe ließen sich auch die Investoren zurechnen, die sich den Luftseilbahnprojekten aus ökonomischen Gründen verweigerten.

Zwischen dem Ziel des Erkennens und dem Ziel des Gestaltens kam es also zu Konflikten. Man kann es auch so ausdrücken, dass die damaligen Erkenntnismöglichkeiten den Gestaltungsnotwendigkeiten nicht entsprachen. Ein weiterer Konflikt bestand zwischen den Werten Sicherheit und Wirtschaftlichkeit. Die – vermeintliche, aber einem Irrtum unterliegende – Erhöhung der Sicherheit durch Reduzierung der zuläs-

sigen Spannung verminderte die Wirtschaftlichkeit der Luftseilbahnen; technikwissenschaftliche Erkenntnis wirkte als Innovationshemmnis. Erst auf einem höheren Niveau technisch-wissenschaftlichen Wissens ließen sich Wirtschaftlichkeits- und Sicherheitsanforderungen auf einen gemeinsamen Nenner bringen. Neue Konstruktionsprinzipien für Luftseilbahnen und vermehrte Einsichten in die Ursachen des Seilverschleißes machten es in der Zwischenkriegszeit möglich, sowohl wirtschaftliche wie hinreichend sichere Bahnen zu bauen.

In der Fallstudie wurden heterogene Wissensbestände unterschiedlicher Herkunft aufgeführt, die bei der Theorie und Praxis des Drahtseilbahnbaus eine Rolle spielten:

- eine mathematische Formel für die Berechnung von Drahtseilen,
- ein „empirischer“ Koeffizient, dessen Zustandekommen allerdings unklar bleibt,
- qualitative Vorstellungen über das Verhalten des Drahtseils, so zu seiner Elastizität,
- systematische Experimente, wie sie an der TH Karlsruhe durchgeführt wurden,
- praktische Erfahrungen mit Seilbahnen, die man während des Ersten Weltkrieges an der Alpenfront sammelte,
- techniktheoretische Erkenntnisse, wie die Hertzschen Pressungen, die auf das Drahtseil übertragen wurden,
- empirische Prüfverfahren der Drahtseilüberwachung und anderes mehr.

Die Integration dieses vielfältigen Wissens in Form sicherer und wirtschaftlicher Bauweisen von Luftseilbahnen nahm nahezu ein Jahrhundert in Anspruch. Dabei verließ man auf Betreiben des Maschinenbauprofessors Carl von Bach den durch die Berechnungsformel Reuleaux' verkörperten Stand der Wissenschaft und Technik, um später wieder zu ihm zurückzukehren. Dabei wandelte sich allerdings die technikwissenschaftliche Einschätzung der Berechnungsformel. Dies galt weniger für ihre Formulierung, die zwar modifiziert, aber nicht dramatisch verändert wurde. Sondern dies galt für ihren Stellenwert beim Bau von Luftseilbahnen. Mit der Erkenntnis, dass die Beanspruchung des Drahtseils nicht in erster Linie aus der Zug- und Biegungsspannung resultierte, sondern aus den Flächenpressungen zwischen Seil und Rolle sowie den Biegewechseln, also aus dynamischen Beanspruchungen, wurde die Formel zwar nicht falsch, aber zum nachrangigen Problem. Als Folge wurde der Lebensdauer des Drahtseils mehr Aufmerksamkeit geschenkt als der Festigkeit. Die mit der Formel verbundenen theoretischen Intentionen traten in den Hintergrund. In den Vordergrund rückte die Seilbahnpraxis und deren Wirtschaftlichkeits- und Sicherheitsanforderungen.

## LITERATUR

### **Bach 1881**

Bach, C. v.: Maschinenelemente: Ihre Berechnung und Construction mit Rücksicht auf die neueren Versuche, 2 Bde., Stuttgart: Cotta, 1881.

### **Banse et al. 2006**

Banse, G./Grunwald, A./König, W./Ropohl, G. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften, Berlin: edition sigma, 2006.

### **Benoit/Woernle 1915**

Benoit, G./Woernle, R.: Die Drahtseilfrage. Beanspruchung, Lebensdauer, Bemessung von Seilen, insbesondere von Aufzugsseilen und ihre experimentelle Erforschung, Karlsruhe/Leipzig: Gutsch, 1915.

### **Bing 1931**

Bing, E.: Fünf Jahre Betriebserfahrungen der österreichischen Personen-Seilschwebbahnen. In: Die Wasserwirtschaft 24 (1931), S. 473-476.

### **Frank 1929**

Frank, R.: Wirtschaftlichkeit im Bau und Betrieb von Personenseilschwebbahnen. In: Die Wasserwirtschaft 22 (1929), S. 598-602.

### **Gedenkblatt 1967**

Österreichische Erfinder: Gedenkblatt 1967 in memoriam Dipl.-Ing. Dr. techn. h. c. Louis Zuegg. Hrsg. v. Allgemeinen Zentralverein zur Förderung schöpferischen Schaffens, Salzburg 1967.

### **Hunziker 1941**

Hunziker, F.: Die Luftseilbahn als unentbehrliches Verkehrsmittel für die Bergbevölkerung im Mehranbau. In: Schweizerische Technische Zeitschrift 16 (1941), S. 373-375.

### **Innerhofer/Staffler 1996**

Innerhofer, A./Staffler, R.: Stählerne Stege. Der Seilbahnpionier Louis Zuegg, Bozen: Ed. Raetia, 1996.

### **Isaachsen 1907**

Isaachsen, J.: Die Beanspruchung von Drahtseilen. In: Z.VDI 51 (1907), S. 652-657.

**König 1995**

König, W.: Technikwissenschaften. Die Entstehung der Elektrotechnik aus Industrie und Wissenschaft zwischen 1880 und 1914 (Technik interdisziplinär 1), Chur: G + B Fakultas, 1995.

**König 1999**

König, W.: Künstler und Strichezieher. Konstruktions- und Technikkulturen im deutschen, britischen, amerikanischen und französischen Maschinenbau zwischen 1850 und 1930 (suhrkamp taschenbuch wissenschaft 1287), Frankfurt a. M. : Suhrkamp, 1999.

**König 2000**

König, W.: Bahnen und Berge. Verkehrstechnik, Tourismus und Naturschutz in den Schweizer Alpen 1870-1939 (Deutsches Museum. Beiträge zur Historischen Verkehrsforschung 2), Frankfurt/New York: Campus-Verlag, 2000.

**Kornwachs 2006**

Kornwachs, K.: Vertrauen und technische Erfahrung; in: Petshee, H. J./Bartikova, M./Kiepas, A. (Hrsg.): Erdacht, gemacht und in die Welt gestellt: Technikkonzeptionen zwischen Risiko und Utopie, Festschrift für Gerhard Banse, Berlin: trafo, 2006, S. 217-243.

**Luxbacher 1992**

Luxbacher, G.: Bergauf schweben. Die Raxbahn – die älteste moderne Seilbahn Österreichs. In Kos, W. (Hrsg.), Die Eroberung der Landschaft. Semmering, Rax, Schneeberg. Katalog zur Niederösterreichischen Landesausstellung Schloss Gloggnitz, Wien: Falter Verlag, 1992, S. 557-566.

**Müller 1990**

Müller, J.: Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften. Systematik, Heuristik, Kreativität, Berlin u.a.: Springer, 1990.

**Poser 2001**

Poser, H.: Wissenschaftstheorie. Eine philosophische Einführung, Stuttgart: Reclam, 2001.

**Reuleaux 1861**

Reuleaux, F.: Der Constructeur. Ein Handbuch zum Gebrauch beim Maschinen-Entwerfen, Braunschweig: Vieweg, 1861.

**Rubin 1926**

Rubin, A.: Personen-Seilschwebbahnen Bauart Bleichert-Zuegg, mit besonderer Berücksichtigung der Zugspitzbahn. In: Z.VDI (1926), S. 1755-1768.

**Simon 1996**

Simon, H. A.: The Sciences of the Artificial. Cambridge, Mass./London: MIT Press, 1996 (3. Aufl., Erstaufl. 1969).

**ten Bosch 1941**

ten Bosch, M.: Die Betriebssicherheit der Drahtseile. Das Drahtseil hat das Wort. In: Schweizerische Bauzeitung 118 (1941), S. 73-75.

**Verein Deutscher Ingenieure 1991**

Verein Deutscher Ingenieure: Technikbewertung. Begriffe und Grundlagen, Düsseldorf: Beuth, 1991 (VDI 3780).

**Woernle 1915**

Woernle, R.: Zur Beurteilung der Drahtseilschwebbahnen für Personenbeförderung. Habilitationsschrift TH Karlsruhe/Berlin 1913.

# > WIE KANN MAN TECHNIK DARSTELLEN? WIE WERDEN TECHNIKDARSTELLUNGEN VERSTANDEN?

UDO LINDEMANN

## 1 DIMENSIONEN VON TECHNIKDARSTELLUNG

Die Bedeutung von Technikdarstellungen bezüglich der Suche nach Techniklösungen sowie ihrer Dokumentation und anschließender Interpretation war Schwerpunkt eines Diskussionskreises „Bild und Begriff“ von Wissenschaftlern aus Technik und Psychologie. Diese Aktivität war Basis einer internationalen Konferenz zum Thema „Human Behaviour in Design“<sup>1</sup>, in die Ergebnisse aus den Diskussionen wie auch Forschungsarbeiten einfließen. Besonderes Augenmerk lag auf dem Spannungsfeld bildhafter gegenüber begrifflicher Beschreibung und der daraus resultierenden Wirkung im Konstruktions-/Entwicklungsgeschehen.

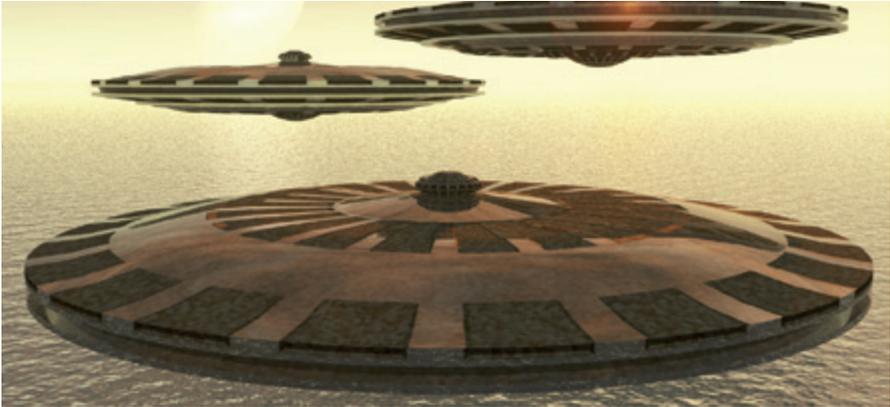
Technik kann auf unterschiedlichste Weise dargestellt werden, um jeweils Ziele vielfältiger Art zu erreichen. Die dargestellte Technik kann dabei bestehende, geplante oder angedachte wie auch – zumindest nach dem aktuellen Stand der Erkenntnisse – nicht realisierbare Technik, wie zum Beispiel eine bedrohlich wirkende „Fliegende Untertasse“ (Abbildung 1), umfassen. In Darstellungen von Technik können bestehende wie auch nicht mögliche und nicht existente Objekte mehr oder weniger realitätsnah dargestellt werden und im Grenzfall den Eindruck von Realität vermitteln.

---

<sup>1</sup> Lindemann 2003.

---

Abbildung 1: Darstellungen (noch) nicht realisierter Technik.



Quelle: © Udo Reitter – Fotolia.com

Wir können die verbliebenen Elemente von Technik vergangener Jahrhunderte oder auch Jahrtausende studieren und verstehen doch nur einen Teil der tatsächlichen Sachverhalte, wie sie sich im Originalzustand dargestellt haben. Das Beispiel der Pyramiden zeigt dieses sehr deutlich, wir wissen nicht mit Sicherheit, wie sie im Original aussahen (Abbildung 2), wir wissen auch nicht zweifelsfrei, wie die Erstellung erfolgte (Abbildung 3). Natürlich gibt es Hypothesen hierzu, aber eben unterschiedliche. Außerdem gibt es für die jeweiligen Hypothesen mehr oder weniger stichhaltige Sachargumente, aber keine Beweise oder hinreichend stichhaltige Indizienketten oder -pakete.

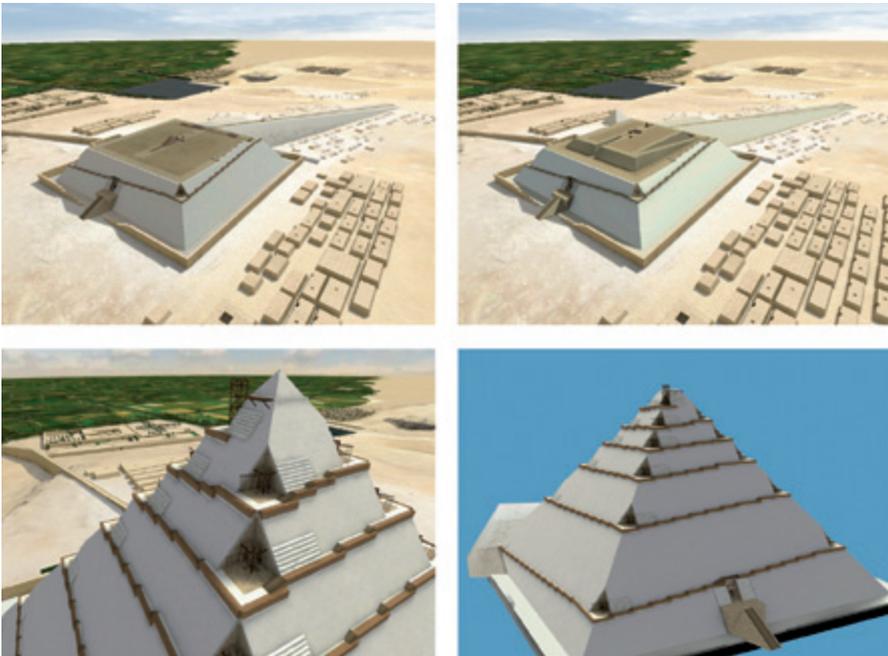
---

Abbildung 2: Pyramiden – Wir ahnen, wie sie einst aussahen!



Quelle: Dassault Systemès

Abbildung 3: Pyramiden – Wir wissen nicht, wie sie einst hergestellt wurden!

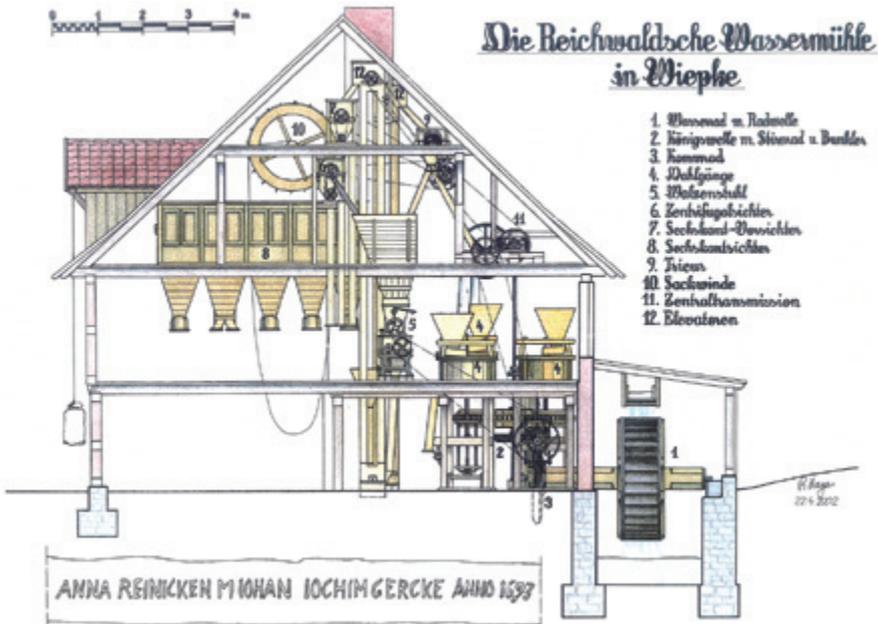


Quelle: Dassault Systemès

Real existierende technische Objekte verraten also nicht immer ihre Entstehungsgeschichte, die für Konstrukteure und Entwickler notwendig zu verstehen ist, um für künftige Aufgaben daraus zu lernen. Bei heute aktuell erstellter Technik kennen wir zumindest die derzeit möglichen Produktionstechnologien, bei historischen Objekten gilt das nur sehr begrenzt.

Darstellungen von Technik dienen nicht nur der Beschreibung der Geometrie und Gestalt der Objekte, vielmehr werden auch Funktionen und Strukturen oder auch andere Aspekte veranschaulicht (Abbildung 4). Dabei erfolgt eine Abstraktion im Sinne einer Reduzierung auf die für die jeweilige Zielsetzung wesentlichen Aspekte, unter Umständen auch verbunden mit einer Verfälschung oder Verfremdung gegenüber dem Original. Damit gelingt es auch, Komplexität von Systemen mit einer jeweils spezifischen Ausprägung abzubilden und zu vermitteln.

Abbildung 4: Technikdarstellungen beschreiben schon früh Funktion und Struktur.



Quelle: Wassermühlen- und Heimatverein Wiepke e.V. Friedrich-Wilhelm Gille, Wiepke; Rüdiger Hagen, Wedemark; [www.wassermuehle-wiepke.de](http://www.wassermuehle-wiepke.de)

Darstellungen von Technik sind im Wesentlichen Abstraktionen von real bestehenden, geplanten oder angedachten Produkten oder Prozessen. Sie sind im Ingenieurverständnis Modelle und damit jeweils zweckorientiert.

## 2 DARSTELLUNG VON INFORMATION UND WISSEN

Die Darstellung von Technik dient primär der Dokumentation sowie der Kommunikation und Vermittlung von Informationen und Wissen. Ein weiterer wesentlicher Zweck ist die Unterstützung der Entwicklung neuer Lösungen in kreativen Prozessen sowie deren Bewertung.<sup>2</sup> Wir erleben eine mehr oder weniger explosionsartige Vermehrung von Information und Wissen, die Halbwertszeit des Wissens verkürzt sich zunehmend. Ungewiss ist die Frage der Fähigkeit diese zu entdecken, richtig zu interpretieren und zu beurteilen. Die modernen Kommunikationsmedien erlauben eine globale Verfügbarkeit von Information und Wissen ohne jeglichen Zeitverzug, was wiederum zu der Frage der begrenzten Fähigkeiten von Menschen aber auch technischen Systemen wie Suchmaschinen etc. führt, mit dieser unfassbaren Vielfalt umzugehen.

<sup>2</sup> Dick 2009.

Diese Aussagen gelten auf jeden Fall für Informationen, bei Wissen ist eine Einschränkung auf externalisiertes und formalisierbares Wissen erforderlich. Liegt Wissen implizit vor, so muss es mit Hilfe von Frage-Antwortsequenzen eventuell in Verbindung mit bildhaften Darstellungen externalisiert werden, sofern das überhaupt möglich ist. Bei Fach- und Sachwissen gelingt das noch relativ gut, Handlungswissen ist momentan nur beschränkt auf diesem Wege vermittelbar. Die Dokumentation von Handlungswissen bedient sich oft der Beschreibungsformen Bild (als Fotografie, Skizze, Grafik), Bildsequenz, Animation oder Video.

Wir erleben eine Spezialisierung von Wissenschaft und Praxis, ganz im Sinne eines Taylorismus in der Informations- und Wissensgenerierung. Diese Aufteilung zieht die Notwendigkeit einer jeweils zielorientierten Weiter- oder Übergabe sowie einer Zusammenführung nach sich, was wiederum häufig mit Hilfe bildhafter Darstellungen der Technik erfolgt. Dabei erfordert die Übergabe an Spezialisten im Leistungsverbund häufig auch eine Übersetzung von einer Darstellungsform in eine andere, was zu Informationsverlusten oder Informationsverfälschungen führen kann.

Die Veränderung der betrieblichen Altersstruktur aufgrund der demografischen Entwicklung resultiert in den klassischen Industrieländern in einem Wissensverlust durch Ruhestand, in Schwellenländern in einer massiven Verjüngung und Fluktuation. Der dadurch in hoher Intensität erforderliche Wissenserhalt und -transfer erfordert neben anderen Maßnahmen auch eine Fülle bildhafter Darstellungen.

Steigende vertragliche, rechtliche und gesetzliche Anforderungen hinsichtlich der Dokumentation technischer Sachverhalte führen ebenfalls zu einer anwachsenden Zahl der Dokumente sowie ihres Inhaltes und erfordern zusätzlich standardisierte Ausprägungen bildhafter Abbildungen der Technik. Die Absicherung der auch langfristigen Lesbarkeit ist im Vergleich zu antiken Dokumenten ein dramatisches Thema. Höhlenmalereien überlebten Jahrtausende, sofern sie nicht durch extreme Ereignisse zerstört wurden. Moderne Datenträger (zum Beispiel CD oder DVD) dagegen überleben selbst bei guter Pflege nicht einmal Jahrzehnte.

Immer dann, wenn die Menge der Informationen zu einem Themengebiet ein kritisches Maß überschreitet, wird versucht, aus zunächst unstrukturiert vorliegenden Informationen diese in eine strukturierte Form zu überführen und diese Strukturen dann auch bildhaft zu vermitteln. Das reicht dann von Texten, in denen die Kapitelstruktur durch hervorgehobene Zwischenüberschriften visualisiert wird, bis hin zu grafischen Elementen oder einer direkten Abbildung zum Beispiel in einer Baumstruktur.

Bildhafte Darstellungen dienen auch zur Kontextbildung bei Prozessbeschreibungen für Produktentwicklungs- und Produktänderungsprozesse. Dadurch wird veranschaulicht, in welcher Situation welche Prozessschritte gegangen werden sollten. Außerdem wird auch erreicht, dass sich die geforderten Vorgehensweisen bedingt durch als „Bildmarken“ wirkende bildhafte Darstellungen besser einprägen.

In einem Forschungsprojekt zur Analyse und Beschreibung von Entwicklungsprozessen wurden die Arten von Dokumenten zur Beschreibung bestimmter Aspekte eines Produktes während seiner Entstehungsgeschichte erfasst und dokumentiert. Diese Dokumente stellen damit Partialmodelle zur Beschreibung des zu erstellenden Produkts dar. Beispiele sind Pflichtenheft, CAD-Modell, Berechnung, Versuchsbericht und viele mehr. Insgesamt wurden mehr als 70 unterschiedliche Dokumente erkannt, von denen dann etwa 50 näher betrachtet wurden. Wichtig war in diesem Zusammenhang die Verortung der Dokumente im Entwicklungsprozess.<sup>3</sup>

Viele dieser Dokumente sind bildhafte Darstellungen oder enthalten diese. Als Grund für den relativ hohen Anteil muss die hohe Informationsdichte im Vergleich zu einer verbalen Beschreibung gesehen werden, die sich dann auch bei der Übermittlung in einer höheren Qualität bemerkbar macht.

Trotz oder wegen der Vielfalt zeigen sich jedoch bei der Informations- und Wissensnutzung immer wieder Probleme, wie dies in einer Studie von Crabtree<sup>4</sup> aufgezeigt wird. Seiner Umfrage zufolge sind hauptsächlich Mängel im fehlenden Zugriff auf Informationen sowie fehlende Dokumentationen zu beklagen, zumindest wurde dieses von den Befragten subjektiv so empfunden.

### 3 ART UND INHALT BILDHAFTER TECHNIKDARSTELLUNGEN

Der Austausch von Informationen erfolgt häufig durch Vorträge oder in Hochschulen durch Vorlesungen (Abbildung 5). Hier finden sich vielfältige Formen bildhafter Darstellungen wie zum Beispiel Bilder, Grafiken, Skizzen, Animationen, Filme und auch die Gestik des Vortragenden.

---

<sup>3</sup> Lauer 2007.

<sup>4</sup> Crabtree 1997.

Abbildung 5: Darstellung im Vortrag (z. B. Vorlesung).



Quelle: Fakultät für Maschinenwesen, TUM.

Im bilateralen Gespräch wie auch in Gruppen werden Überlegungen und Sachverhalte unter Verwendung von skizzenhaften Darstellungen festgehalten (Abbildung 6). Das gilt nach der Erfahrung des Autors besonders bei Ingenieuren und Architekten, weniger bei Geisteswissenschaftlern.

Abbildung 6: Darstellungen in der Diskussion und als Skizze.



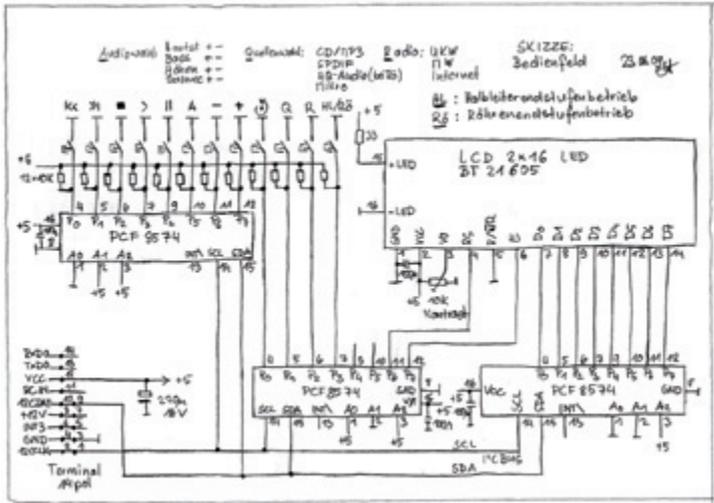
Quelle: Fakultät für Maschinenwesen, TUM.

Skizzen werden aber auch individuell im Dialog mit sich selbst eingesetzt, um Sachverhalte zu klären oder Gedanken zu fixieren. Das kann dann auch zu einer mentalen Entlastung beitragen.<sup>5</sup> Dabei können die Inhalte dieser Skizzen vielfältiger Natur sein und neben klassischen geometrischen Darstellungen auch funktionale, zeitliche und andere Aspekte beinhalten.

Schematische Darstellungen wie Schaltpläne (Abbildung 7) und technische Zeichnungen (Abbildung 8) sind weitgehend genormt und müssen nach bestimmten Regelwerken erstellt und auch interpretiert werden.

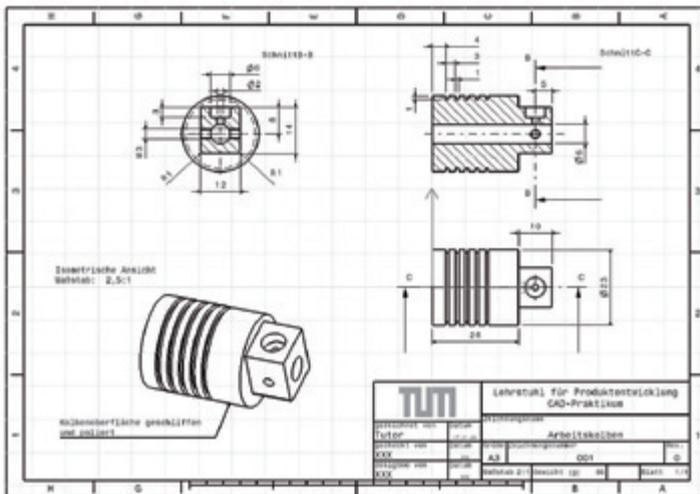
<sup>5</sup> Pache 2003.

Abbildung 7: Darstellungen eines Schaltplans.



Quelle: Lehrstuhl für Produktentwicklung, TUM.

Abbildung 8: Darstellungen als technische Zeichnung.



Quelle: Lehrstuhl für Produktentwicklung, TUM.

Virtuelle Modelle (CAD) technischer Objekte mit dreidimensionalen realitätsnahen Darstellungen (Abbildung 9), die auch virtuell „aufgeschnitten“ (Abbildung 10) werden können, sind aus der Welt der Technik nicht mehr wegzudenken. Sie helfen in der Entwicklung bei der Absicherung von Funktion und Herstellbarkeit, zunehmend auch in den Herstellprozessen als Informationsbasis wie auch im Vertrieb zur Darstellung des noch zu realisierenden Produkts. Ergebnisse numerischer Simulationen werden durch Einfärbungen als Hinweis zum Beispiel auf hohe Spannungen veranschaulicht (Abbildung 11).

---

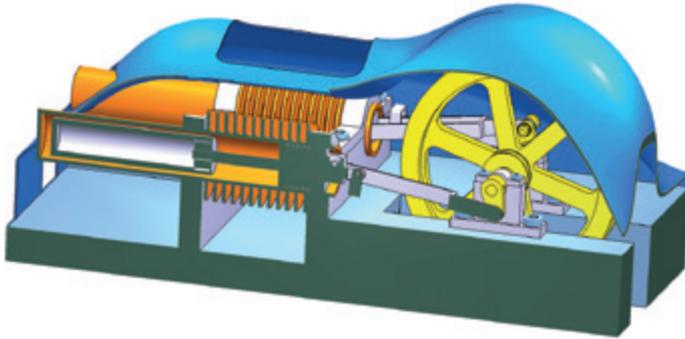
Abbildung 9: Darstellungen in einem CAD-System.



Quelle: Lehrstuhl für Produktentwicklung, TUM.

---

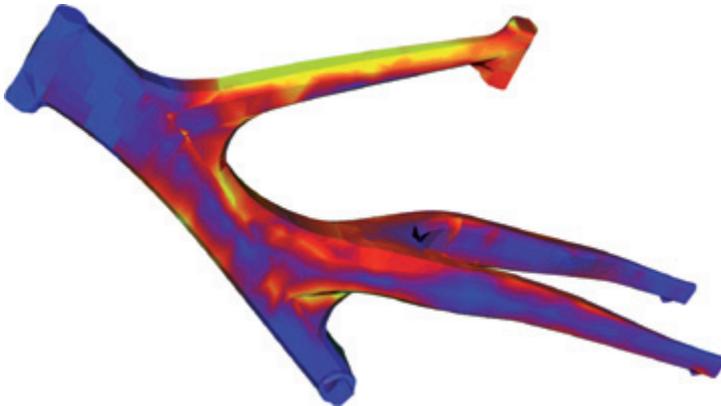
Abbildung 10: Darstellungen in einem CAD-System – Schnittdarstellung.



Quelle: Lehrstuhl für Produktentwicklung, TUM.

---

Abbildung 11: Darstellungen von Simulationsergebnissen.



Quelle : Lehrstuhl für Produktentwicklung, TUM.

Sollen real existierende Objekte auf einfache Weise festgehalten und dokumentiert werden, bieten sich Fotografien (Abbildung 12) und Videos an. Besonders bei der Dokumentation von Schadensfällen haben sich diese Medien fest etabliert.

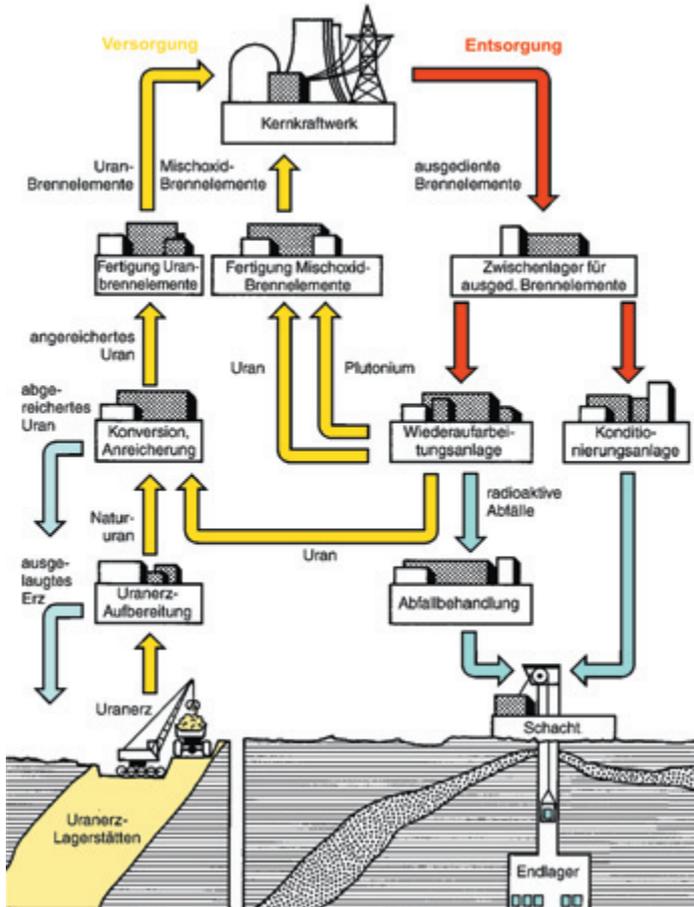
Abbildung 12: Darstellungen als Photographie.



Quelle: „Siemens-Pressebild“.

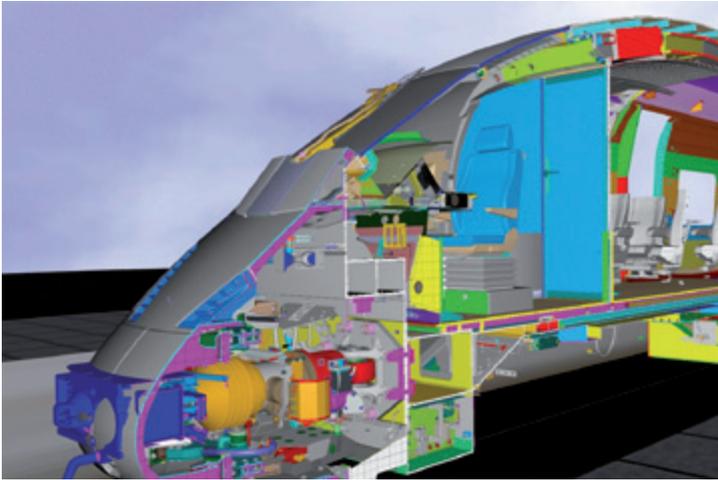
Gegenüber Fotografien bieten Grafiken und Animationen den Vorteil zielorientierter Vereinfachung oder auch die Möglichkeit der Veranschaulichung durch gezielte Farbgebung bestimmter Objekte, um so zum Beispiel funktionale Zusammenhänge (Abbildung 13) zu zeigen. Dazu können dann auch zeitliche Abläufe sowie Symbole etc. ähnlich wie bei Skizzen ergänzt werden. Auch können Schnittdarstellungen erstellt werden, durch die dann quasi das Innere eines Systems (Abbildung 14) sichtbar wird. Mit Animationen kann das auch dynamisch erfolgen. Damit können komplexe Sachverhalte in ihren wesentlichen Elementen und Zusammenhängen aufgezeigt werden, es kann aber auch zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Erfordernisse durch einen Betrachter kommen.

Abbildung 13: Grafik mit funktionalen Zusammenhängen.



Quelle: Informationskreis KernEnergie.

Abbildung 14: Grafik mit geometrischen Zusammenhängen.



Quelle: „Siemens-Pressbild“.

Bildhafte Darstellungen wie Fotografien oder Grafiken können auch als Instrumente des Journalismus oder zur Vermittlung politischer Aussagen (Abbildung 15) genutzt werden.

Abbildung 15: Foto zur Dokumentation oder als politisches Mittel?



Quelle: © Klaus Eppele – Fotolia.com.

In der Werbung werden auch Kombinationen bildhafter Produktmodelle wie zum Beispiel Foto, Grafik und Animation (Abbildung 16) zur Vermittlung von Produktfunktionen oder Produkthanwendungen (Abbildung 17) eingesetzt.

Abbildung 16: Darstellungen als Fotografie mit Animation.



Quelle: abus.

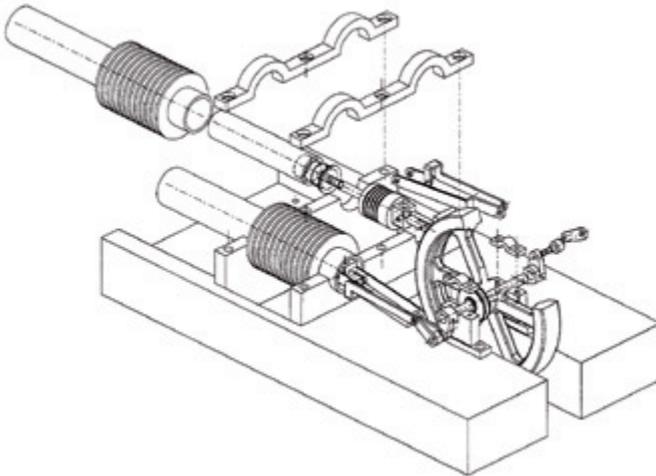
Abbildung 17: Darstellungen als Photographien mit Text.



Quelle: napcabs.

Montage- oder Serviceanleitungen werden häufig durch Explosionsdarstellungen (Abbildung 18) mit ergänzenden Texten unterstützt. Diese können ohne großen Aufwand aus CAD-Modellen abgeleitet werden oder in etwas abstrahierter Form als Grafik erstellt werden.

Abbildung 18: Darstellungen als Explosionszeichnung.



Quelle : Lehrstuhl für Produktentwicklung, TUM.

Virtual Reality Systeme sind in einigen Bereichen als Medium der Kundenpräsentation oder in Service und Montage (Abbildung 19) fest etabliert. So kann dem Monteur in der Montage gezielt gezeigt werden, wie bestimmte Teilsysteme zu montieren oder einzustellen sind. Im Vertrieb wird potenziellen Kunden der visuelle Eindruck geplanter Systeme in dreidimensionalen Projektionen vermittelt, in denen er sich dann auch bewegen kann, in die er quasi eintauchen kann. Ob zum Beispiel die so vorgestellte Küche dann in der real ausgeführten Version den Erfordernissen der Ergonomie etc. entspricht, ist auch von der Beurteilungsfähigkeit des potenziellen Kunden abhängig.

---

Abbildung 19: Darstellungen als virtuelle Maschine.



Quelle : „Siemens-Pressbilder“.

Die beste bildhafte Präsentation ist dann das reale Produkt, das zum Beispiel auf einer Messe (Abbildung 20) oder im Verkaufsregal zu finden ist. Diese konkreten Produkte erscheinen in der Werbung allerdings auch mit einem Umfeld, welches in keinem unmittelbaren Kontext zum Produkt selbst steht (Abbildung 21), sondern vielmehr Assoziationen in Richtung jung, dynamisch, umweltfreundlich oder auch anderer Aspekte suggerieren soll.

---

Abbildung 20: Darstellungen als reale Maschine.



Quelle: Heidelberger Druckmaschinen AG.

Abbildung 21: Darstellungen mit sachfremden Zusatzobjekten.



Quelle: Heidelberger Druckmaschinen AG.

Letztendlich werden technische Produkte manchmal auch als Teile von Kunstwerken oder auch direkt als Kunstwerke (Abbildung 22) verstanden.

Abbildung 22: Darstellungen als künstlerisches Objekt.

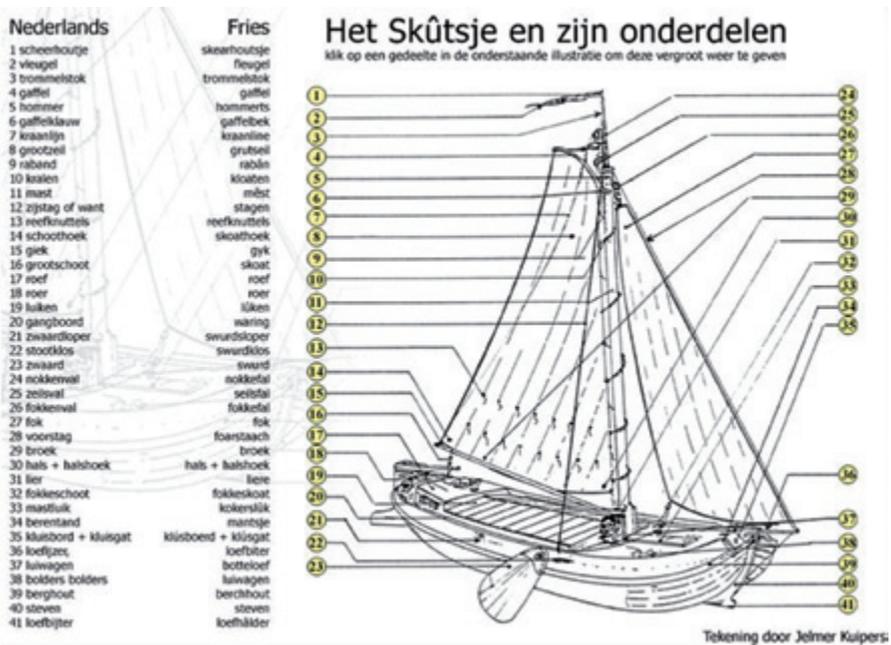


Quelle: aboutpixel.de/Umwerfer © chhmz.

#### 4 SPRACHEN UND KULTUREN

Bildhafte Darstellungen können in unterschiedlichen Kulturkreisen deutlich unterschiedliche Bedeutung haben. Sie können aber auch ein Mittel zur Klarstellung von Begrifflichkeiten auch in verschiedenen Sprachen darstellen (Abbildung 23). Dabei sind regionale wie auch unternehmens- oder abteilungsbezogene Ausprägungen von Kultur und Sprache bereits zu berücksichtigen.

Abbildung 23: Darstellungen fordern Sprachregelungen.



Quelle: Jelmer Kuipers.

Diese kulturellen Ausprägungen sind dringend zu beachten, da ansonsten Fehlinterpretationen und Missverständnisse mit hoher Wahrscheinlichkeit aufkommen. Offensichtliche kulturelle Unterschiede zeigen zum Beispiel Beschilderungen im öffentlichen Bereich im Vergleich Mitteleuropa mit Nordamerika (Abbildung 24).

Abbildung 24: Darstellungen (Sprachen) fordern kulturelle Anpassungen.



Quelle links: © Martina Berg – Fotolia.com; Quelle rechts: aboutpixel.de/Parken verboten © birgit.

Eine Analyse technischer Zeichnungen auf Basis von ISO-Normen zeigt deutliche Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Regionen. So wird in dem einem Kulturkreis viel über Symbole abgebildet, in einem anderen erfolgen die entsprechenden Informationen über zusätzlich integrierte Texte. Das fällt dann besonders bei Mehrsprachigkeit auf.

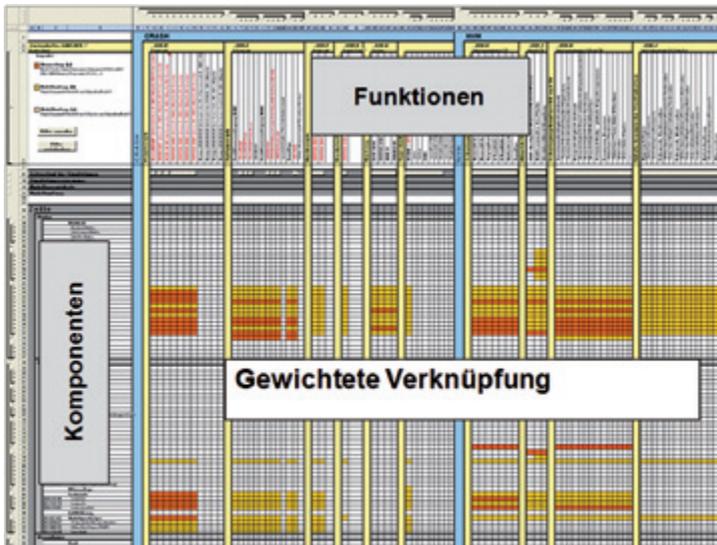
Abstrahierte Formen bildhafter Darstellungen finden sich in Form von Technischen Zeichnungen, Funktionsdiagrammen, Grafen oder Matrizen. Die jeweilige „Sprache“ muss erlernt werden, um sie lesen und interpretieren zu können. Das Verständnis von Strukturen (Abbildung 25)<sup>6</sup>, Ursachen- und Auswirkungsanalysen (Abbildung 26)<sup>7</sup> bei Störungen oder bei Änderungen, die Durchdringung eines Produktprogramms bezüglich der Markt- und Kundenrelevanz (Abbildung 27) sind Beispiele für wichtige Fragestellungen im Rahmen der Produktentstehung, deren Beantwortung durch die jeweiligen bildhaften Darstellungen unterstützt wird.

<sup>6</sup> Greiner 2007.

<sup>7</sup> Herfeld 2007.



Abbildung 27: Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Sichten.



Quelle : Lehrstuhl für Produktentwicklung, TUM.

## 5 RESÜMEE

Im Rahmen der Produktentwicklung sind wir mit einer Vielfalt unterschiedlicher bildhafter Darstellungen befasst und konfrontiert. Abhängig von der jeweiligen Entwicklungssituation, individuellen Fähigkeiten und Neigungen, Normen und Vorgaben im Unternehmen, den verfügbaren Werkzeugen werden Darstellungsformen in eher abstrakter oder auch konkreter Ausprägung bevorzugt. Die jeweiligen Ziele einer bildhaften Darstellung reichen von einer Dokumentation über eine Informationsweitergabe bis zu einem Mittel im Rahmen aktiver Diskussion.

Bildhafte Darstellungen stellen in gewisser Weise Sprachen dar, mit denen Informationen vermittelt und festgehalten werden. Ähnlich wie bei natürlichen Sprachen begegnen uns auch hier eine Vielzahl unterschiedlicher Sprachen und Dialekte.

Darstellungen können nach dem Grad der Vollständigkeit, der Sinnhaftigkeit, der Aussagekraft differenziert werden.

Die Darstellung von komplexen Systemen mit einer Vielzahl und Vielschichtigkeit von Abhängigkeiten und Details stoßen schnell an die Auffassungsgrenzen der Bearbeiter.

Die Erstellung von Darstellungen wie auch deren Interpretation hängen ab von Vorprägung, Wissen, Kompetenz, Randbedingungen, Kontext, Qualitätsanspruch, Motivation und weiteren Aspekten auf der Seite der Bearbeiter wie auch deren Randbedingungen.

## LITERATUR

### **Crabtree 1997**

Crabtree, R. A. et al.: Case Studies of Coordination Activities and Problems in Collaborative Design. In: Research in Engineering Design 9 (1997), S. 70-84.

### **Dick 2009**

Dick, B.: Untersuchung und Modell zur Beschreibung des Einsatzes bildlicher Produktmodelle durch Entwicklerteams in der Lösungssuche. Dissertation Technische Universität München. München 2009 (eingereicht).

### **Greiner 2007**

Greiner, M. et al.: Complexity Management Using Multiple-Domain Mapping – Development of High Pressure Pumps for Common Rail Systems, in 9th International DSM Conference. In: Lindemann, U. et al. (Eds.), Aachen: Shaker Verlag, 2007, S. 261 ff.

### **Herfeld 2007**

Herfeld, U. et al.: Managing Complexity in Automotive Safety Development, in 9th International DSM Conference. In: Lindemann, U. et al. (Eds.), Aachen: Shaker Verlag, 2007, S. 271 ff.

### **Lauer 2007**

Lauer, W. et al.: Purposeful Integration of Product Models into the Product Development Process. In: Proceedings of the 15th International Conference of Engineering Design (ICED 07), August 28 – 30, 2007, Cite des Sciences et de l'Industrie, Paris, Frankreich.

### **Lindemann 2003**

Lindemann, U. (Ed.): Human Behaviour in Design, Berlin: Springer, 2003.

### **Pache 2003**

Pache, M.: Sketching for Conceptual Design, Empirical Results and Future Tools. Dissertation Technische Universität München, München 2003.

## > ZUR HEURISTISCHEN FUNKTION DER TECHNISCHEN HANDZEICHNUNG

ULRICH GLOTZBACH

### EINLEITUNG

Zum Entwerfen gehört das Skizzieren. Im Stillen, am Arbeitstisch, in Besprechungen, beinahe immer wenn ein Entwicklungsteam sich trifft: en passant werden Skizzen angefertigt. Das ist geübte Praxis, über die man sich einmal wundern darf. Dass wir technische Zusammenhänge, technische Anordnungen und vor allem auch Neues im Entstehen skizzieren wollen und können, diese Besonderheit technischen Wissens und Handelns steht im Mittelpunkt meines Beitrags. Ich frage nach dem Grund des Phänomens und nach seiner Bedeutung für die Technik heute.

Was heißt es und was geschieht, wenn zeichnerische Darstellungen „wie von selbst“ aus der Hand fließen?

Die mit der Entstehung von Schriften im Zivilisationsprozess aufgekommene besondere Wertschätzung des gesprochenen Wortes als schriftlich niederlegbarer Sprache hat das typisch mehrdimensionale Denken beim zeichnerischen Ergreifen von Zusammenhängen sowie die Mehrdimensionalität des Gezeichneten selbst in den Hintergrund treten und als bloße Vorstufe dessen erscheinen lassen, was am Ende klar und deutlich „gesagt“ werden kann. Dies ist womöglich der hauptsächliche Grund für eine gewisse Geringschätzung des Skizzierens als unklarer Ausdruck des Denkens, und damit auch ein Grund für die Unterschätzung des Beitrags des Skizzierens zur erfinderischen Leistung: Dem Werk und Tun der zeichnenden Hand korrespondiert in ursprünglicher Innen-Außen-Verschränkung die kreative Gedankenbewegung, welche den sukzessiven zeichnerischen Aufbau der Skizze ebenso anleitet, wie sie ihrerseits in ihrer Bewegtheit und ihrem Fortgang von diesem angeleitet wird. In diesem Sinne ist das Skizzieren selbst kreativ. Die eigentümliche Wechselhervorbringung von Gedanke und zeichnerischer Form begründet die charakteristische Eigenart der erfinderischen Handzeichnung, schwer lesbare „dichte“ Beschreibung zu sein.

Nicht nur die heuristische Leistung, sondern auch die alltagspraktische Bedeutung der unscheinbaren Gebilde aus wenigen Strichen ist erstaunlich. Dieser Beitrag wirbt für eine Überprüfung von Leistung, Wirkung und Wert des Skizzierens als genau genommen vorsprachliches und nicht zuletzt durch interpretative Flüchtigkeit gekennzeichnetes Tun. Gerade die typische interpretative Dehnbarkeit der flüchtig hingeworfenen Skizze ist eine ihrer Stärken, kreatives Moment in nuce und Quelle der Inspiration.

## 1 ZUR VIELFALT DES SKIZZIERENS

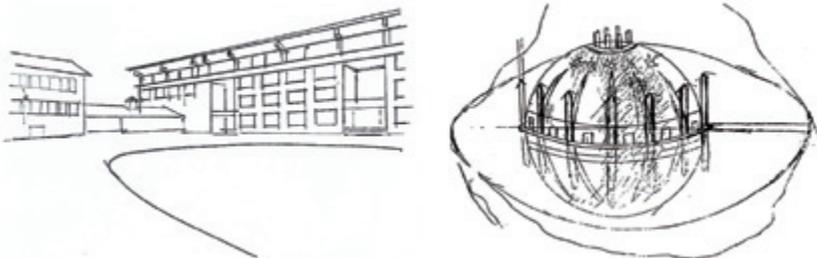
Die technische Handzeichnung ist ein Element des technischen Wissens, des technischen Entwurfs und seiner Vermittlung. In seiner Funktion und Bedeutung ist das Skizzieren wenig erforscht.<sup>1</sup> Dies steht in gewissem Widerspruch zur Häufigkeit seines Vorkommens.

Das Feld der technischen Skizze reicht von der frei im Flug der Gedanken gegriffenen, aufs Papier oder eine Tafel geworfenen, flüchtigen zeichnerischen Andeutung, die aus nur einem Strich bestehen kann, zum Beispiel einer formschlüssigen Verbindung im Maschinenbau, über skizzierte mehrkomponentige Anordnungen von Elementen beliebiger physikalischer Größenordnung, bis hin zu elaborierten, auch kolorierten und digital nachbearbeiteten Architekturskizzen, die planvoll in aufwendiger Zeichenarbeit entstehen. Es scheint, als ließe sich alles skizzieren, von Molekulanordnungen über die Funktionsweise mikro-elektromechanischer Schalter bis zur Ansicht ganzer Stadtanlagen in Vogelperspektive. Dabei sind je nach Fall die nachfolgend genannten Aspekte von wechselnder Bedeutung.

### PRÄGNANTE DARSTELLUNG EINER IDEE

Mit Skizzen können räumliche Anordnungen in besonderer Weise prägnant dargestellt werden. Das händische Skizzieren ist daher im Bereich der Architektur heute noch weit verbreitet, und zwar nicht nur in den ersten Phasen des Entwurfprozesses. Eine Skizze kann das Wesentliche eines Entwurfs in prägnanter Weise zur Geltung bringen. Dabei spielt offenbar eine Rolle, dass die Skizze im Detail gerade nicht realitätsgetreu ist und auch, dass die Strichstärke desselben Striches oder derselben Kontur variieren kann – im Unterschied zur Ausführung einer normgerechten Architekturzeichnung, und auch im Unterschied zur Ausführung der Skizze mit einem computergestützten Zeichenprogramm.

Abbildung 1: Architekturskizzen; Hochschule (links), Konzertsaal (rechts).



Quelle: Wikimedia Commons.

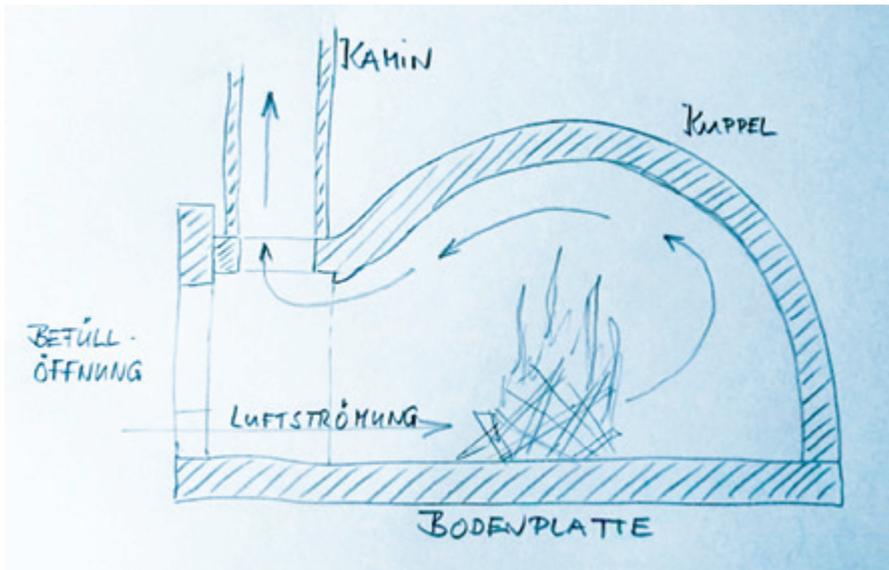
<sup>1</sup> Vgl. Ferguson 1993, Sachse 2002 und Pache 2005.



### DARSTELLUNG EINES FUNKTIONSPRINZIPS

Auch zur Darstellung, wie etwas funktioniert, werden Skizzen mit Erfolg eingesetzt. Technische Prinzip- oder Funktionskizzen sind hochgradig theoretisch aufgeladene Zeichnungen. Es finden sich in diesen Skizzen sehr oft Anordnungen von Strichen, die wesentliche räumliche Verhältnisse von Gegenständlichem bezeichnen, ohne dass Maßstabsangaben gemacht werden oder notwendig erscheinen. Hingegen werden oft wortsprachliche Ergänzungen zur Bezeichnung von Teilen oder Effekten hinzugefügt. Die Prinzipskizze ist nicht realistisch im Detail. So ist etwa die zeichnerische Variation der Wandstärke bei der Kuppel in Abbildung 3 unschädlich für das richtige Verständnis der Zeichnung. Man käme nicht auf den Gedanken, bei Herstellung eines solchen Kuppelofens nach dieser Skizze die Wandstärke der Kuppel maßstäblich der Skizze nachzubauen. An den mit „Luftströmung“ bezeichneten Pfeilen wird deutlich, dass zum richtigen Verstehen einer solchen Skizze ein umfangreiches physikalisch-technisches Vorverständnis notwendig ist. Beispielsweise ist hier das Wissen investiert, dass warme Luft nach oben steigt.

Abbildung 3: Handskizze Kuppelofen.



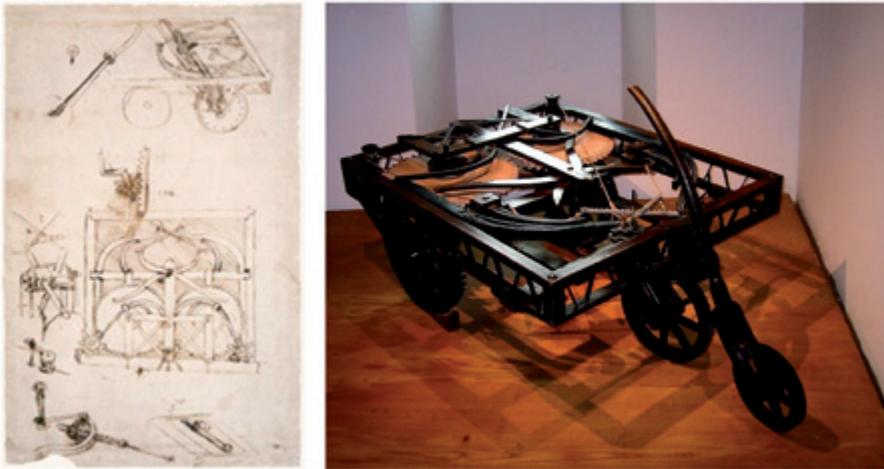
Quelle: Wikimedia Commons, Zeichner Herbert Reichart.

## DARSTELLUNG EINES KONSTRUKTIVEN AUFBAUS

In großer Zahl werden heute noch Skizzen im Bereich der Konstruktion angefertigt. Hier spielt sich maßgeblich die Stärke der Skizze aus, räumliche Anordnungen prägnant wiedergeben zu können. Auch dass eine Skizze zur gleichen Zeit das Prinzip einer Funktion sowie ergänzend wesentliche maßstäbliche Verhältnisse übersichtlich wiedergeben kann, ist hierbei von Wert.

Technische Skizzen finden sich schon früh in der Geschichte. Sicher nicht zuletzt auch durch ihren besonderen ästhetischen Reiz sind die technischen Skizzen Leonardo da Vincis berühmt geworden.

Abbildung 4: Skizze Leonardo da Vincis (links), Nachbau des automatischen Wagens (rechts)



Quelle: Wikimedia Commons

Man geht heute davon aus, dass vieles, was Leonardo zeichnete, zu seiner Zeit nicht realisiert wurde oder realisiert werden konnte. Dass eine Realisierung nach der Skizze in vielen Fällen aber möglich ist, zeigen verschiedene heutige Nachbauversuche. Es zeigt sich dabei allerdings immer wieder, dass diese Skizzen nicht vollständig im Sinne einer Bauanleitung sind – und das sollten sie vielleicht auch nicht sein. Ihr Wert für den Urheber könnte in erster Linie darin gelegen haben, persönliche Gedächtnisstütze und Informationsspeicher zu sein.

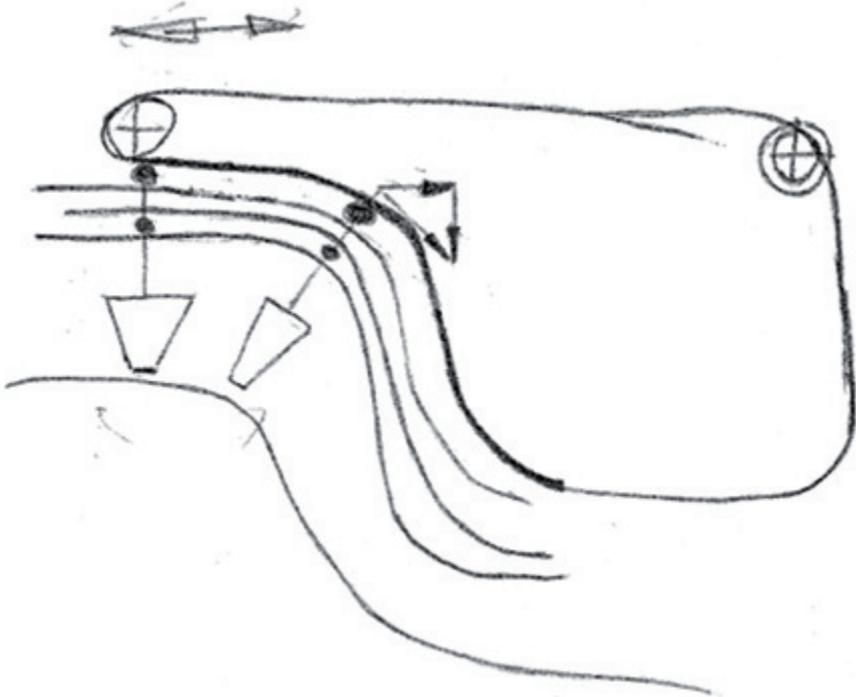
Eben diese Funktion, nämlich Informationsträger zu sein, erfüllen Skizzen sehr oft an erster Stelle: Die Information wird zur Entlastung des Urhebers in einem Medium gespeichert. Oder das Medium der Skizze wird benutzt, um eine Information weiterzuge-

ben, sei es in lehrender oder anweisender Absicht.

Die Ausführung der Handskizzen erreicht hingegen nur selten das Niveau und die Sicherheit des zeichnerischen Striches eines Leonardo. Was im Übrigen für die Funktion der Skizzen und ihren Wert im konstruktiven Prozess ohne Bedeutung ist.

Außer den oben genannten Skizzen, die Fertiges oder Fertig-Ausgedachtes festhalten, gibt es auch Skizzen, welche im Entwurfsprozess entstehen, im Zuge einer gedanklichen Auseinandersetzung mit einer Idee, im Zuge ihrer Ausarbeitung und Klärung. Bei diesen Skizzen, auf die es mir in diesem Beitrag besonders ankommt, deren endgültige Ausformung am Anfang nicht abgesehen wird oder werden kann, finden sich alle genannten Aspekte oder Zwecke des Skizzierens je nach Fall in unterschiedlicher Ausprägung. Es werden räumliche Verhältnisse und Funktionsprinzipien zur Darstellung gebracht und ergänzende Elemente – häufig Pfeile, auch Beschriftungen – vervollständigen das jeweilige Ensemble von Strichen, das dynamisch entsteht.

Abbildung 5: Skizze zur Lösung einer Konstruktionsaufgabe.



Quelle: Pache 2005, S. 98.

## DAS INNERE AUGE

Eine wichtige Voraussetzung allen Skizzierens ist das Vermögen der Veranschaulichung, also das Entstehen „innerer Bilder“. Der Ingenieur und Techniktheoretiker Eugene Ferguson sagt: „Bevor etwas gemacht wird, existiert es als Gedanke. Der Gedanke kann eine deutliche Vorstellung sein oder auch wenig mehr als ein Hauch einer Möglichkeit.“<sup>3</sup> „Jeder, mit Ausnahme höchstens der Menschen, die nicht träumen, ist mit inneren Bildern vertraut. Viele von uns machen ohne nachzudenken von unseren nichtsprachlichen Fähigkeiten Gebrauch, wenn wir uns wirkliche Dinge und Dinge, die es nur in unserer Vorstellung gibt, veranschaulichen. Die Fähigkeit zur Veranschaulichung ist so weit verbreitet, dass viele Menschen überrascht und etwas misstrauisch sind, wenn sie hören, jemand mache sich beim Nachdenken niemals ein inneres Bild.“<sup>4</sup> „Das innere Auge“, sagt Ferguson, „der Ort unserer Bilder der erinnerten Wirklichkeit und des imaginierten Gebildes, ist ein unglaublich fähiges und differenziertes Organ.“<sup>5</sup>

Der hier beispielhaft genannte Ferguson fasst, wie andere vor und nach ihm, den physiologischen Ort der visuellen Vorstellungskraft als ein Körperorgan auf – das „innere Auge“. Damit wird dem Vermögen der inneren Visualisierung mehr oder weniger metaphorisch eine anthropologische Verankerung in der somatischen Struktur des Menschen und eine gewisse Naturwüchsigkeit zugeschrieben. Diese Verkörperlichung eines geistigen Vermögens wird vor dem Hintergrund erklärlich, dass technisches Denken lange Zeit nicht als eine höhere geistige Tätigkeit galt.<sup>6</sup> Die Metapher vom „inneren Auge“ nimmt geschickt den Anwurf auf, dass technisches Denken körperlichen, also niederen Wesens ist, behauptet aber gleichzeitig, dass dieses Denken im Rang und Adel eines wirklichen Sehens steht. Denn das Auge gilt seit der Antike als ein vornehmes Organ, insbesondere als Organ der Erkenntnis.

Die verbreitete Ansicht, alles Zeichnen sei Abbilden, wird gestützt und gefestigt durch die Metapher vom „Sehen innerer Bilder“, aber auch durch die vorhandene und täglich vermehrte große Zahl von Zeichnungen, die tatsächlich Abbildungen sind oder sein wollen. Es liegt aber weder der Ursprung des Zeichnens noch sein alleiniger Wert oder sein bestes Vermögen darin, Abbilder von Gegenständlichem zu schaffen, also ein Etwas wiederzugeben, sei es ein existentes oder gedachtes reales Ding.

Eine technische Handzeichnung, wie sie etwa in der Besprechung eines Entwicklungsteams durchaus auch von mehreren Personen zu Papier oder an die Wand gebracht wird, ist keine unvollkommene Abbildung eines vorgestellten Dings oder schon fertigen bzw. weitgehend fertigen Gedankens – etwas anderes als ein „nur noch“ sicht-

<sup>3</sup> Ferguson 1993, S. 16.

<sup>4</sup> Ferguson 1993, S. 47.

<sup>5</sup> Ebd.

<sup>6</sup> So galten die mechanischen Künste bis in die frühe Neuzeit als „*artes sordidae*“ – schmutzige Künste. Der Erfindungstheoretiker Alard du Bois-Reymond vergleicht noch 1906 das Erfinden mit dem geistvollen Dichten, um es in einen höheren, nämlich denselben hohen Rang zu heben (vgl. du Bois-Reymond 1906). Auch dass den Technischen Universitäten das Promotionsrecht lange verweigert wurde, mag als Beleg gelten.

bar gemachter, hervor- oder herausgebrachter Gedanke, wie es die unreflektierte, im Grunde platonische Auffassung will. Das Skizzieren selbst bildet den Gedanken weiter. In der räumlichen Auslegung und Darlegung mit dem Zeichenstift bewährt sich die erste Idee und findet zur Form, findet sich gewissermaßen, wenn die reflexive Formulierung hier erlaubt sein mag, um anzudeuten, dass sich bei diesem Zusammenspiel von Kopf und Hand unbemerkt etwas im besten Sinne Irrationales ereignet.

Skizzieren im Rahmen eines Erfindungsgeschehens, also am „Quellpunkt der Technik“<sup>7</sup>, hat demnach zwar eine gewisse Familienähnlichkeit mit dem Skizzieren als schemenhaft flüchtigem Abbilden von Gegebenem, wie es zum Beispiel bei einer Akt-skizze der Fall ist oder beim Anzeichnen des nächsten Wegs zum Bahnhof auf einen Bierdeckel. Beim kreativen Skizzieren aber wird noch eine wesentlich andere Funktion wirksam, nämlich eine gedankenpräzisierende, eine bildende oder poetische, hervorbringende Funktion.

## 2 ERKENNTNISSE DER HAND

Der *zeichnerische Realismus* entwickelte sich nach Ansicht des Anthropologen André Leroi-Gourhan in der menschlichen Vor- und Frühgeschichte nur allmählich und kann damit als eine Kulturleistung gelten, ist jedoch in seiner heutigen Vorrangstellung eine historisch kontingente Ausprägung des zeichnerischen Vermögens des Menschen. Das Zeichnen am kulturhistorischen Anfang war nicht realistisch, sondern abstrakt.<sup>8</sup> Auch der Ursprung des zeichnerischen Darstellens überhaupt, des Graphismus selbst, liegt, so vermutet Leroi-Gourhan, im Abstrakten, nämlich im Rhythmus – und damit „nicht in der naiven Darstellung der Wirklichkeit.“<sup>9</sup> In der Geschichte der Kunst, von ihren deutungsschwierigen Anfängen bis hin zur heutigen Zeit, lässt sich verfolgen, wie die abstrakte oder abstrahierte Darstellung zunehmend einem Realismus der Darstellung wich. Wobei der Berührungspunkt von Abstraktem und Figurativem etwa in der Herausbildung der Schrift, in Heraldik und Werbung, immer erhalten und fruchtbar blieb.

Die ältesten Spuren des Graphismus finden sich nach Leroi-Gourhan auf 35 000 Jahre altem Knochen oder Stein in Form von kufenförmigen Linien oder Folgen von Kerben. Der Anthropologe sieht in diesen Produkten ein „rhythmisches Hilfsmittel mit Beschwörungs- oder Deklamationscharakter.“<sup>10</sup> Vergegenwärtige man sich an dieser Stelle einmal – mit einem Sprung in die Jetztzeit – wie im Rahmen eines technischen Vortrags, etwa einer technikwissenschaftlichen Grundstudiumvorlesung, die grundlegenden Formeln und Zusammenhänge des Fachs an die Tafel gebracht werden: Es scheint mir hier

<sup>7</sup> Dessauer 1956.

<sup>8</sup> Vgl. Leroi-Gourhan 2000, S. 458.

<sup>9</sup> Leroi-Gourhan 2000, S. 240.

<sup>10</sup> Leroi-Gourhan 2000, S. 239.

aus frühester Zeit etwas erhalten geblieben. Und möglicherweise gilt der Zusammenhang auch für das kreative Skizzieren im Bereich der Technik.

Gerade beim Zeichnen des Neuen, des noch nicht oder nicht einmal klar Gedachten, des eben Gestalt Annehmenden, geht die zeichnende Bewegung der Hand oft mit der Sprache einher, mit dem laut gesprochenen Fluss der Worte oder auch mit dem leise Gedachten, welches aus Verschiedenstem, aus Worten, Tönen, Fragmenten von Sprachlichem oder auch aus Bildlichem oder hybrid aus Sprache und Bild Entstandenem bestehen kann. Die Klammer der darstellenden Bewegung der zeichnenden Hand und der dieser Bewegung korrespondierenden Bewegung des Gedankens bildet dabei, funktional in der somatischen Struktur verwurzelt, eben ein Rhythmus, der ein je eigener ist und ein sehr persönlicher sein kann.

In dieser rhythmischen Verklammerung liegt der Grund und die Erklärung für verschiedene Besonderheiten des kreativen technischen Skizzierens, etwa des empirisch beobachtbaren „Probierens“<sup>11</sup>, wenn der Stift schwebend über das Papier geführt wird, häufig in mehrfach wiederholter Bewegung eine Kontur gleichsam „in der Luft“ vorbildet, bevor dann (oder auch nicht) ein Strich, eine Linie, zu Papier gebracht wird.

Es handelt sich dabei nicht um ein Ausprobieren: dass die gewünschte Kontur auch im zur Verfügung stehenden Raum ganz und proportional richtig ausgeführt werden kann.<sup>12</sup> Es ist auch weniger ein Probieren, dass die Hand für die Ausführung der gewünschten Kontur auch den richtigen Schwung haben wird. Das Probieren ist vielmehr integraler Bestandteil der rhythmisch gebundenen, zeichnerischen Hervorbringung einer Lösungsgestalt in der leiblichen Verschränkung von innerer und äußerer Bewegung. Und für diese integrale Hervorbringung (poiesis) ist der richtige Schwung von gewisser Bedeutung.

Eine der frühesten Übersetzungen des griechischen Wortes für Idee (ἰδέα, lat.: idea) ist Gestalt. Wenn wir annehmen, dass jede erfinderische Idee eine Gestalt ist<sup>13</sup> und daher auch mit einer der Gestaltauffassung eigenen, sinnlichen Dichte auftritt, so ergibt sich zwanglos, was dem Praktiker vertraut ist: dass konstruktive Lösungen ebenso erdacht wie sinnlich komplex erfahren und durchtastet werden. Das in der Praxis häufig ungenau bestimmte oder unterbestimmte „Problem“ spannt einen Lösungsraum auf, in welchen einzutauchen Aufgabe und Herausforderung ist. Das Ergebnis dieser Anstrengung wird allerdings von irrationalen und emotionalen Aspekten bereinigt präsentiert.<sup>14</sup>

So gefasst erklärt sich auch, warum der zeichnerisch kreative Prozess so irritabel ist hinsichtlich Störungen in den äußeren Mitteln, dass beispielsweise im Wege Befind-

<sup>11</sup> Pache 2005, S. 102ff.

<sup>12</sup> Etwa um zu vermeiden, was man gelegentlich auf alten, in Stein geschlagenen Inschriften sehen kann, nämlich dass dem Steinmetz zum Ende hin der Platz ausging und die letzten Buchstaben kleiner gemacht werden mussten, als hätte man das Ende nicht absehen können.

<sup>13</sup> Vgl. Glotzbach 2006, S. 95ff.

<sup>14</sup> So werden auch die meisten Skizzen gleich oder bald weggeworfen. Denn an einer Aufbewahrung von Irrwegen und Unsinn scheint niemandem gelegen. Aber auch unstrittig „richtige“ Skizzen werden beseitigt, wenn und weil genauere und klarere, „richtigere“ Darstellungen vorliegen.

liches einfach hinweg gefegt und schon Geschriebenes oder Gezeichnetes geradezu hemmungslos überschrieben werden kann, wenn im Schwung der Bewegung der Platz nicht ausreicht oder nicht auszureichen scheint. Weil diese Bewegung eine integrale oder gekoppelte und so gesehen einzige ist, in welcher innere Gedankenbewegung und äußere Bewegtheit gleichermaßen zusammenfließen. Rhythmus ist die Form dieser Korrespondenz, dieser dichten Verschränkung von Innen (Gedankenbewegung) und Außen (Bewegung der Hand), die weder eine inhaltliche noch eine logische, sondern eine leibliche Verschränkung ist.<sup>15</sup> Das Individuum kann unter Umständen ganz davon eingenommen sein.

Unsere Auffassung vom kreativen Handeln ruht zwar auf dem zeitgeschichtlich jungen Fundament eines individuellen Selbstbewusstseins und Selbstverständnisses, also auf der Annahme eines Individuums, das unterschieden ist von der Welt. Kreative Tätigkeit schöpft sich jedoch überall aus einer tiefliegenden Schicht menschlichen Vermögens, die unsere Rhetorik einer vorliegenden Welt und einem in ihr zu bearbeitenden Material nicht kennt.<sup>16</sup> Die ständige Anleihe, die der kreative Prozess bei einer Weltauffassung nimmt, die Innen und Außen keineswegs reinlich scheidet, sondern ursprünglich ineins gehen lässt, sollte nicht als psychologisch dunkles Residuum ignoriert, sondern in ihrem eigenen Recht verstanden und ernst genommen werden.

### 3 DAS SKIZZIEREN ALS GESTALTAUFFASSUNG

Das von Sachse genannte Aufgabenbündel zeigt gut den ganzheitlichen Bewegungscharakter des Skizzierens: „Die Skizze besteht aus wenigen Strichen zur Verdeutlichung einer Anordnung, eines Prinzips oder einer Form. Sie dient u.a. dem Ziel, Gedanken und Ideen für Lösungen näherungsweise zu formulieren, zu veranschaulichen, auszuprobieren, zu konkretisieren und vorläufig zu fixieren, ferner funktionelle, räumliche und konstruktive Strukturen skizzenhaft abzutasten, Lösungsvarianten zeichnerisch einzukreisen, Lösungsversuche zu vergleichen und Lösungswege sichtbar zu machen.“<sup>17</sup>

Skizzieren ist nicht Abbilden von Vorhandenem, bereits fertig Ausgedachtem. Der Zeichenstift fährt nicht die vorausgedachte Kontur eines inneren Bildes ab und nach. Skizzieren ist in einem ganz eigenen Sinne produktiv: „Das Skizzieren bzw. Modellieren“, sagt Sachse, „hat beim entwerfenden Problemlösen eine grundlegende lösungserzeu-

<sup>15</sup> Die Annahme eines Rhythmus als integralbildende Substruktur oder Medium im kreativen Darstellungshandeln könnte mit dem anthropologischen Fundamentalcharakter von Rhythmus begründet werden. Die Plausibilität der Konstruktion würde aber dadurch nicht wachsen. Ich möchte hier zur Begründung auf die Erfahrung und das Erleben der technisch kreativ Tätigen verweisen. Sie werden es mir hoffentlich zugeben. Die Forschung zur Thematik oder Problematik einer wissenschaftlichen Fassung der besonderen Form der Innen-Außen Verschränkung im Bereich der technischen Kreativität ist fragmentarisch und noch in den Anfängen (vgl. Sachse 2002, S. 67ff).

<sup>16</sup> Es hat sich leider die Auffassung weit verbreitet, wonach das Ich aus den Augen herauszuschaut, wie ein Kranführer aus seinem Führerhaus.

<sup>17</sup> Sachse 2002, S. 39-40.

gende und prozessunterstützende Wirkung.“<sup>18</sup>

Hier ist aus der Beobachtung der Praxis eine Erkenntnis formuliert, die bislang von der Theorie nicht eingelöst wird. Wie kann das Skizzieren als Hilfstätigkeit im Entwurfsprozess Lösungen erzeugen? Begreifbar wird dies jedoch, wenn man das Skizzieren nicht als einen äußeren Prozess oder einen Prozess der Äußerung versteht, sondern als eine Seite, einen Aspekt oder räumlich-leibliche Ausprägung eines ganzheitlichen Erkenntnisprozesses, der eine Lösungsgestalt zur Darstellung bringt.

Handzeichnungen sind in diesem Sinne grundverschieden von Bildern, die in der wissenschaftlichen Diskussion zur Herstellung und Sicherung von Plausibilität eingesetzt werden. Die Bilder der Traumforschung sind ein Beispiel hierfür:

„Die gegenwärtig zu beobachtende neurowissenschaftliche Ikonophilie“, sagt Andreas Mayer, gründet in einem Topos, der sich griffig und etwas schematisch als der des „fotografischen Bildgedächtnisses“ beschreiben lässt.“<sup>19</sup> Demnach werden im Wachzustand über den Sehapparat Bilder in das Gedächtnis eingespeist (Kamera), die im Traumzustand aus dem Gedächtnis wieder hervorgeholt werden können (Projektor). Die experimentelle Schlaf- und Traumforschung demonstrierte heute ihre Funde „mit einer Fülle von Bildern, die inzwischen durch technisch aufwendige Verfahren hergestellt werden“<sup>20</sup>, während Sigmund Freuds Traumdeutung aus dem Jahre 1899 noch keine einzige Abbildung enthält.<sup>21</sup>

Auf Basis mechanistischer Metaphern für das Erkennen hat sich eine Bildverliebtheit breit gemacht, die im Fall der Träume oder Traumgesichte deren vorrangigen Bildcharakter behauptet und dabei die schwer darstellbare sinnliche Komplexität des Traums in den Hintergrund treten lässt. Wenn auch das, was im Traum erscheint, erkannt, erlebt und durchfühlt wird – ebenso wie die Lösung eines technischen Problems beim Erdenken – mehr Gestalt als Bild sein mag. Wobei Traumgestalt und Lösungsgestalt in der Ausprägung beispielsweise des Realitätsaspektes sicherlich zu unterscheiden, im Wesen aber mehr als verwandt sein dürften.

Damit erhält nebenbei die Beobachtung, dass technischen Ideen oder Erfindungsgedanken gelegentlich im Wachtraum oder Halbschlaf ihren Ursprung oder Ausgang nehmen, eine systematische Deutung. Denn Übergänge zwischen verschiedenen Bewußtseinszuständen sind für die Gestaltauffassung nicht Hürden oder Barrieren. Die Gestalten gleiten mühelos über diese Grenzen hinweg und gerade die ephemeren Über-

---

<sup>18</sup> Sachse 2002, S. 171.

<sup>19</sup> Mayer 2008, S. 93.

<sup>20</sup> Ebd.

<sup>21</sup> Vgl. Mayer 2008, S. 102.

gangsphasen, die Aufenthalte in den Zwischenräumen, erweisen sich als fruchtbar für die kreative Produktion.

Eine weitere Eigenheit der Gestaltauffassung ist, dass eine Person sich als von der eigenen Auffassung betroffen erleben kann: Das „Haben“ einer Idee trägt häufig den Charakter eines Widerfahrnisses. Dies ist ein wichtiger Hinweis und ein Anhaltspunkt dafür dass für ein besseres Verständnis des Erfindungsgeschehens die lebendige Gestaltauffassung fundamental der reflektierenden, diese Auffassungsprozesse begleitenden Ratio vorgeordnet werden sollte.

Dass Eigenes, Selbstgebildetes als überraschend Neues wahrgenommen oder aufgenommen werden kann, zeigt sich in einer ganz spezifischen und nicht selten produktiven Weise auch bei der Handzeichnung, die als materialisiertes Element des Darstellungshandeln ein stückweit aus der innigen Innen-Außen-Verschrankung der Gestaltauffassung herausgerückt ist und daher leicht und wie von ungefähr Gegenstand kreativer Umdeutung und Neuinterpretation werden kann. Gezeichnete Strukturen können umgehend, wenn sie einmal da sind, von derselben oder einer anderen Person, als etwas anderes aufgefasst und umgedeutet werden.<sup>22</sup>

Umdeutung oder Umnutzung von Vorhandenem ist eine kaum versiegende Quelle technischer Neuerung. Dass etwas als etwas anderes genommen wurde oder wird, ist charakteristisch für einen Typus von Erfindungen, zu dem auch viele der überall anzutreffenden, meist wenig spektakulären „Alltagserfindungen“ gehören.<sup>23</sup>

Das Interpretations- oder Umdeutungspotenzial ist dort besonders groß, wo die Auslegung und Festlegung im Material nicht vollständig ist. Gerade die der Handskizze fehlende realistische Ausgestaltung und Detailtreue, ihre flüchtige Linienführung – dass sie aus „hingeworfenen“ Strichen besteht – dies erlaubt und ermöglicht besonders gut die Neuauslegung oder Andersinterpretation der Skizze oder Teilen von ihr im kreativen Prozess.

#### 4 UN AUSGESCHÖPFTE POTENZIALITÄT

Die Herausbildung und Konkretisierung eines erfinderischen Gedankens hat vielleicht mehr mit „Fühlen“ zu tun, als gerne zugegeben wird. Natürlich möchte niemand Leib und Leben oder die Zukunft eines Unternehmens einer „gefühlte richtigen“ technischen Lösung anvertrauen. Und so folgen, sofern es zur Umsetzung kommt, ja auch immer die Schritte der Bewährung und Validierung des Erfindungsgedankens im und am Material

<sup>22</sup> Martin Pache (vgl. Pache 2005, S. 95ff) berichtet von einem Probanden, der die Aufgabe des Entwurfs einer Laserführung zunächst mit einem Schienensystem löste, wobei er an einer Stelle der Skizze ein Geschwindigkeitsvektorendiagramm hinzufügte, welches eine Dreiecksform hatte. Dann entwarf der Proband eine andere, neue Lösung unter Ansatz eines in Dreiecksgestalt laufenden Bandes. Dabei wurde zeichnerisch ein Teil des Bandes der neuen Lösung von einem Teil der alten Führungsschienenlösung gebildet. Ein Bereich der Zeichnung wurde also umgedeutet (Schiene wurde zu Band) und das Vektorendreieck war möglicherweise der Anlass, im Analogieschluss für die neue Bandlösung die technisch im Übrigen sinnvolle Dreiecksform zu wählen (vgl. Abbildung 5).

<sup>23</sup> Glotzbach 2006, S. 68.

der Welt. Mir kommt es hier aber darauf an, den Blick auf die frühen Phasen der Produktentstehung einmal ein wenig frei zu räumen von der (rhetorischen) Überlastung oder Überblendung durch den Anspruch systematischen Vorgehens.

Logisch systematische Hilfsmittel des Entwerfens und Erfindens gehören heute zweifellos zu Recht zum Standardrepertoire zeitgemäßer Produktentwicklung und erhöhen die kreative Produktivität in erstaunlichem Maße. Wir verstehen jedoch das Erfinden besser, wenn wir die Logik nicht zu weit hinab reichen lassen in den kreativen Grund.

Wenn Ideen in pragmatischer Auffassung und unter Anerkennung ihrer körperlich-leiblichen Bindung wesentlich Gestalten sind, hat übrigens auch naturwissenschaftliche Erkenntnis, die ausgeht von einer Idee, wie es sein könnte, Gestaltcharakter. Technik jedoch richtet sich, anders als Naturwissenschaft, auf Gestaltung, auf das Erreichen von Zwecken, das Herstellen von Funktionen, letztlich allein auf das Erreichen des „Funktionierens“.

Ein Gespür oder Gefühl für das Material ist dabei für den technischen Entwurf von großem Nutzen. Erfahrungsaspekte sind integrale Bestandteile von Lösungsgestalten. In der bereinigten Darstellung des kreativen Ergebnisses, wenn die Handzeichnung etwa in CAD überführt wird, sind diese Elemente oder Aspekte nicht sichtbar. Auch die Handzeichnung zeigt sie kaum. Gerade hierin aber liegt womöglich ein nicht ausgeschöpftes Potenzial. Wir können heute Lösungsgestalten in ihrer ganzen Mehrdimensionalität und sinnlichen Komplexität nicht zeichnen oder skizzieren.

Unser Darstellungshandeln ist sehr an der Linearität oder Eindimensionalität der Sprache (ein Wort folgt dem anderen) ausgerichtet und daran orientiert. Die enorme Leistungsfähigkeit dieses Ausdruckshandelns, gesteigert durch die Schrift, die ein am Wort oder Sprechen ausgerichtetes lineares Graphismus ist, hat die Potenzialität der Zeichnung, nämlich mehrere Dimensionen gleichzeitig fassen zu können, ganz in den Hintergrund treten lassen. Leroi-Gourhan weist auf die Mehrdimensionalität der frühen Graphik des Menschen hin.<sup>24</sup> Liebe sich nicht das fundamentale menschliche Vermögen, Zeichnungen schaffen zu können, die mehr als Bild oder Abbild im realistischen Sinne sind, zum Nutzen der Technik und ergänzend zu bereits verfügbaren Mitteln ausbilden und üben?

---

<sup>24</sup> Vgl. Leroi-Gourhan 2000.

Dass wir uns trotz der durch CAD erschlossenen neuen Möglichkeiten eine gewisse Einengung bei der zeichnerischen Darstellung auferlegt haben, wurde bemerkt. Wenn CAD-Designer neben ihrem Rechner noch oder wieder einen Block Papier liegen haben, auf dem sie skizzieren, ohne dass dies sozusagen nötig wäre, dann drückt sich darin ein gestalterisches Bedürfnis aus. Design am Bildschirm entsteht durch minimale Bewegung von Arm und Hand, durch Mausbewegung und Mausklick. Neue computergestützte Hilfsmittel erlauben wieder eine Art freihändiges Zeichnen, das 3D-Zeichnen im virtuellen Raum.<sup>25</sup>

Ihr Einsatz ist jedoch noch mit einem großen Aufwand verbunden (Einsatz mehrerer Projektoren, Tragen einer Brille, Begrenzung auf eine Zeichenkabine, große Rechenleistung), so dass der alltagspraktische Einsatz der „3D-Sketcher“ fern scheint.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Das Medium der Zeichnung eröffnet die Möglichkeit eines mehrdimensionalen Bedeutungsraums – die Möglichkeit einer Mehrdimensionalität, welche der linear gesprochenen oder geschriebenen Sprache fehlt. Diese potenzielle Mehrdimensionalität ist eine Chance des Skizzierens. Eine Besonderheit des kreativen Skizzierens muss vielleicht nur im europäischen Kulturkreis betont werden: Körper und Geist sind bei dieser Tätigkeit ganz beisammen. Der Ursprung des Graphismus liegt im Rhythmus, und man könnte vielleicht sagen, Handskizzen werden aus der Innen-Außen-Verschränkung *herausgestikuliert*.

Beim kreativen Zeichnen – wie in jedem schöpferischen Tun – erarbeitet oder erwirkt sich das Individuum eine momentane oder temporäre und partielle Verrückung des Welt-Selbst-Verhältnisses. In diesem gestalterischen Prozess nimmt das Ich einerseits eine Supra-Stellung ein („Ich kann“), die gelegentlich sogar offenkundige physikalische Widersprüche unter die Wahrnehmungsschwelle sinken lässt, während andererseits das Auftreten eines neuen Lösungsgedankens nicht selten als Widerfahrnis erlebt wird. Die Auflösung dieses Widerspruchs, dass ein Ich weltgestaltend sich selbst überhebt, andererseits aber vom eigenen Gedanken getroffen werden kann „wie vom Blitz“, bedarf weiterer Anstrengungen der Forschung und insbesondere eines besseren Verständnisses des fundamentalen Verhältnisses von Innen und Außen des Individuums.

Eine erfinderische Idee kann pragmatisch als Lösungsgestalt verstanden werden. Der Gestaltbegriff erlaubt dabei, die sinnliche Komplexität einer Idee aufzunehmen. Wo es uns gelingt, die kreative Entstehung von Lösungsgestalten zeichnerisch in der eigentümlichen Wechselhervorbringung von Gedankenbewegung und äußerer Bewegung zu unterstützen, haben wir zur Förderung und Stützung des Erfindungsgeschehens ein leistungsfähiges Hilfsmittel im wahrsten Sinne des Wortes bei der Hand.

---

<sup>25</sup> Vgl. Pache 2005, S.144 ff.

## LITERATUR

### **Dessauer 1956**

Dessauer, F.: Streit um die Technik, Memmingen: Verlag Josef Knecht, 1956.

### **du Bois-Reymond 1906**

du Bois-Reymond, A.: Erfindung und Erfinder, Berlin: Verlag von Julius Springer, 1906.

### **Ferguson 1993**

Ferguson, E.: Das innere Auge, Von der Kunst des Ingenieurs, Basel et al.: Birkhäuser Verlag, 1993.

### **Glotzbach 2006**

Glotzbach, U.: Technikstil und Gestalt, Zur Ethik gestaltenden Handelns, Hamburg: merus Verlag, 2006.

### **Leroi-Gourhan 2000**

Leroi-Gourhan, A.: Hand und Wort, Die Evolution von Technik, Sprache und Kunst, Frankfurt a. M.: Suhrkamp Verlag, 2000.

### **Mayer 2008**

Mayer, A.: Das Bildgedächtnis der Traumforschung. Bausteine zu einer historischen Kritik. In: Bredekamp, H./Bruhn, M./Werner, G. (Hrsg.): Bildwelten des Wissens. Kunsthistorisches Jahrbuch für Bildkritik, Band 6,1 Ikonographie des Gehirns, Berlin: Akademie Verlag, 2008.

### **Pache 2005**

Pache, M.: Sketching for Conceptual Design, Empirical Results and Future Tools, München: Verlag Dr. Hut, 2005.

### **Sachse 2002**

Sachse, P.: Idea materialis: Entwurfsdenken und Darstellungshandeln. Über die allmähliche Verfertigung der Gedanken beim Skizzieren und Modellieren, Berlin: Logos-Verlag, 2002.



## > DIE HERMENEUTIK DES TECHNISCHEN WISSENS UND DIE ZUKUNFT DER BILDUNG

WALTHER CH. ZIMMERLI

Die Formulierung des Titels ist in verschiedener Hinsicht anstößig:

Allein schon über technisches Wissen nachdenken zu wollen scheint unmöglich, weil paradox zu sein; Technik, im Wortsinne aus dem griechischen ‚technē‘ abgeleitet, scheint mehr mit Können und Kunst als mit Wissen und Kognition zu tun zu haben. Theoretisches Wissen – gewiss; aber technisches Wissen? Und in der Tat lebt unsere abendländische epistemologische Tradition von der Differenz zwischen Technik und Wissen. Wissen, griechisch ‚epistēmē‘, ist die – idealistisch oder materialistisch interpretierte – Repräsentation der Welt durch den Menschen und folgt seit der Antike eher dem Muster des kontemplativ-beschauenden Erfassens der Welt als dem des technisch-pragmatischen Umgestaltens. Aber diese scharfe Entgegensetzung, noch bis in die Bildungssysteme des 19. und 20. Jahrhunderts hinein konstitutiv sowohl institutionell für den akademischen Betrieb, als auch individuell für das eigene Selbstverständnis, beginnt zu verschwimmen. Genauer: die Wissenstopologie des 21. Jahrhunderts ist durch eine tendenzielle Hybridisierung von Wissen und Können, von theoretischer und praktischer Welterfassung gekennzeichnet. Erneut institutionen-theoretisch formuliert: spätestens seit sich die Polytechnischen Schulen zu Technischen Hochschulen und diese zu Universitäten entwickelten, wurde deutlich, dass sich der Alleinvertretungsanspruch in wissenschaftlicher Hinsicht, den die klassischen Universitäten erhoben hatten (und zum Teil immer noch erheben), nicht mehr halten ließ. Interessant wird es sein, als nächsten Schritt das Zusammenwachsen von (Technischen) Universitäten und Fachhochschulen sowie in einem dritten Schritt die Annäherung von hochschulischer und dualer Bildung, das heißt von Wissen und bislang – in den deutschsprachigen Ländern – noch mittelalterlich-zünftisch organisierte Berufsbildung im Handwerk zu beobachten. Wenn dieser Punkt erreicht sein wird – dass dies in nicht allzu ferner Zukunft der Fall sein wird, steht für mich außer Frage –, dann wird der Wissenshorizont der Moderne sich seinerseits endgültig reflexiv modernisiert haben.

Aber noch ein zweites paradoxes Element steckt im Anspruch, den die Titelformulierung erhebt: Mit der schrittweisen gegenseitigen Durchdringung von Wissen und Können, traditionell als die Verbindung von „Theorie und Praxis“ verstanden, geht, durch den Begriff „Hermeneutik“ angezeigt, eine weitere Grenzüberschreitung einher, nämlich diejenige der seit C. P. Snow so genannten „zwei Kulturen“.<sup>1</sup> Noch nehmen wir es als gleichsam gottgegeben hin, dass unser Wissenskosmos in Natur- und Geisteswis-

---

<sup>1</sup> Snow 1987.

senschaften zerfällt, obwohl bei genauerer Betrachtung ohne weiteres einleuchtet, dass diese Aufzählung nicht vollständig ist. Es fehlen nicht nur die Technik- bzw. Ingenieurs-, sondern auch die Sozialwissenschaften. Kurz und plakativ gesagt: wer von „zwei oder drei Kulturen“<sup>2</sup> spricht, kann nicht bis vier zählen.<sup>3</sup> Der Anspruch, den die Formel von der „Hermeneutik des technischen Wissens“ erhebt, ist also auch in dieser Hinsicht anstößig und bedarf der Erläuterung.

Schließlich taucht als vierter Begriff neben Technik, Wissen und Hermeneutik noch der Begriff „Bildung“ auf. In der traditionellen, in diesem Falle von Humboldt geprägten Wissensfigur der Moderne ist dieser Begriff noch eindeutig mit „Hermeneutik“ und „Geisteswissenschaften“ assoziiert, während die Naturwissenschaften höchstens am Rande und die Ingenieurwissenschaften oder gar die Technik gar nicht dazugehörten. Diese verfiel eher dem platonischen Verdikt der „Banausie“ (das allerdings vermutlich auf einem großen Missverständnis oder vielleicht sogar Selbstmissverständnis beruht). Dass das epistemische Tableau sich auch in dieser Hinsicht zu verschieben beginnt, mag in Formeln wie derjenigen von der „anderen Bildung“ aufscheinen, mit der Ernst P. Fischer auf die anachronistische Situation aufmerksam zu machen versuchte, dass auch heute noch naturwissenschaftliches oder gar technisches Wissen im Gegensatz zu demjenigen, das sich auf Literatur und Kunst bezieht, in Sachen Bildung nicht hoffähig ist.<sup>4</sup>

Worum es mir im Folgenden geht, ist eine Klärung dieser Topologie, anders: die Beschreibung der unterschiedlichen Fronten, an denen die Bildungsschlacht heute geschlagen wird. Zu diesem Zwecke soll in einem ersten Schritt das Verhältnis von Hermeneutik und Wissen exponiert werden (I), um dann nach dem Verfahren von extremal positionierten Begriffspaaren das Ideenfeld des Wissens in seine Wissenshorizonte gleichsam aufzuspannen (II) und diese schließlich in ein neues Konzept von wissens- und könnensvermittelnder Bildung einfließen zu lassen (III).

## 1 HERMENEUTIK UND WISSEN

Zwei zentrale Positionen des 17. und 18. Jahrhundert mögen leitmotivartig den begrifflichen Hintergrund skizzieren, vor dem sich die Wissensstruktur der Moderne erhebt, ohne allerdings die tiefere Dimension dieser beiden Topoi wahrhaft aufgreifen zu können. Ich meine damit das Bacon-Prinzip und das Vico-Axiom. Als einer der Ahnväter der Neuzeit wird – zu Recht – Francis Bacon bezeichnet. Ihm wird nachgesagt, dass das Theorem „Wissen ist Macht“ aus seiner Feder stamme. Die Tatsache, dass sich zwar viele ähnliche Formulierungen bei ihm finden, genau diese aber auf den ersten Blick nicht, wirkt weniger erstaunlich, wenn man sich klar macht, dass die von ihm verwendete Formel eigentlich heißt „Wissenschaft selbst ist Macht“, lateinisch: „ipsa scientia potestas est“, und dass sich

<sup>2</sup> Lepenies 2006.

<sup>3</sup> Zimmerli 1990, S. 10-17.

<sup>4</sup> Fischer 2003.

dies nicht etwa im „Novum Organum“ findet, wo man es wohl vermuten möchte, sondern ausgerechnet in seinen „Meditationes Sacrae“.<sup>5</sup> Bei zweitem Nachdenken schon zeigt sich, dass diese Formulierung eine doppelbödige Weisheit enthält: einerseits, idealistisch interpretiert, das Grundprinzip der neuzeitlichen Wissenschaft, es gehe für den Menschen darum, der Natur ihre Gesetze abzulauschen oder noch etwas härter: sie unter der Folter des Experiments zu zwingen, ihre Geheimnisse zu verraten. Aber das Bild wäre nicht vollständig, wenn man nicht Francis Bacons andere Überzeugung hinzunähme: nämlich dass die Natur nicht anders bezwungen werden könne als dadurch, dass man sich ihr füge: „natura non nisi parendo vincitur“.<sup>6</sup>

Das zweite große Leitmotiv, über hundert Jahre später von Giambattisto Vico formuliert, besagt, dass das Wahre und das Gemachte konvergieren („verum et factum convertuntur“, kurz: „verum ipsum factum“).<sup>7</sup> Folgt man nur der wörtlichen Bedeutung, so handelt es sich hierbei um ein Theorem zur Einführung der Differenz der zwei Kulturen: als wahr erkennen können wir Menschen nur das, was wir als Menschen auch gemacht haben, das heißt also unsere menschliche Sprache und unsere menschliche Geschichte. Anders: Die uns Menschen zugängliche Wahrheit ist nicht die der Natur und ihrer Wissenschaften; diese ist uns Menschen auf immer unzugänglich, ein Buch mit sieben Siegeln, in dessen Inneres, um mit Goethe zu sprechen, „kein erschaffener Geist dringt“.<sup>8</sup>

So gesehen hätten wir also in diesen zwei Leitmotiven den Aufriss der modernen Welt in der wissenschaftlichen Weltbeherrschung auf der einen und in der tieferen Wahrheit der Geisteswissenschaften auf der anderen Seite formuliert. Vom Ende der Moderne her betrachtet, gewinnen diese beiden Topoi aber, ineinander gespiegelt, eine andere Bedeutung: nur das, was die Menschen selbst technisch hergestellt haben, kann im Wortsinne ‚wahr‘ genannt werden, und nur durch diese wissenschaftliche Wahrheit der Herstellung von Natur durch Technik beherrschen wir die Welt. Oder in einer kurzen Formel, die in unsere Tableauisierung des Wissens passt: Wissen ist Machen<sup>9</sup>, oder noch einmal anders: die moderne wissenschaftliche Verfügungsutopie über die Welt realisiert sich in der Fähigkeit, die Natur selbst herzustellen. Nicht, wie Kant meinte, das Bewusstsein ist die ursprüngliche synthetische Leistung des Menschen, sondern die Herstellung der Natur; Philosophie als Wissenschaft wird zur synthetischen Biologie.<sup>10</sup> Reflektiert man diesen Gedanken etwas weiter, so sieht man sich dahinter dessen Antizipation in der kontrafaktischen Grundannahme der christlichen Theologie abzeichnen, Gott könne die Welt erschaffen, indem er sie anspreche. Gefiltert durch die Entwicklung neuzeitlicher Wissenschaft und moderner Technik gelangt diese Vorstellung nun in säkularisierter Form in das Umfeld des mindestens Simulier-, in einigen Fällen sogar des bereits Machbaren.

Vor diesem Hintergrund erschließt sich nun etwas anderes noch genauer, was im

<sup>5</sup> Bacon 1597, S. 79.

<sup>6</sup> Bacon 1620, S. 157.

<sup>7</sup> Vico 1710, S. 34; vgl. dazu Fellmann 1978.

<sup>8</sup> Goethe 2007, S. 105.

<sup>9</sup> Zimmerli 2005.

<sup>10</sup> Winnacker 1990.

Gefolge Giambattisto Vicos in der Moderne mit dem aus der Antike entlehnten Begriff „Hermeneutik“ und als Konsequenz daraus mit demjenigen des „hermeneutischen Zirkels“ bezeichnet wird. Der Begriff „Hermeneutik“, in der griechischen Antike etymologisch auf die Aufgaben des Götterboten Hermes zurückgeführt, bezeichnete ursprünglich die Möglichkeit, Gedanken auszudrücken, zu interpretieren oder zu übersetzen. In ihrer christlichen Gestalt wird sie zur Auslegungskunst zunächst der Heiligen Schrift, später, in ihrer vorwissenschaftlichen, neuzeitlichen Form zur „Kunstlehre des Verstehens“<sup>11</sup>, also, wenn man so will, zur technischen Disziplin. Angewendet wurde diese ursprünglich auf die Lehre vom Verstehen, Deuten oder Auslegen von Kunstwerken, insbesondere von literarischen Produkten, aber auch von mündlicher Rede, und sie ist damit das Gegenstück zur Rhetorik, die die Kunstlehre des Ausdrückens in Sprache und Rede ist. Hermeneutik wie Rhetorik haben es - worauf H.-G. Gadamer verschiedentlich hingewiesen hat<sup>12</sup> - mit Wahrscheinlichkeiten, nicht mit der Wahrheit zu tun.

So betrachtet entwickelt sich die Hermeneutik neuzeitlich zu einer Lehre von den Voraussetzungen und Methoden sachgerechter Interpretation und insofern zur Methodologie der Geisteswissenschaften.<sup>13</sup> Doch damit nicht genug: die Hermeneutik beginnt sich im 20. Jahrhundert als eine eigene Philosophie des beginnenden „auslegenden Verstehens“ in Gestalt der Fundamentalontologie Martin Heideggers zu positionieren.<sup>14</sup> Die - auch für unser Thema - zentrale Idee, in der Hermeneutik von Wilhelm Dilthey im Gefolge Schleiermachers und Boeckhs „hermeneutischer Zirkel“<sup>15</sup> genannt, beschreibt die scheinbar paradoxe Struktur des Verstehensprozesses selbst: das Ganze muss aus dem Einzelnen, das Einzelne aber aus dem Ganzen heraus verstanden werden. Bei erneuter Reflexion zeigt sich allerdings, dass der Begriff des Zirkels nur prima facie plausibel ist, dass bei näherem Zusehen indessen eher das Bild einer Spirale passen würde: Jeder Text, aber auch jede Lebenssituation, die es auszulegen gilt, trifft zunächst einmal auf eine Vormeinung, die sich aus unserer außerwissenschaftlichen Weltsicht ergibt. In Annahme der Meinung, es lasse sich von den Teilen aufs Ganze schließen, unternimmt das Subjekt eine Teilanalyse der Situation, die ihrerseits das höherstufige System, das vermeintliche Ganze also, induktiv zu erfassen versucht. Die so (wenn auch nur provisorisch) gestützte Plausibilität der Vormeinung erlaubt dann wieder, auf die Teile zurückzuschließen, so dass in der Tat eine kreisförmige Bewegung des Insichzurückkehrens der Vormeinung und der zwischenzeitlich aus dem Blick geratenen Annahme über das Ganze und seine Teile gespeist wird. Wie leicht zu sehen ist, wird dieser Prozess rekursiv, d.h. er führt in sich und in seinen Ausgangspunkt der investierten Vormeinung zurück, verändert diesen aber erheblich. Das Resultat dieses hermeneutischen Zirkels ist daher niemals die vollständige Repräsentation der Welt im Wissen, sondern es handelt sich dabei um einen

<sup>11</sup> Vgl. Dilthey 1900; Gadamer 1990.

<sup>12</sup> Vgl. Gadamer 1971, bes. 63 et passim.

<sup>13</sup> Vgl. Gadamer/Boehm 1978.

<sup>14</sup> Heidegger 1993.

<sup>15</sup> Dilthey 1900, S. 330; vgl. Maraldo 1997.

stetigen Prozess, der – so betrachtet – nie ans Ziel kommt, dafür aber ziemlich genau das Verstehen und seine Genese beschreibt.

Dieser hermeneutische Zirkel des Verstehens lässt sich allerdings in einer heuristischen Erweiterung auch als eine Überschreibung eines strukturanalogen Prozesses betrachten, in dem es nicht nur um Verstehen, sondern eben auch um das Verhältnis von Wissen und Können geht. Diesen zweiten hermeneutischen Zirkel könnte man als denjenigen des technischen Wissens bezeichnen: Ausgehend von der Fähigkeit etwas zu tun, die wir als ‚Können‘ bezeichnen, tritt unsere Welterfassung und -gestaltung über das Anwenden von vorausgesetztem Können und dessen Optimierung durch das gezielt einzubeziehende Wissen in eine zu derjenigen des Verstehens analoge rekursive Spirale ein, in der die Investition von Wissen in Können auf einer nächsten Ebene zur Reflexion von Wissen und Können führt, die ihrerseits wiederum eine optimierte Form des Wissens und Könnens anstrebt. Die von Popper stammende fallibilistische Grundannahme, die sich auch auf dieses dialektische Modell von Hermeneutik beziehen lässt, wird von Gerhard Vollmer in die eingängige Formel „Wir irren uns empor“<sup>16</sup> gefasst. Übertragen auf den zweiten hermeneutischen Zirkel der Anwendung von Wissen und Können, würde eine entsprechende Formel heißen müssen: "Wir üben uns empor", da die schrittweise Imprägnierung von Können durch Wissen letztlich zu einer Optimierung des Könnens führt.

## 2 WISSENSHORIZONTE

Technisches Wissen zeichnet sich also dadurch aus, dass es eine eigene Optimierungsstruktur über die gegenseitige Erweiterung von Wissen und Können erreicht. Die Verbindung von Bacon-Prinzip und Vico-Axiom zur Formel „Wissen ist Machen“ weist in diesem Zusammenhang die beschriebene hermeneutische Doppelhelix-Struktur auf.

Um diese aber als Wissensformation des ausgehenden 20. und beginnenden 21. Jahrhunderts noch besser verorten zu können, muss sie in das Tableau der Wissenshorizonte eingeordnet werden, die das ausmachen, was wir ‚Moderne‘ nennen, und die sich durch drei Paare von Extremalbegriffen beschreiben lassen: „Glauben und Wissen“, „Wissen und Machen“ sowie schließlich „Machen und Nichtwissen“.<sup>17</sup>

Die Globalisierung, die das 21. Jahrhundert bestimmt, hat uns über einen Zusammenhang belehrt, der in Europa seit der Aufklärung aus dem Blick geraten war, da man ihn für überholt hielt: Es ereignet sich weltweit ein neuer Glaubenskrieg, ein Dschihad gegen das westliche Wissen, das zugleich Weltwissen ist. Hauptwortführer dieses Glaubenskrieges sind daher denn auch Glaubenskulturen, die das Weltwissen grundsätzlich ablehnen. Dadurch erlebt der nachaufklärerisch für überholt gehaltene Gegensatz von

<sup>16</sup> Vollmer 1995, S. 4-6.

<sup>17</sup> Vgl. hierzu und im Folgenden Zimmerli 2008.

Glauben und Wissen eine zweite Blüte, mit der die Charakteristika einer erheblich verhärteten Frontstellung, und zwar bis hin zu kreuzzugartigen Entwicklungen, verbunden sind. In der Tat gibt es ernstzunehmende Zeitdiagnostiker, die darauf hinweisen, dass wir beim Versuch, die Differenz in der Entwicklung der drei verschiedenen mosaikartigen Religionen, also zwischen Judentum, Christentum und Islam, festzuhalten, im Islam heute eine Phase entdecken, die derjenigen der Kreuzzüge des Christentums entsprechen.<sup>18</sup>

Der „Polytheismus der Werte“, den Max Weber unter expliziter Bezugnahme auf Mill für das aufgeklärte 20. Jahrhundert in Europa diagnostiziert hatte, ist also eingetreten, und zwar in seiner härtesten, von Max Weber als „unlöslicher Kampf“ beschriebenen Gestalt<sup>19</sup>: Es existiert ein Antagonismus der Werte. Es ist nämlich in der Tat so, dass wer im Sinne der Toleranzforderung der europäischen Aufklärung andere Werte duldet, sich nicht zu wundern braucht, wenn sich darunter auch solche Werte finden, die man nicht dulden kann. Man muss sich eben darauf gefasst machen, dass es „weniger nette Religionen“ als diejenigen gibt, die man bei der Toleranzempfehlung im Blick hat.<sup>20</sup> Der unsere Gegenwart im Gefolge von Max Webers Polytheismusthese kennzeichnende Antagonismus der divergierenden Werte führt heute nicht nur zur Anerkennung von Vielheit, sondern zum Multikulturalismus. Mit anderen Worten: im 21. Jahrhundert dulden wir nicht nur Vielheit, sondern fordern sie geradezu. Das pflegen wir dann „Pluralismus zweiter Ordnung“ zu nennen. Dieser ruft nach einer Gesellschaft, in der unterschiedliche Wertsysteme, unterschiedliche Meinungen, unterschiedliche Religionen koexistieren nicht nur dürfen, sondern geradezu sollen.<sup>21</sup>

Das Wissen, gegen das sich in der Globalisierung die Frontstellung von Glauben und Wissen erneut formiert, ist genau das wissenschaftlich-technische Wissen, um dessen Analyse es uns geht. Deswegen muss das Begriffspaar, auf das wir bereits bei der Analyse der beiden großen frühneuzeitlichen Positionen gestoßen waren, nämlich das Begriffspaar von Wissen und Machen nun einer genaueren Analyse unterzogen werden. Die Hybridisierung des Bacon-Prinzips („Wissen als Wissenschaft ist Macht“) und des Vico-Axioms („Nur das ist als wahr erkanntes Wissen, was wir selber machen können“) findet im 21. Jahrhundert eine neue Bestätigung: Weil wir auch die Natur im Zuge der Technologisierung unserer Welt nun – jedenfalls partiell – selber machen, können wir sie auch besser verstehen. Das wird besonders deutlich an der informationellen Technologisierung der Welt, die dazu führt, dass wir seit der Mitte des letzten Jahrhunderts beginnen, ein Weltverständnis zu entwickeln, das uns erlaubt, sie als Imitation zu verstehen. Alles das aber, was wir technologisch imitieren können, können wir auch machen. Das ist jedenfalls das Prinzip der Turingmaschine, benannt nach dem Mathematiker Alan Turing, der es – parallel zum Turingtest oder Imitationsspiel – entwickelt hat<sup>22</sup>,

<sup>18</sup> Meier 2006.

<sup>19</sup> Weber 1982, S. 603 und vgl. Schluchter 1996, S. 223-255.

<sup>20</sup> Spaemann 1984, S. 152.

<sup>21</sup> Vgl. Zimmerli 1993 und ders. 2006.

<sup>22</sup> Turing 1950, S. 433-460, dt. in: Zimmerli/Wolf 1994, S. 39-78.

um damit zweierlei zu sagen: einerseits, dass eine Maschine denkbar ist, die dadurch definiert ist, dass sie alles imitieren kann, was andere Maschinen leisten können, und andererseits, dass sich operative Maschinendefinitionen von Denken geben lassen: Wenn man nämlich die Leistungen einer Maschine von den kognitiven Leistungen eines Menschen nicht mehr unterscheiden kann, gibt es nach Turing keinen Grund, warum man nicht sagen könne, die Maschine denke. Das war – in dieser Form von fast niemandem in der Diskussion bemerkt – der Übergang zu einer Wissenskultur denkender Maschinen.

Gewiss, damit war erst ein Anfang gemacht, und das Imitationsspiel bezog sich noch ausschließlich auf individuelle Menschen, die einzelne Maschinen bedienten. Heute dagegen befinden wir uns längst in einer Situation, die durch Vernetzung dieser Maschinen und Vernetzung der sie bedienenden Menschen gekennzeichnet ist. Nach der Zeit der Diskussion um Artificial Intelligence (AI) haben wir jetzt die Phase einer Distributed Artificial Intelligence (DAI) erreicht. Diese ist durch die Möglichkeit gekennzeichnet, über alle in das weltweite Netz von miteinander verknüpften Computern integrierten Knotenpunkte Zugriff auf alles in diesem Netz repräsentierte Wissen zu erhalten. In Bezug auf den Turingtest formuliert: Wir leben in einer Phase der Ausdehnung des Imitationsspiels auf die ganze Welt. Das bedeutet, dass wir – im Prinzip – alle Wissensbestände der ganzen Welt in unserer eigenen technologischen Wissensrepräsentation wieder finden und für unsere traditionelle Wissensrepräsentation nutzen können.

Allerdings stellt sich damit eine alte Grundfrage der Erkenntnistheorie wieder neu: die Frage nach der Wirklichkeit. Bisher haben wir ja von Imitationen gesprochen. Also von einer Modellierung der Wirklichkeit. Wie steht es aber mit dieser selbst? Hier geht es um Tests, die die Frage beantworten lassen: Stimmen diese Projektionen, Imitationen und Modellierungen? Die Antwort, die das neuzeitliche wissenschaftliche Wissensmodell darauf gab, war das Experiment, und seit dem 19. Jahrhundert explizit das Laborexperiment. Die Erfindung des Experiments wird – zwar wissenschaftshistorisch zu Unrecht – Galileo Galilei zugeschrieben, und das ist, allen Einschränkungen zum Trotz, systematisch auch nicht ganz falsch. Mit der Transformation des Experiments zum Laborexperiment im engeren Sinne jedoch wird eines ganz klar: Die Laborbedingungen sind andere als diejenigen der Wirklichkeit. Im Labor blenden wir alle störenden realen Faktoren geradezu aus; wir konstruieren eine Wirklichkeit und testen unsere konstruierten Vermutungen an dieser konstruierten Wirklichkeit. Wir nehmen dabei normalerweise eine mechanistische und stark reduktionistische Vorstellung von Natur und damit auch von Leben in Kauf, und genau diese stark reduktionistische, mechanistische und deterministische Vorstellung erlaubt uns, unter künstlichen Laborbedingungen zu testen, ob unsere Vermutungen darüber, was die Welt im Innersten zusammenhält, zutreffen oder nicht.

Heute erleben wir nun erstaunlicherweise, um es pointiert zu formulieren, eine Wiederkehr des Lebens. Und das ist nicht deswegen der Fall, weil die Standardüberprüfungsform von Hypothesen im Laborexperiment vollständig obsolet würden, sondern weil sich eine Tendenz zeigt, auch das Laborexperiment zu informatisieren. Man braucht sich nur einmal etwa die Labors der Molekularbiologen anzusehen, um festzustellen, dass es zwar die Petrischalen und chemischen Reaktoren weiterhin gibt, dass diese aber durch intelligente Maschinen ergänzt und zum Teil auch ersetzt werden, die mindestens den kombinatorischen Teil der Genetik ausrechnen und in gewissem Sinne auch testen. Das Leben aus der Retorte ist in Tat und Wahrheit immer auch eine Computersimulation. Überall zeigt sich dasselbe Muster: Das Bild, das Simulacrum, wird auf dem Rechner hergestellt, und die Operationen finden im informationellen Raum statt. Der mechanische Determinismus der Biologie des 19. Jahrhunderts wird sukzessive durch einen informationellen Determinismus der Biotechnologie ergänzt.

Hier finden erneut Weltanschauungsschlachten statt, die an diejenigen erinnern, die sich um den Darwinismus entzündeten. Man denke nur etwa an die neu entfachte Debatte um Hirnforschung und Willensfreiheit, die gegenwärtig nicht mehr nur an der genetischen und molekularbiologischen, sondern vordringlich auch an der neurobiologischen Front tobt.<sup>23</sup> Alles das macht jedoch seinen Sinn nur vor dem Hintergrund des – allerdings scheiternden – Versuches, das Neue zu verstehen, das sich in der Einlösung des frühmodernen Versprechens „Wissen ist Machen“ ausdrückt.

Das aber lässt nun erforderlich werden, ein drittes Begriffspaar in die topologische Betrachtung des technologischen Wissens einzuführen, nämlich das Begriffspaar von „Machen und Nichtwissen“. Und dazu ist es zunächst einmal hilfreich, sich klar zu machen, dass wir uns schon im 20. Jahrhundert von Kumulationsmodell des Wissens verabschiedet haben, das der Überzeugung Ausdruck verleiht, wir könnten, wenn wir immer mehr wissen, irgendwann einmal alles wissen. Schon Popper hatte ein zeittheoretisches Standardargument gegen diese Annahme geltend gemacht: Wenn wir nämlich einmal alles wissen würden, dann würden wir auch wissen, was wir in Zukunft wissen werden. Das aber ist ein Widerspruch, denn wenn wir jetzt schon wüssten, was wir in Zukunft wissen werden, wäre es nicht das, was wir in Zukunft wissen, sondern was wir bereits jetzt wissen.<sup>24</sup>

Das aber heißt, dass wir das Kumulationsmodell des Wissens durch ein anderes ersetzen und damit die Leitmetapher der weißen Flecken auf der Landkarte durch diejenige der fraktalen Geometrie ergänzen müssen: Mit jedem Stück Wissen nämlich, das wir uns aneignen, schrumpft nicht etwa der Bereich des Nichtwissens, sondern er wächst, indem jede gelöste Frage unter Bedingungen des technologischen Wissens zugleich auch

<sup>23</sup> Vgl. Roth 1994; Singer 2002; Roth/Singer 2003.

<sup>24</sup> Popper 1965, XI f.

eine technologische Umsetzung bedeutet, und das wiederum hat zur Folge, dass sich mit jeder beantworteten Frage neue Fragen bilden. Die Dynamik des Wissens folgt also eher dem Hydramodel: Jeder Nichtwissenskopf, den wir nicht etwa nur mit einer Antwort, sondern mit deren technologischen Realisierungen abhauen, lässt beliebig viele neue Nichtwissensbestände nachwachsen, und das bedeutet, dass jedes angewandte wissenschaftliche Wissen, das technisch umgesetzt ist, eben dadurch, dass es realisiert wird, selbst zum Generator von neuen ungelösten Problemen wird. Um sich das zu vergegenwärtigen, muss man nur etwa an die Problematik der Technikfolgenabschätzung, an die Komplexität des Nachhaltigkeitsthemas o.ä. erinnern. In der Wissenschaftssoziologie hat sich dafür der Terminus „Wissen vom Modus 2“<sup>25</sup> eingebürgert, und das bedeutet, dass wir uns in eine Wissenskultur und auch in eine Wissensorganisation hineinbewegen, die anders strukturiert ist als die, die wir zu kennen glauben. Sie belässt Wissen im Diskurs, gibt nur vorläufige Antworten und konzentriert sich stärker auf den Prozess, der in „invisible colleges“ stattfindet. Diese bestehen aus Personen und Interaktionen, die sich nicht an feststehende Institutionen knüpfen, sondern sich ad hoc zusammenfinden und eben so auch wieder auseinander gehen können. Es handelt sich dabei um Zukunftslabors, die sich dadurch auszeichnen, dass sie nicht wie die traditionellen Labors einem der Grundprinzipien aller Institutionen gehorchen, nämlich sich, wenn sie einmal gegründet sind, im Regelfalle selber am Leben zu erhalten.

Das Nichtwissen erobert somit zwar den Bereich des Wissens im Sinne des Machens, wird aber dadurch zugleich selbst erobert. Verfahren, wie wir Nichtwissen handhaben können, nennen wir ‚Management‘, und dem sich daran entzündenden Interesse entspricht eine in den letzten zwei Jahrzehnten sprunghaft anwachsende Forschungsliteratur zum Thema ‚Ignorance‘.<sup>26</sup>

In diesen Zusammenhang gehört auch die Formel, wir lebten in einer Wissensgesellschaft. Wenn man damit meint, dass die Individuen heute mehr wüssten als frühere Generationen, ist das schlicht falsch, obwohl dieses Missverständnis weit verbreitet ist. Viel eher ist gemeint, dass wir in einer Gesellschaft leben, in der wir wissen, wo wir finden können, was wir nicht wissen. Dieses aber ist nach Georg Simmel die Bedeutung von „Bildung“.<sup>27</sup> Die Wissensgesellschaft des 21. Jahrhunderts ist eine Nichtwissensgesellschaft: Je mehr Wissen wir potenziell zur Verfügung haben, desto weniger wissen wir selbst. Dafür können wir mehr, wir können in dem uns verfügbaren Wissen des Netzes navigieren, wir verfügen also über Wissens-Navigationsfähigkeiten, anders: über Fähigkeiten, unser Nichtwissen zu managen. Kurz und formelhaft formuliert: Heute ist die technologische Zivilisation ein Teil unserer Gegenwartskultur geworden; galt bisher Simmels erwähnte Bestimmung, gebildet sei, wer wisse, wo er finde, was er nicht wisse, gilt nun genauer: Gebildet ist, wer weiß, wie er oder sie es managen kann, zu machen, was er oder sie nicht weiß.

<sup>25</sup> Nowotny 1997.

<sup>26</sup> Vgl. Dovring 1998; Walton 1996.

<sup>27</sup> "Gebildet ist, wer weiß, wo er findet, was er nicht weiß." (Georg Simmel, 1858-1918, zugeschrieben).

### 3 VERMITTLUNG VON WISSEN ALS MACHEN: BILDUNG

Die Hermeneutik technischen Wissens, die auf der Einsicht beruht, dass Wissen in Wahrheit Machen ist, hatte sich uns als der kontinuierliche rekursive Verbesserungsprozess von Wissen durch Können und von Können durch Wissen dargestellt. Dieser Prozess allerdings ereignet sich nicht von selbst, sondern seine pragmatische Implementierung in einer Gesellschaft geschieht institutionell und inhaltlich durch Weitergabe des Wissens und Könnens. Was in den frühneuzeitlichen Wissenskulturen noch als handwerkliche Wissensweitergabe auf der einen und kognitive Wissensweitergabe auf der anderen Seite entstanden war, liegt uns heute noch in Reliktform vor, was die unterschiedlichen Institutionen betrifft, die an der Wissensweitergabe beteiligt sind. Die Formel, die im – jedenfalls deutschsprachigen – Europa dafür steht, ist die der „dualen Bildung“. Gemeint ist damit das noch aus dem Mittelalter herübergerettete zweigleisige System, in dem Zünfte, Gilden und Handwerkskammern auf der einen und Schulen, Hochschulen und Universitäten auf der anderen Seite die Verantwortung für die Qualifikation der nächsten Generationen übernahmen. Dieses System, in der Vergangenheit ausgesprochen erfolgreich, sieht sich nun allerdings gerade angesichts der hybridisierten Struktur des technologischen Wissens vor ganz neue Herausforderungen gestellt, zu deren Bewältigung es noch wenig neue Konzepte gibt. Auf eine Formel gebracht: Wenn das bisher über die hermeneutische Optimierungsform von Wissen und Können auf der einen und die Konvergenz von Wissen und Machen auf der anderen Seite Entwickelte zutrifft, dann gilt, dass die beiden Systeme, von denen das Eine dem Können, das Andere dem Wissen diene, sich immer stärker aufeinander zu bewegen müssen: Auf der Seite der Lehrlings- und Meisterausbildung zeigt sich eine massive Unterwanderung des reinen handwerklichen Könnens durch wissenschaftliches Wissen, auf der Seite der Schulen, Hochschulen und Universitäten eine starke Tendenz zu mehr Praxis und Wirtschaftsnähe. In beiden Bereichen geht dies einher mit einer Tendenz zur Tertiärisierung und Quartärisierung, die sich in die Formel „Akademisierung des lebenslangen Lernens“ zusammenfassen lässt. Darüber hinaus gilt, dass vom Lebenszyklus her gesehen, Bildung heute nicht mehr nur eine Vorbereitung aufs Leben, sondern integraler Bestandteil des Lebens selbst geworden ist, d.h. die Trennung „Zuerst Bildung bzw. Ausbildung, dann Berufspraxis bzw. Leben“ ist so nicht mehr aufrecht zu erhalten.

Wie überall stellt das entscheidende Hindernis für die Einsicht in diese Veränderung der Erfolg des Bestehenden dar, auf den die Apologeten von Vergangenheit und Gegenwart sich denn auch immer berufen. Die Aufgabe des Wissenschaftlers und Philosophen ist es in dieser Situation nicht, Bekehrungsstrategien zu entwickeln, sondern die eigene Einsicht mit guten Argumenten zu untermauern. Ob diese gehört und gar internalisiert werden, ist eine ganz andere Frage.

Um nun die argumentative Plausibilität einer Hybridisierung von Wissen und Können auf dem Hintergrund der Einsicht, dass Wissen heute vorwiegend Machen ist, zu erhöhen, mag es sinnvoll sein, sich in einer Art von longitudinalem Früher-Jetzt-Vergleich

die auch institutionelle Entwicklung von Lern- und Arbeitswelt zu vergegenwärtigen.

Was war Bildung früher? Früher – und das hielt noch bis in die Mitte des vergangenen Jahrhunderts, in einigen Ländern sogar noch bis heute an – war Bildung absolutes Privileg einiger ausgewählter Menschen, die hauptsächlich aus den oberen Schichten stammten. Im Grundsatz schon seit der Einführung der allgemeinen Schulpflicht, faktisch aber spätestens seit dem Beginn der oben analysierten Wissensgesellschaft, beginnt sich das gravierend zu verändern. Bildung, und zwar wissenschaftlich-technische Bildung, wird heute zunehmend zum Grunderfordernis buchstäblich fast jeglicher Berufsausübung. Das kann man an der zunehmenden Akademisierung aller beruflichen Aktivitäten sehen, und erneut gilt, dass wir im zentraleuropäischen Vergleich dort eher hinterherhinken. Das lässt sich am leichtesten an einer Sparte illustrieren, die in den vergangenen Jahren immer wieder für Aufmerksamkeit und Debatten sorgte: die Gesundheitsberufe, und hier besonders diejenigen der Pflege. Mit einigen Ausnahmen sind nämlich die Pflegewissenschaften an den Universitäten im deutschsprachigen Bereich (noch) nicht beheimatet. Außerhalb dieses Bereichs kommen sie allerdings international auch an akademisch hochrenommierten Hochschulen prominent vor. Hierzulande werden sie jedoch mit anti-akademischen Ressentiments bekämpft, und es fallen ironische Sprüche wie der von der „promovierten Krankenschwester“. Wenn man sich aber klar macht, in wessen Hände man sich begibt, wenn man etwa in eine Klinik eintritt, und wenn man sich darüber hinaus noch klar macht, wie hoch die auch wissenschaftlichen Anforderungen an die Qualifikation des Pflegepersonals ist, dann sieht man, dass es dringend erforderlich ist, hierfür akademisch hochqualifizierte Personen zu gewinnen. Und wenn das eigene System das nicht hergibt, muss man dieses Personal eben aus dem Ausland importieren, und schon gerät man auf den „slippery slope“ der weltwirtschaftlichen Migration: Letztlich bleiben auf diese Weise gerade die ärmeren Länder auf den Kosten der Ausbildung sitzen, von der die reicheren Länder dann profitieren.

Ein im deutschsprachigen Bereich weit verbreitetes Vorurteil besagt darüber hinaus, ‚Eliten‘ bedeute, dass es von dem Gebildeten nur ganz wenige geben dürfe. Das ist aber falsch. Das war schon 1964 falsch, als Georg Picht sein damals aufsehenerregendes Buch über die deutsche Bildungskatastrophe veröffentlichte<sup>28</sup>, in dem er u. a. darauf hinwies, dass das deutsche Bildungssystem auf den Kollaps zusteure, wenn es nicht von dem absurden Vorurteil, dass Bildung etwas für ganz wenige sein müsse, Abschied nehme. Obwohl heute klar ist, dass Picht Recht hatte, hört man immer noch, es gebe zu viele, die im tertiären Bildungssystem ausgebildet würden, ganz besonders aber gebe es zu viele Studierende an den Hochschulen. In Tat und Wahrheit ist das Gegenteil der Fall. Der deutschsprachige Bereich hat im internationalen Vergleich einen riesigen Nachholbedarf – duales Bildungssystem hin oder her. Selbst wenn wir alle tertiären Ausbildungsabschlüsse zusammenrechnen, kommen wir nicht über 60 Prozent, wir brauchten aber 75 Prozent, um in Zukunft international wettbewerbsfähig zu sein.

<sup>28</sup> Picht 1965.

Vor dem Hintergrund des technologischen Wissenstypus, der in immer stärkerem Maße unser Bildungssystem dominiert, bedeutet dies aber zugleich, dass auch die Grenzen zwischen Bildung (also dem, was man braucht, um nach dem humanistischen Ideal ein ganzer, guter Mensch zu werden), Ausbildung (also dem, was man braucht, um ein erfolgreicher Professional zu werden) und Weiterbildung (also dem, was man braucht, um ein erfolgreicher Professional zu bleiben) zunehmend verschwimmen.

Das wird deutlich, wenn wir noch einmal einen Blick auf die Institutionen von Lernen und Arbeiten werfen: Während früher die Güterproduktion in den Fabriken und Werkstätten, die Wissensproduktion aber in den Hochschulen geschah, und während früher das Lernen vom ersten bis zum fünfundzwanzigsten Lebensjahr stattfand, um dann das so Gelernte im Rest des Lebens anzuwenden, gilt heute etwas Anderes: Ein genauere Blick in die heutige Wirtschaft und Wissenschaft zeigt, dass das, was dort geschieht, sich mit der Formel „wissensgestützte Produktion von Gütern und Dienstleistungen in den Unternehmen“ versus „umsetzungsorientierte Wissensproduktion in den Hochschulen“ beschreiben lässt.

Es bedarf keiner großen Phantasie, um dies in die Zukunft zu extrapolieren: Morgen werden wir einen Zustand haben, in dem die Wissensproduktion für wirtschaftlich erfolgreiche Innovationen in den Unternehmen geschieht, die daher auch zunehmend zu „Lernfabriken“ werden, während eine stärker umsetzungsorientierte grundständige wissenschaftliche Berufsqualifikation durch die Schulen, Berufsschulen, aber zunehmend auch durch die Hochschulen („Bachelor“ als erster berufsqualifizierender Abschluss) geschieht. Als Konsequenz zeichnet sich eine arbeitsteilige Symbiose von disziplinärer Erstqualifikation durch Hochschulen und disziplinenübergreifender Weiterqualifikation in den Unternehmen und Betrieben ab, was sich bereits an der Herausbildung von unternehmensinternen tertiären Einrichtungen zeigt, die ihrerseits in Hochschulnetzwerke eingebunden sind. Dass die Apologeten des Bestehenden davon nichts wissen (oder wissen wollen) ist zwar verständlich, aber nicht hilfreich.

Dies sind die institutionellen und inhaltlichen Konsequenzen davon, dass die Bildung sich zunehmend als kontinuierlicher Verbesserungsprozess des hermeneutischen Typs technischen Wissens herausstellt. Wir befinden uns – ob es den falschen Propheten Humboldts nun gefällt oder nicht – längst in einem Bildungsmarkt, in dem der „garstig breite Graben“ zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sich dadurch zu schließen beginnt, dass das alte, angebotsgetriebene curriculare Modell von Bildung ersetzt wird durch ein neues modularisiertes, nachfrageorientiertes Modell. Und das bedeutet, dass neben den im engeren Sinne fachlichen Kompetenzen von Berufstätigen auch die Schlüsselqualifikationen und überfachlichen Qualifikationen in stärkerem Maße angeboten werden müssen, weil die Nachfrage nach ihnen exponentiell wächst.<sup>29</sup> Allein dies schon ist ein Indikator dafür, dass das berufliche und das akademische Ausbildungssystem an dieser Stelle zusammenwachsen: Vorwiegend im Bereich der Bachelorstudiengänge und

---

<sup>29</sup> Zimmerli 2009.

der beruflichen wie akademischen Weiterbildung zeigt sich, dass die Schlüsselqualifikationen und die überfachlichen Kompetenzen sich weitgehend angleichen. Ohnehin werden nur 10 bis 20 Prozent dessen, was man zur Ausübung seines Berufes, und zwar spezifisch in Führungsfunktionen, benötigt, im System der formellen Bildung erworben. Der Rest entsteht „learning by doing“, durch „training on the job“, berufsbegleitende Weiterbildung etc.

Kurz: Die scheinbare Paradoxie in der Vorstellung, dass Technik etwas mit Wissen und beides etwas mit Hermeneutik und alle drei etwas mit Bildung zu tun haben sollten, löst sich auf, wenn man sich klar macht, dass diese Anstößigkeit darauf zurückzuführen ist, dass wir eine sich verändernde Realität von heute immer noch mit den terminologisch-begrifflichen und institutionellen Mitteln von gestern zu begreifen versuchen.

## LITERATUR

### **Bacon 1597**

Bacon, F.: *Meditationes Sacrae* (1597). In: Spedding, J. (Hrsg.): *The works of Francis Bacon*, vol. 14, New York, 1864, S. 79.

### **Bacon 1620**

Bacon, F., *Novum Organon* (1620), Hamburg: Meiner, 1990, S. 81.

### **Dilthey 1900**

Dilthey, W.: *Die Entstehung der Hermeneutik* (1900). In: Ders.: *Gesammelte Schriften*, Bd. 5 Stuttgart: Teubner, 1957, S. 317-331.

### **Dovring 1996**

Dovring, F.: *Knowledge and ignorance. Essays on lights and shadows*, Westport, Conn. u.a.: Praeger, 1998.

### **Fellmann 1978**

Fellmann, F.: *Das Vico-Axiom. Der Mensch macht die Geschichte*, Freiburg i. Br.: Alber, 1978.

### **Fischer 2003**

Fischer, E. P.: *Die andere Bildung: Was man von den Naturwissenschaften wissen sollte*, Berlin: Ullstein-Taschenbuch-Verlag, 2003.

**Gadamer 1971**

Gadamer, H.-G.: Rhetorik, Hermeneutik und Ideologiekritik. In: Apel, K. O. u.a.: Hermeneutik und Ideologiekritik, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1971, S. 57-82.

**Gadamer 1990**

Gadamer, H.-G.: Wahrheit und Methode. Grundzüge einer philosophischen Hermeneutik, 6. Aufl., Tübingen: Mohr 1990.

**Gadamer/ Böhm 1978**

Gadamer, H.-G./Boehm, G. (Hrsg.): Seminar: Die Hermeneutik und die Wissenschaften, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1978.

**Goethe 2007**

Goethe, J. W.: Werke in 6 Bänden, Band 3, herausgegeben von Dewitz, H.-G./Simm, H.-J., Frankfurt: Insel Verlag, 2007, S. 105.

**Heidegger 1993**

Heidegger, M.: Sein und Zeit, 17. Auflage, Tübingen: Niemeyer, 1993.

**Lepenies 2006**

Lepenies, W.: Die drei Kulturen: Soziologie zwischen Literatur und Wissenschaft, 3. Auflage, Frankfurt: Fischer-Verlag, 2006.

**Maraldo 1997**

Maraldo, J. C.: Der hermeneutische Zirkel. Untersuchungen zu Schleiermacher, Dilthey und Heidegger, Freiburg: Alber, 1997.

**Meier 2006**

Meier, H.: Über Gewalt im Christentum. In: Neue Zürcher Zeitung vom 14.10.2006.

**Nowotny 1997**

Nowotny, H.: Die Dynamik der Innovation. Über die Multiplizität des Neuen. In: Rammert, W./Bechmann, G. (Hrsg.): Innovation - Prozesse, Produkte, Politik, Jahrbuch: Technik und Gesellschaft, 9, Frankfurt a. M.: Campus-Verlag, 1997.

**Picht 1965**

Picht, G.: Die deutsche Bildungskatastrophe, München: Deutscher Taschenbuch-Verlag, 1965.

**Popper 1965**

Popper, K. R.: Das Elend des Historizismus, Tübingen: Mohr, 1965, S. XI f.

**Roth 1994**

Roth, G.: Das Gehirn und seine Wirklichkeit: Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1994.

**Roth/Singer 2003**

Roth, G./Singer, W.: Ein neues Menschenbild? Gespräche über Hirnforschung, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 2003.

**Schluchter 1996**

Schluchter, W.: Polytheismus der Werte. Überlegungen im Anschluß an Max Weber. In: Schluchter, W. (Hrsg.): Unversöhnte Moderne, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1996, S. 223-255.

**Singer 2002**

Singer, W.: Der Beobachter im Gehirn. Essays zur Hirnforschung, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 2002.

**Snow 1987**

Snow, C. P.: Die zwei Kulturen: Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz. C. P. Snows These in der Diskussion. In: Kreuzer, H. (Hrsg.): Die zwei Kulturen, München: Deutscher Taschenbuch-Verlag, 1987.

**Spaemann 1984**

Spaemann, R.: Diskussionsbemerkung. In: Oelmüller, W. (Hrsg.): Wiederkehr von Religion?, Paderborn: Schöningh, 1984, S. 152.

**Turing 1950**

Turing, A.: Computing machinery and intelligence. In: Mind, 59 (1950), S. 433-460.

**Vico 1710**

Vico, G.: Liber Metaphysicus. De antiquissima Italorum sapientia liber primus (Neapel 1710), München: Fink, 1979, S. 34.

**Vollmer 1995**

Vollmer, G.: Wir irren uns empor. Zum Tode des Philosophen Karl Raimund Popper. In: Skeptiker 8 (1995), Nr. 1, S. 4-6.

**Walton 1996**

Walton, D.: Arguments from ignorance, University Park, Pa.: Pennsylvania State Univ. Press, 1996.

**Weber 1919**

Weber, M.: Wissenschaft als Beruf. (1919), In: Ders.: Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre, hersg. von Winckelmann, J., Tübingen: Mohr, 1982, S. 582-613.

**Winnacker 1990**

Winnacker, E.-L.: Synthetische Biologie. In: Herbig, J./Hohlfeld, R. (Hrsg.): Die zweite Schöpfung. Geist und Ungeist in der Biologie des 20. Jahrhunderts, München/Wien: Hanser, 1990.

**Zimmerli 1990**

Zimmerli, W. Ch. (Hrsg.): Wider die "Zwei Kulturen". Fachübergreifende Inhalte in der Hochschulausbildung, Berlin/Heidelberg/New York u.a.: Springer, 1990.

**Zimmerli 1993**

Zimmerli, W. Ch.: Hat der Pluralismus eine eigene Philosophie? Gedanken zur geistigen Zukunft Europas. In: Gymnasium. Zeitschrift für Kultur der Antike und Humanistische Bildung, 100 (1993), H. 6, S. 497-513.

**Zimmerli 1994**

Zimmerli, W. Ch./Wolf, S. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz. Philosophische Probleme, Stuttgart: Reclam, 1994, S. 39-78.

**Zimmerli 2005**

Zimmerli, W. Ch.: Technologie als Kultur, 2. Auflage, Hildesheim: Olms, 2005.

**Zimmerli 2006**

Zimmerli, W. Ch.: Second order pluralism. In: Hertzog, D./Britz, E./Henderson, A. (Hrsg.): Gesprek sonder grense. Huldigingsbundel ter ere van Johan Degenaar se 80ste verjaarsdag, Stellenbosch: H&B Uitgewers, 2006, S. 324-343.

**Zimmerli 2008**

Zimmerli, W. Ch.: Wissenskulturen des 18. und 21. Jahrhunderts. In: Schneider, U. J. (Hrsg.): Kulturen des Wissens im 18. Jahrhundert, Berlin: de Gruyter, 2008, S. 1-22.

**Zimmerli 2009**

Zimmerli, W. Ch.: Wissen und Können: Ungewohnte Anforderungen an die Aus- und Weiterbildungseinrichtungen. In: Trotha, R.-v. (Hrsg.): Schlüsselqualifikationen für Studium, Beruf und Gesellschaft, Karlsruhe: Universitätsverlag, 2009, S. 59-70.

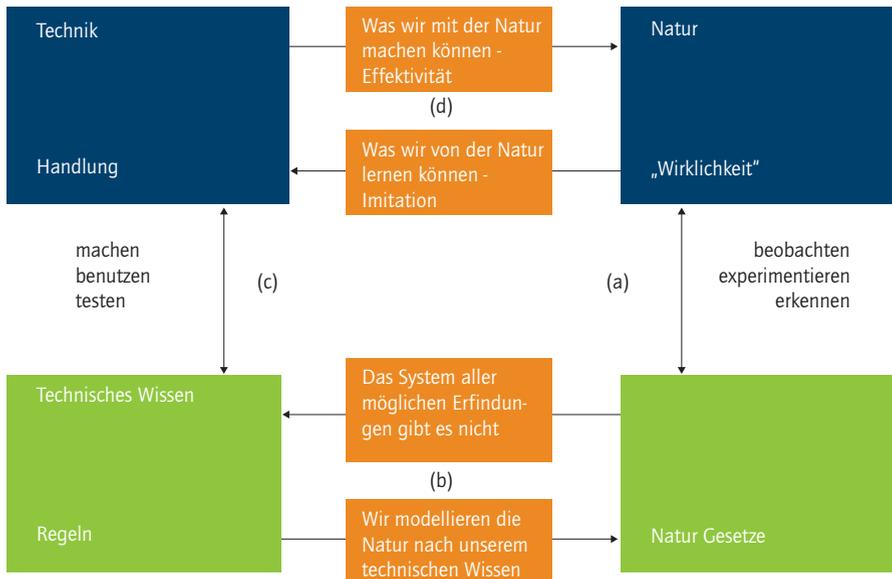
# > LOGISCHE STRUKTUREN TECHNISCHEN WISSENS – ZUR WISSENSCHAFTSTHEORIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN

KLAUS KORNWACHS

## 1 EINLEITUNG: AUFGABEN EINER WISSENSCHAFTSTHEORIE DER ANGEWANDTEN WISSENSCHAFTEN

Die Grundfragen der Technikphilosophie lassen sich anhand von Abbildung 1 erläutern. Jede Theorie über natürliche und durch menschliches Handeln induzierte Prozesse versucht ihre Aussagen empirisch abzusichern. Die klassischen wissenschaftstheoretischen Fragen sind bei (a) angesiedelt: Wie kann man durch Experimentieren, Beobachten und Verwenden formaler Zusammenhänge (Mathematik) zu einer Theorie gelangen?

Abbildung 1: Grundfragen der Technikphilosophie



Zum einen ist diese Theorie oftmals auch davon abhängig, was wir – z. B. bei den Experimenten – technisch machen können und welche Begrifflichkeiten wir zur Verfügung haben. Diese sind eben oft durch das technisch Machbare bestimmt. Die Kenntnis der Mechanik gab Anlass, die Welt als Uhrwerk zu modellieren, der hybride Rechner dient als Gehirnmodell. Zum anderen gibt es keinen direkten Weg, aus der Naturerkenntnis zur Technik zu gelangen, auch wenn dies Francis Bacon als das eigentliche Ziel der Wissenschaft postuliert hat<sup>1</sup> und die meisten Ingenieure heute noch daran glauben, dass man aus der Physik die Technik ausrechnen könne. Es ist zwar richtig, dass man nicht gegen die Physik konstruieren kann, aber die Physik ersetzt weder die Technik noch ihre Testerfahrung (b).

Die Frage, wie technisches Wissen in Form von Regeln und faktualen Propositionen in technisches Handeln umgesetzt werden kann (wir verwenden die Verben „machen“, „benutzen“, „testen“), ist die Grundfrage der Technikphilosophie schlechthin: Wie ist herstellendes Handeln möglich? (c)

Fragen, was wir mit der Natur machen können, und ob die Antwort darauf alleine das theoretische Wissen über die Natur liefern kann, und ob es auch Handlungen in oder an der Natur gibt, die technischer Art sind, aber weder auf naturtheoretischem noch technischem Wissen basieren und trotzdem erfolgreich sein können (Imitation der Natur), gehören ebenfalls zum Grundkanon technikphilosophischen Nachdenkens. (d)

Die Naturdinge zeigen Eigenschaften, die würde man sie als gleichzeitig existierend annehmen, widersprüchlich wären – etwas kann nicht gleichzeitig flüssig und fest sein. Es war die Aristotelische Idee, die Zeit als Vermittler zwischen (scheinbaren) widersprüchlichen Eigenschaften anzusehen und das Nacheinander von solchen gegensätzlichen Eigenschaften als Werden und Vergehen, als Veränderung, verallgemeinert als Bewegung anzusehen.<sup>2</sup>

Ebenso wie Widersprüche in der theoretischen Beschreibung von Natur es unmöglich machen, Vorhersagen zu treffen und Naturprozesse für sich auszunutzen, so führen Gegensätze im technischen Wissen (als Regelwerk, das erlaubt, effektiv Durchführungen zu verknüpfen) zu Gegeneffektivitäten beim technischen Handeln, sprich zu Fehlhandlungen.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vgl. Bacon 1990, Teil II, Aphorismus 3.

<sup>2</sup> Wovon das Gegenteil nicht immer gilt, das kann sowohl sein, als auch nicht sein. All das Seiende, dessen Gegenteil das Nichtseiende ist, oder das Nichtseiende, dessen Gegenteil das Seiende ist, ist klar bestimmbar. Es gibt aber auch ein Etwas, das nicht unbedingt dieser doppelten Verneinung angehört. Und wovon das Gegenteil nicht immer gilt, das kann sowohl sein als auch nicht sein, und so gibt es das Werden (γένεσις) und das Vergehen (φθορά). Denn Aristoteles musste im Rahmen seiner Naturphilosophie erklären, warum Dinge entstehen und warum sie auch wieder vergehen. Vgl. auch die Abhandlung von Aristoteles über Entstehen und Vergehen (Aristoteles: *de generatione et corruptione*, 1978).

<sup>3</sup> Solche Parapraxien können in Analogie zu Widersprüchen in der Logik behandelt werden (vgl. Kornwachs 2009), jedoch gilt nicht mehr wie in der Logik, in der man aus einem Widerspruch alles folgern kann (*ex falso quodlibet sequitur*), dass man aufgrund von Fehlhandlungen beliebige Handlungsanleitungen ableiten könnte.

Aufgabe einer Wissenschaftstheorie der Technikwissenschaften ist es daher, anschlussfähig zu vorliegenden Handlungstheorien mehr über die Struktur technologischen Wissens, also über technologische Theorien herauszufinden. Was gilt beispielsweise in der Formulierung technischen Wissens, das in Form einer Theorie daherkommt, als Rechtfertigung, was ist in der Technik ein formales und was ein inhaltliches Argument, inwiefern gehen normative Elemente in die Regeln ein, was ist Deskription und was ist Präskription, was sind außertechnische Kriterien, kann man diese Kriterien überhaupt vom Verwendungszusammenhang einer konkreten Technik separieren?

Eine Theorie der Technik, die eine Deutung von Technik zum Ziel hat und nach den Bedingungen der Möglichkeit technischen Handelns fragt, ist nicht gleichzusetzen mit einer technologischen Theorie, die technisches Wissen in Form von untereinander strukturierten Regeln beinhaltet (z. B. des Reaktorbetriebs oder der Verarbeitung von Biogas). Eine Theorie der Technik versucht eine Bestimmung des Wesensgehalts der Technik in Analogie zur Bestimmung des Wesensgehalts der Wissenschaft. Sie fragt: Ist Technik nur eine degenerierte Naturwissenschaft, axiomatisch verarmt und normativ aufgeladen durch die Einführung von extern bestimmten, nicht intradiziplinär hergeleiteten Zielen und Zwecken? Ist Technikwissenschaft die systematische Erforschung möglicher Funktionalitäten? Oder ist Technik als Praxis *sui generis* eine anthropologische Konstante, ein humanum, das man erforschen muss, wenn man mit den Folgen von Technik bewusst und verantwortungsvoll umgehen möchte?

## 2 TECHNIK UND TECHNIKWISSENSCHAFTEN

Es hat sich im Laufe der Beschäftigung mit philosophischen Grundfragen der Technikwissenschaften herausgestellt, dass der Gegenstand der Technikwissenschaften nicht nur das Artefakt, also das hergestellte *instrumentum*, das künstlich hergestellte Mittel zum vorgegebenen Zweck sein kann. Technische Funktionalität entwickelt sich vielfach erst beim Gebrauch des Artefakts. Bereits in der Doppeldeutigkeit des Wortes „Technik“ im deutschen wie auch im englischen und französischen Sprachgebrauch zeigt dies: Einerseits bezieht sich der formale Begriff der Technik auf die Kunst, die Fertigkeit, den Trick, die Technik, die man „drauf“ hat, andererseits ist es der materiale Aspekt, der die Hervorbringungen, vom Werkzeug bis zum Computer im Blick hat.

So hat schon früh Günter Ropohl darauf hingewiesen, dass ein erweiterter Technikbegriff sowohl das Artefakt wie die damit verbundenen tatsächlichen wie möglichen Handlungen und deren Organisationsformen als auch die Herstellung bis hin zur Entsorgung umfassen muss.<sup>4</sup> Menschen, deren Handlungen, Organisationen wie Artefakte sind in einem Handlungssystem zu modellieren, das Zielvorstellungen der Beteiligten ebenso umfasst wie allfällige Störungen und die (kolateralen) Einflüsse auf die benachbarten Systeme, vulgo Umwelt in einem ganz generalisierten Sinne.<sup>5</sup>

Dies erlaubt es von einer organisatorischen Hülle technischer Artefakte zu sprechen: Die organisatorische Hülle einer Technik (d. h. die Gesamtheit der Geräte und Operationen, um eine technische Funktion<sup>6</sup> zu realisieren) enthält die Anteile an Organisation und deren Regeln (operative Regeln), die erforderlich sind, um die Geräte adäquat interagieren zu lassen. Dabei kann ein Gerät immer mehr Funktionen realisieren, als in ihm angelegt sind. Dies ist ein Funktionsüberschuss, der in der Diskussion der Zweck-Mittel-Relation in der Handlungstheorie bekannt ist. Desweiteren hängt die Realisierung einer Funktion von der Verfügbarkeit des Gerätes ab, von der Präparation des Gegenstandes (im Idealfall der Bedienung) und von der Adäquatheit des gewünschten Ergebnis im konkreten Kontext.

Technisches Wissen ist nach Mario Bunge in unterschiedlichen Ebenen präsent.<sup>7</sup> Wir nennen dieses Wissen Technologische Theorie, oftmals wird auch dafür nur der Begriff Technologie synonym verwendet im Sinne von „regelbasiertes technisches Wissen“. Die erste Ebene nennt Bunge die substantielle Theorie. Im Bereich der optischen Technologie ist dies das Wissen, wie man ein Mikroskop baut, unter Einschluss des erforderlichen Wissens über Optik, Mechanik, Produktionstechnik etc. Die zweite Ebene nennt Bunge die operative Theorie, d.h. wie man ein Mikroskop im Anwendungsbereich benutzen kann oder soll. Nun kann man sich auch eine operative Theorie der  $n$ -ten Art vorstellen: Wie man z. B. einen guten Kundenberatungsservice für Mikroskopkäufer und -benutzer aufbaut. Daraus ergibt sich eine iterative Definition der Relation zwischen substantieller und operativer Theorie: Die Ebene  $n+1$  ist operativ für die Ebene  $n$ .

Die Regeln in der organisatorischen Hülle sind operative Regeln, gehören also zum operationalen Teil der technologischen Theorie. Allerdings muss zwischen Regeln der substantiellen Theorie und der operativen Theorie, also zwischen der Funktionalität des Geräts der unmittelbar anschließenden organisatorischen Hülle eine direkte Anschlussfähigkeit gegeben sein. So müssen die Regeln der Bedienung, formuliert in Begriffen der kausal bestimmten Regeln, „Wenn man das tut, dann geschieht das und das“, an die Re-

<sup>4</sup> Vgl. Ropohl 1979/1999/2009.

<sup>5</sup> Konkret: Konstruktion, Produktion, Distribution, Ge- oder Missbrauch, Modifikationen, Entsorgung von technischen Hervorbringungen und deren Organisationsformen.

<sup>6</sup> Eine solche technische Funktion kann man verbal mit einem Verb und einem Substantiv beschrieben. Mathematisch kann man, unter gewissen Voraussetzungen und operativ interpretiert, eine technische Funktion auch als mathematische Funktion  $y = f(x)$  modellieren: Man führe  $x$  durch und das „Gerät“ liefert  $y$ .

<sup>7</sup> Vgl. Bunge 1967, Kap. 11.

geln anschließbar sein, wie man diese Bedienung zum Beispiel arbeitsteilig organisiert, wie beim Schichtdienst. Man kann sich schnell an alltäglicher Technik klar machen, dass ohne die Ko-Systeme wie Kraftstoffproliferation und Ersatzteile kein Auto, ohne Strom und Programme kein Computer, ohne sinnvolle Minimallogistik kein Kühlschrank die ihnen zugedachten Aufgaben erfüllen können.

Technikwissenschaften sind primär mit Entscheidungen und dazu erforderlichen Kriterien konfrontiert. Jeder, der Technik entwickelt, anwendet oder gebraucht übernimmt gesetzte Zwecke oder setzt sie selbst. Selbst ein Erfinder muss sich immer wieder entscheiden, ob er seine Funktionsvermutung weiter verfolgen soll, der Investor, ob er in weitere Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen investieren soll.

Technik als Finden und Realisieren von Mitteln, die eine Gestaltung von Artefakt und Hülle anstreben, ist eine Handlung, die immer einer Entscheidungssituation ausgesetzt ist: Welche technisch-organisatorische Alternativen bieten sich zur Realisierung gewünschter Funktionen noch an? Welche ist unter gegebenen Umständen zu präferieren? Bei der Durchführung (Implementation, Gebrauch, Störungsminimierung, Entsorgung) ist zu entscheiden, zu welchen Zwecken welche organisatorisch-technischen Systeme eingesetzt werden sollen. Darin ist man nicht immer frei – bestimmte Technologien erzwingen einen bestimmten Gebrauch. Weiterhin erlauben bereits vorhandene Mittel die Ermöglichung neuer Zwecke und werfen damit die Frage nach sinnvollem oder ethisch vertretbarem Gebrauch, nach Missbrauch, nach Standards, Normen und Regelungen auf.

Die wissenschaftstheoretische Grundposition bei der Interpretation technischen Wissens als wissenschaftlichen Wissens kann man so umreißen: Die Unterscheidung von Grundlagenwissenschaft(en) (pure science) und Angewandten Wissenschaften (applied science) ist genau genommen schon seit Bacon (1561-1626) als solche nicht mehr strikt getrennt definierbar:

*„Menschliches Wissen und menschliche Macht treffen in einem zusammen; denn bei Unkenntnis der Ursache versagt sich die Wirkung. Die Natur kann nur beherrscht werden, wenn man ihr gehorcht; und was in der Kontemplation als Ursache auftritt, ist in der Operation die Regel.“<sup>8</sup>*

---

<sup>8</sup> Vgl. Bacon 1990, Teil II, Aphorismus 3, S. 81.

Das bedeutet, dass man auch der reinen Wissenschaft nicht nur ein – zwar überwiegendes – Erkenntnisinteresse, sondern auch ein Gestaltungs- und Handlungsinteresse unterstellen darf. Allerdings zeigt erst eine wissenschaftstheoretische Analyse, dass es jenseits dieser Homomorphie der Motivationen doch Unterschiede gibt, und zwar methodisch, praktisch und logisch. Zwar muss heute selbst jemand, der Wissenschaft und Technik trennt, zugeben, dass Technologie seit der Neuzeit wissenschaftliches Wissen braucht, um Neues zu (er)finden, und umgekehrt Wissenschaft immer mehr Technik braucht, um Experimente durchführen zu können. Die darf aber die Unterschiede nicht verwischen. Grundlagenorientierte Naturwissenschaften und Technikwissenschaften sind unterschiedlich. Zum einen ist Technik älter als Wissenschaft, kognitiv wie praktisch. Zum anderen sind die Fragestellungen unterschiedlich, auch wenn sich Methoden zuweilen zu ähneln scheinen, z.B. bei einem wissenschaftlichen Experiment gegenüber einem technologischen Test.

In den Bemühungen, eine Wissenschaftstheorie der Technikwissenschaften zu entwerfen, ist die Frage nach den Spezifika des technischen Wissens entscheidend und inwiefern es sich einerseits vom handwerklichen und Alltagswissen und andererseits vom natur- und sozialwissenschaftlichen Wissen unterscheidet.<sup>9</sup> Eine mögliche Antwort auf diese Frage berührt immer auch die Frage nach dem Gewissheitsgrad des so gewonnen Wissens und damit auch nach den Fragen der kategorialen Bestimmungen, welche ein höheres Maß an Gewissheit zu konstatieren erlauben als beispielsweise beim Alltagswissen. Die Frage nach – immer nur gradueller – Gewissheit kann dann unmittelbar verknüpft werden mit der Frage nach der Vernünftigkeit dieser Kriterien, nach der methodischen Absicherung und nach der Integrität der jeweiligen Behauptungsakte solcher Grade an Gewissheit. Dem schließt sich selbstredend dann die Frage nach dem Vertrauen in solche Behauptungsakte an.

Man kann anhand der Faustregel des technisch-instrumentellen Handelns, den sogenannten Pragmatischen Syllogismus<sup>10</sup>

Wenn  $A \rightarrow B$ , dann versuche  $B$  per  $A$ ,

durchaus unterschiedliche Wissensarten festmachen. Die meist kausale, als Implikation geschriebene „Wenn A, dann B“ Relation enthält das theoretische Wissen, die Regel „Versuche  $B$  per  $A$ “ das praktische Wissen, das auch den Kern des technischen Wissens ausmacht. Während A und B Aussagen über Eigenschaften sind im Sinne einer propositionalen Logik, stellen  $A$  und  $B$  Bezeichnungen für Handlungen dar. Dass man überhaupt von der implikativen Formulierung von Kausalrelationen zu praktischem Wissen gelangen kann, also das, was man die „Anwendbarkeit von Wissen“ nennen könnte, ist selbst ein Wissen, das wir an dieser Stelle „pragmatisches Wissen“ nennen wollen. Die kategoriale Unterscheidung zwischen grundlagenorientiertem wissenschaftlichem Wissen, wissenschaftlichem Wissen der Anwendung und dem praktischen Wissen zeigt Tabelle 1.

<sup>9</sup> Vgl. Poser 2001.

<sup>10</sup> Bunge 1967, Kap. 11. Eine ausführliche Analyse in Kornwachs 1998/2001.

Tabelle 1: Struktur technischen Wissens, kontrastiert mit wissenschaftlichem Wissen<sup>11</sup>


<b>LOGISCHE FORM</b>	$A \rightarrow B$	$\mathcal{E}$ per $A$	$A$
<b>KRITERIEN</b>	Wahrheit	Effektivität	Effizienz
<b>ELEMENTE DER THEORIE</b>	(Natur-)Gesetze	Regeln	Durchführung (Handlung)
<b>GEWINNEN NEUER ERKENNTNISSE</b>	Beobachtung Experiment Berechnen (Theorie)	... Test Simulation	Beobachten Bau Modellbau
<b>PROGNOSEN</b>	deduktiv	abduktiv Funktionsvermutung	fakultativ (Fähigkeit)
<b>TYPEN VON AUSSAGEN</b>	deskriptiv	normativ	normativ - possibilistisch
<b>STRUKTUR DES WISSENS</b>	Explizite Erklärung Ursache-Wirkungs-Relation	Explizite Zweck-Mittel-Relation	Explizit: Richtlinien, Normen, Leistungsheft, Protokoll; Implizit: Fähigkeit, Können

Die Pfeile oberhalb der Tabelle verweisen darauf, dass Technikwissenschaften und Technologie, selbst als Praxis im Sinne von Können, nicht allein und ausschließlich von den Grundlagenwissenschaften und ihren Erkenntnissen abhängen. Die rückkoppelnden Pfeile deuten an, dass eben auch Fragestellungen der Technikwissenschaften und der Technologie selbst Anregung und Motor grundlagenwissenschaftlicher Tätigkeit sein können – schließlich ist Technik bekanntlich älter als die Wissenschaft, die ihren methodischen Aufstieg erst im 17. Jahrhundert hatte. Gleichwohl hilft Wissenschaft nicht nur, neue technische Erkenntnisse vorzubereiten, sondern auch, bereits vorhandene und erfolgreich angewandte technische Kenntnisse nachträglich zu erklären und zu begründen. Dies trägt zur Erhöhung der Gewissheit solchen Wissens bei. Dennoch muss man unterscheiden zwischen den Wissensarten, wie sie in den drei Rubriken angedeutet sind.

In der Wissenschaft ist die logische Form der Aussagen, mit denen wir es zu tun haben, die Implikation, der „Wenn-dann-Satz“. Das Kriterium hierfür ist die Wahrheit, die Theorie besteht aus miteinander verknüpfbaren (Natur-)Gesetzen. Die Gewinnung neuer Erkenntnisse geschieht durch Beobachtung, durch das Experiment und durch die

<sup>11</sup> Vgl. Kornwachs 2006.

Prognose von Eigenschaften, die meist aufgrund der Theorie und bekannter Randbedingungen berechnet werden kann. Sie ist die Grundlage auch für die Erkenntnisse durch Simulation und Visualisierung, die in den Naturwissenschaften zum Teil das Experiment unterstützt und zunehmend ersetzt. Die Gewinnung dieser Erkenntnisse geschieht letztlich deduktiv, also aus der Ableitung und damit Erklärung eines einzelnen Phänomens aus einem allgemeinen (Natur-)Gesetz. Die Aussagen in der Wissenschaft sind im Kern ihrer Theorie deskriptiv, beschreiben also, was ist, und nicht, was sein soll. Dies hat zur Vermutung geführt, dass Wissenschaft wertfrei sei, was aber in der Diskussion des 20. Jahrhunderts längst bestritten und widerlegt worden ist. Die Struktur des wissenschaftlichen Wissens ist charakterisiert durch explizierte Erklärungen (deduktiv-nomologisch) und der hypostasierten Ursache-Wirkungsrelation.

In der angewandten Wissenschaft, wie sich die Technikwissenschaften verstehen, ist die vorherrschende Aussagenform die technologische Regel „ $\mathcal{B}$  per  $\mathcal{A}$ “. Sie ist keine Implikation, sondern fordert auf,  $\mathcal{A}$  zu tun, wenn  $\mathcal{B}$  erreicht werden soll. Ihre erfolgreiche Anwendung ist bekanntlich auch ohne die dazu gehörigen naturwissenschaftlichen Kenntnisse möglich. Eine technologische Regel wird nach dem Kriterium der Effektivität, nicht nach der Wahrheit bemessen. Eine technologische Theorie besteht demnach aus miteinander verknüpfbaren Regeln. Das Gewinnen neuer Erkenntnisse in der Technik geschieht durch das Beobachten von schon bestehenden Artefakten und dem Versuch, neue zu bauen und ihre Funktionen zu bestimmen. Dies geschieht durch Test und Simulation (als Test im Virtuellen). Voraussagen, welche technischen Funktionen ein Gerät zu welchem Grad im Zusammenhang mit seiner Verwendungsweise und der situativen Einbettung erfüllen wird, sind deduktiv nicht möglich, sondern geschehen meist durch die Abduktion.<sup>12</sup> Sie stellen Funktionsvermutungen dar, die getestet werden müssen. Der Typus von Aussagen ist präskriptiv, da angestrebte Zwecke und Ziele enthalten sind. Die Struktur des Wissens ist nicht mehr nach Kausalrelationen, sondern nach der Zweck-Mittel-Relation aufgebaut, sie ist aber in ihrer Regelhaftigkeit immer noch explizit.

Die Praxis der Technik wird durch Handlungen beschrieben. Diese können zeitlich und räumlich als Elemente miteinander verknüpft werden und stellen dann Handlungsstränge oder -ketten, letztlich wieder Handlungen dar. Handlungen werden an ihrer Effizienz gemessen, also dem Nutzen im Verhältnis zum zeitlichen und/oder energetischen Aufwand. Dieses Verhältnis ist das entscheidende Kriterium, das aber alles andere als objektiv ist. Die Elemente des Wissens sind hier die Beschreibungen der Durchführungen

<sup>12</sup> Diese hat im Gegensatz zur Deduktion als modus ponens (wenn  $[\forall x A(x) \rightarrow B(x) \wedge A(a)]$ , dann  $B(a)$ ) die Form (wenn  $[\forall x A(x) \rightarrow B(x) \wedge B(a)]$ , dann  $A(a)$ ) und ist kein zugelassenes Theorem in Kalkülen, die auf der zweiwertigen Aussagenlogik aufbauen. Es wird nur zulässig, wenn man es in der Fuzzy Logik interpretiert: (wenn  $[\forall x A(x) \rightarrow \mu B(x) \wedge B_v(a)]$ , dann  $A_v(a)$ ), d.h. wenn aus  $A$  zu einem gewissen Grade  $\mu$  die Eigenschaft  $B$  folgt und der Gegenstand hat zu einem gewissen Grade  $v$  die Eigenschaft  $B$ , kann man auf das graduelle Zutreffen vom Maß  $\lambda$  der Eigenschaft  $A$  für  $a$  schließen. Dieses Maß  $\lambda$  kann aus den Fuzzy Maßen  $\mu$  und  $v$  berechnet werden; vgl. Gottwald (1993). Wenn auch formal keine zugelassene Schlussregel, so ist die Abduktion auch ohne Fuzzifizierung in der Praxis der Technikwissenschaften ein nützliches Hilfsmittel zum Finden von Funktionsvermutungen (Hypothesen über Regeln); vgl. Gallee 2003.

von Handlungen. Das Gewinnen neuer Erkenntnisse hingegen geschieht nicht nur durch Beobachten von Handlungen in ihren Durchführungen, sondern ebenfalls durch den Bau und das Benutzen von Modellen, mit und in denen probegehandelt werden kann. Prognosen können nur über die möglichen Folgen von Handlungen angestellt werden oder darüber, ob überhaupt ein Subjekt in der Lage ist, eine gewisse technische Handlung durchführen zu können. Daher sind diese Prognosen weder deduktiv noch abduktiv, sondern fakultativ.<sup>13</sup> Der Typus der Aussagen ist normativ-possibilistisch, d.h. er verknüpft Forderungen mit Möglichkeiten, die Struktur des Wissens ist gemischt: Explizit, wenn sie in Form von Richtlinien, Normen, Leistungsheften und Protokollen erscheint; implizit, wenn es um Können und Fähigkeiten geht, die das fähige Subjekt selbst nicht explizit beschreiben kann.

Im Idealfall handelt ein Subjekt technisch nach dem pragmatischen Syllogismus „Wenn  $A \rightarrow B$ , dann versuche  $\mathcal{E}$  per  $\mathcal{A}$ “. Im Idealfall hat die Handlung  $\mathcal{A}$  die Wirkung  $\mathcal{E}$ . Im Normalfall, sprich im richtigen Leben, hat eine Handlung  $\mathcal{A}$  jedoch die Wirkung  $\mathcal{E}$  nur zu einem gewissen Grad und zusätzlich einige Nebenwirkungen. Kurz:  $\mathcal{A}$  ruft  $x\%(\mathcal{E})$  + Nebenwirkung  $\mathcal{E}'$  hervor. Der pragmatische Syllogismus „Wenn  $A \rightarrow B$ , versuche  $\mathcal{E}$  per  $\mathcal{A}$ “ ist also nicht mehr ohne weiteres anwendbar, sondern müsste erweitert werden um:

Wenn  $A \rightarrow B$ , versuche  $\mathcal{E}$  per  $\mathcal{A}$  nur dann, wenn  $x\%(\mathcal{E})$  ausreichend ist und  $\mathcal{A}$  nur solche absehbaren Nebenwirkungen  $\mathcal{E}'$  auslöst, die akzeptabel, reduzierbar bis behebbar oder kompensierbar sind.

Für jede Ebene einer technologischen Theorie, sei sie substantiell oder operativ,<sup>14</sup> gibt es Regeln, die als Anweisungen interpretierbar sind und die Form  $\mathcal{E}$  per  $\mathcal{A}$ , haben. Ferner gibt es gesetzesartige Aussagen (Propositionen) der Form  $x [A(x) B(x)]$ , faktuale Aussagen (Propositionen) der Form  $x A(x)$  bzw.  $A(a)$  und Regeln für Test und Messung wie: do n time  $[\mathcal{A}]$ , observe whether B.<sup>15</sup> Zwischen Regeln und gesetzesartigen Aussagen bestehen keine logischen, höchstens pragmatische Beziehungen, zwischen faktualen Aussagen und Testregeln keine direkten Beziehungen. Der pragmatische Syllogismus, der von einer gesetzesartigen Aussage zu einer Regel „führt“, verknüpft theoretisches Wissen mit praktischem Wissen. Dass man diese Verknüpfung im Einzelfall erfolgreich durchführen kann, auch wenn keine Beziehung der logischen Ableitbarkeit besteht, gehört selbst zum pragmatischen Wissen, d.h. Wissen, welche gesetzesartige Aussage man

<sup>13</sup> Diese Schlussform, die ich hier fakultativ nennen möchte, lautet: Wenn ein Subjekt P alle Bedingungen erfüllt, A tun zu können, um B zu erreichen, und B wird von diesem Subjekt P gewünscht, dann ist P auch fähig, A zu tun. Kurz: Wille + Können = Fähigkeit.

<sup>14</sup> Vgl. Bunge 1967, Kap. 2 und 4.

<sup>15</sup> Vgl. Kornwachs 2010, Kap. C 3.2.

zur Formulierung einer Regel benutzen kann und welche nicht. Dieses Wissen wie das rein pragmatische Wissen ist für alle technologischen Theorien konstitutiv.

Man kann mit diesem Teil des praktischen Wissens oftmals erfolgreich handeln, ohne die anderen, theoretischen Teile zu kennen. Regeln der Form  $\mathcal{B}$  per  $\mathcal{A}$  sind nicht wahrheitsdefinitiv, sondern werden nach Effektivität beurteilt, sie sind effektivitätsdefinit.

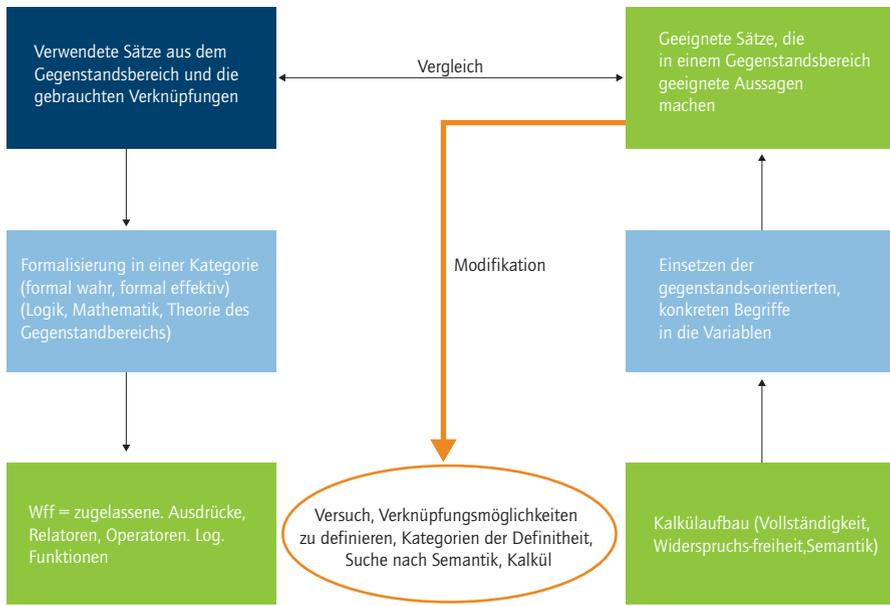
Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass diese in Tabelle 1 angedeutete idealtypische Unterscheidung von Grundlagenwissenschaften und Angewandten Wissenschaften in der Forschungspraxis so nicht aufrecht erhalten werden kann und auch nicht muss: Grundlagenforschung bedarf ausgefeilten technikkissenschaftlichen Wissens, um Experimente durchzuführen, umgekehrt kommt Technisches Wissen ohne Erweiterung durch grundlagenorientiertes Wissen nicht mehr aus. Gleichwohl sind nach Vorgehensweise der Gewinnung und innerer Struktur des Wissens die Disziplinen der angewandten und der Grundlagenwissenschaften unterscheidbar, und diese Differenzierung kann man freilich innerhalb der jeweiligen Disziplingruppen ebenfalls vornehmen.<sup>16</sup>

### 3 VON AUSSAGEN UND VON DURCHFÜHRUNGEN – DIE ROLLE DER LOGIK IN DER TECHNIK

Die wissenschaftstheoretische Analyse einer Disziplin orientiert sich immer noch – mehr oder weniger explizit – an den formalen Analysemöglichkeiten der Logik. Logik ist hier nicht als nur metaphorischer Ausdruck gemeint (im Sinne von Sachlogik), sondern als Instrument der Formalisierung, um die Struktur des Aufbaus von Wissen und die Schlussweisen, mit denen neues Wissen erzeugt wird, besser verstehen zu können. Die Logik sagt nichts über den Gegenstand im Gegenstandsbereich aus, aber sie ist nützlich, um Konsequenzmengen aus Aussagen im Gegenstandsbereich zu gewinnen und die Struktur der Aussagenverknüpfungen in einem Gegenstandsbereich zu erforschen. Auf das technische Wissen angewendet bedeutet das, dass die Logik nicht das genuin technische Wissen, wie es in Form von Regeln und Eigenschaftsaussagen in der technologischen Theorie deponiert ist, ersetzen kann. Die Logik hilft jedoch zu zeigen, wie man aufgrund von Regeln auf andere Regeln schließen kann. Die Konsequenzmenge, die so aus Regeln gewonnen werden kann, müsste wiederum weitere Regeln beinhalten, von denen man hofft, dass sie ebenfalls effektiv sind, spricht sich als technologisch brauchbar erweisen. Ob dies durch eine neu zu findende Form des „technologischen Schließens“ möglich wird, hätte dann eine solche logische Analyse zu erweisen. Dabei zeigt sich, dass die Bestimmung der Effektivität zusammengesetzter technischer Regeln aus den Effektivitätswerten der einzelnen Regeln isomorph zu den Schlussregeln der Aussagenlogik (Wahrheitsfunktionen) erfolgen kann, dass allerdings die Semantik und auf der Ebene der Modallogik Unterschiede zu finden sind.<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Weitere Unterscheidungen finden sich in Ropohl 1997 und 1998.

<sup>17</sup> Vgl. Harz 2007.

Abbildung 2: Modus operandi der Logik als Analyseinstrument, z.B.in der Wissenschaftstheorie<sup>18</sup>

Die Anwendung der Logik in der Wissenschaftstheorie als Analyseinstrument zeigt Abbildung 2. Für die Technikwissenschaften als Untersuchungsgegenstand formalisiert man Ausdrücke (Aussagen, Regeln, Imperative), wie sie im Gegenstandsbereich der Technik vorkommen und die dabei gebrauchten Verknüpfungen. Da Formalisierung immer anhand von (hier logischen) Kategorien erfolgt, muss man neben der normalen Aussagenlogik und der Theorie des Gegenstandsbereichs unter Umständen auch neue Kategorien zulassen wie Handlungen oder Durchführungen von technischen Handlungen. Die so gewonnenen Ausdrücke seien wohlgeformte Ausdrücke (well formed formulas) und enthalten Relatoren, Operatoren, logische Funktionen etc. Dazu muss man die Bedingungen für die Zulassungen für Ausdrücke, Definitionen, Beziehungen zwischen technischen Ausdrücken und ein Kalkül des technischen Schließens und dessen Semantik festlegen beziehungsweise finden. Setzt man dann konkrete Ausdrücke in die Variablen ein, kann man das Kalkül zur Untersuchung technologischen Wissens benutzen und testen, ob man Sätze finden kann, die im jeweiligen Gegenstandsbereich geeignete Aussagen machen. Der Vergleich mit dem vorliegenden technischen Wissen führt dann unter Umständen zu Modifikationen des Kalküls und/ oder dessen Semantik.

<sup>18</sup> Vgl. Kornwachs 2008.

Als ein Beispiel für diese Vorgehensweise könnte man nun den pragmatischen Syllogismus auch im Rahmen einer deontologischen Logik formulieren.

Als Ansatz nehmen wir an, dass sich der pragmatische Syllogismus mit dem Obligationsoperator der deontischen Logik  $O(X) = \{X \text{ muss getan werden bzw. } x \text{ ist anzustrebendes Ziel}\}$  formalisieren lässt. In erster Näherung lassen wir die kategoriale Unterscheidung zwischen A als Aussage und A als Durchführung einer Handlung weg.<sup>19</sup> Wenn aus dem Zustand, der mit dem Ausdruck A beschrieben wird (kurz Zustand A), der Zustand, der mit dem Ausdruck B beschrieben wird (kurz: Zustand B), folgt, und der Zustand B gewünscht wird (Ziel ist), dann ist auch der Zustand A Ziel, pragmatisch: A muss herbeigeführt werden. Formal:<sup>20</sup>

$$[(A \rightarrow B) \wedge O(B)] \rightarrow O(A)$$

In dieser Form wäre der pragmatische Syllogismus in keinem Modalkalkül ein beweisbares Theorem, nur die negativen Versionen sind in einem deontischen Kalkül beweisbar, würden also eine zugelassene Schlussfolgerung darstellen. Diese sind<sup>21</sup>

$[(A \rightarrow \neg B) \wedge O(B)] \rightarrow O(\neg A)$  Wird B gewünscht und ist A eine Voraussetzung für non B, dann soll man A nicht durchführen.

$[(\neg A \rightarrow B) \wedge O(\neg B)] \rightarrow O(A)$  Wird nicht B gewünscht und ist non A eine Voraussetzung für B, dann soll man A durchführen.

$[(\neg A \rightarrow \neg B) \wedge O(B)] \rightarrow O(A)$  Wird B gewünscht und ist non A eine Voraussetzung für non B, dann soll man A durchführen.

$[(A \rightarrow B) \wedge O(\neg B)] \rightarrow O(\neg A)$  Soll B verhindert werden, und ist A eine Voraussetzung für B, dann muss man A verhindern.

Aus diesem analytischen Befund ergeben sich unter den gemachten Voraussetzungen zwei Konsequenzen, die als Hypothese für weitere Untersuchungen formuliert werden können:

**Hypothese I:** Wir sind nicht in der Lage, technische Bewirkungen im Sinne des Gebrauchs oder der Beeinflussung von Artefakten und vorhandenen Dingen direkt durchzuführen, sondern nur dadurch, indem wir nicht erwünschte Zustände zu verhindern versuchen.

**Hypothese II:** Wenn Natur in Form von Ausdrücken wie  $A \rightarrow B$  beschrieben werden kann, können wir dieses Wissen nicht direkt anwenden, sondern immer nur durch das Mittel, wie man unerwünschte Prozesse und Zustände verhindert. Genau dies ist aber auch der wesentliche Zug von Steuerung und Kontrolle, nämlich mehr oder weniger das zu verhindern, was nicht erwünscht ist.

<sup>19</sup> Dass dies ein nicht triviales Problem darstellt, wird in Kornwachs 2010 in Kap. B 1.6 gezeigt.

<sup>20</sup> Vgl. Kornwachs 1998/2001.

<sup>21</sup> Beweis siehe Kornwachs 1998/2001 und 2010, Kap. B 1.6.

Logisch gesehen sind wir demnach nur in der Lage, unsere Welt durch Prävention und Negation zu kontrollieren. Dieser etwas überraschende Befund hat uns dazu geführt, die Strukturen technischen Wissen weiter zu untersuchen. Dazu gehören die logische Analyse technologischer Terme und die Logik der Operationen und der Effektivität, die Beziehungen zwischen technologischen Theorien wie Kohärenz, Korrespondenz und Konvergenz und schließlich die daraus sich anschließenden ethischen Probleme wie Konflikte, Dilemmata und Verantwortlichkeit.<sup>22</sup>

#### 4 DURCHFÜHRUNGSLOGIK ALS HILFSMITTEL

Die Grundfragen lauten: Kann man eine Logik aufbauen, die analysieren hilft, ob man von der Effektivität von Einzelregeln auf die Effektivität von zusammengesetzten Regeln schließen kann? Kann man dann aus Grundannahmen der Technikwissenschaften Konsequenzen logisch ableiten, die technisch intuitiv akzeptiert werden können (gesunder technischer Menschenverstand)? Könnte eine solche Logik zur Findung von Problemlösungsverfahren oder zur Bewertung helfen?

Der Aufbau einer „Techno-Logik“, d.h. einer Logik der technischen Durchführungen,<sup>23</sup> versteht sich demnach als eine Suche nach einem Kalkül, der benutzt werden kann, um technische Aussagen und Regeln zu formalisieren und zu untersuchen. Der erste Schritt hierzu ist die folgende Festlegung: Sei  $\otimes$  das Zeichen für eine Variable, welche die Art bezeichnet, mit der technische Regeln verknüpft werden können (in Analog zu den Junktoren in der Aussagenlogik). Seien  $R_1$  und  $R_2$  Regeln,  $E(R_1)$ ,  $E(R_2)$  die Operatoren, um ihren Effektivitätswert zu bezeichnen. Dabei kann  $E(R)$  effektiv (=eff) oder nicht-effektiv (=uff) sein.<sup>24</sup> Dann soll es eine Funktion  $F$  geben (in Analogie zu „wahrheitsdefinit“), die gestattet, aus den Effektivitätswerten der Teilausdrücke den Effektivitätswert des zusammengesetzten Ausdrucks zu ermitteln mit

$$E(R_1 \otimes R_2) = F [E(R_1), E(R_2), \otimes],$$

d.h. die effektivitätsdefinit ist.

Regeln drücken Handlungsanweisungen unter Bedingungen der Zwecksetzung aus: Wenn  $\mathcal{B}$  gewollt wird, tue  $\mathcal{A}$  (um  $\mathcal{B}$  zu erreichen). Ihre Äußerung stellt einen Sprechakt dar (Anweisung, Befehl). Daraus folgt die Festlegung, dass eine Technologische Theorie aus verknüpften Regeln performativ, nicht rein deskriptiv ist.

Eine Handlung  $\mathcal{A}$  (als Elementarakt) kann, wenn sie durchgeführt wird, zumindest eine Eigenschaft eines Gegenstandes aus dem Gegenstandsbereich verändern oder einen Zustand, der mit einer Proposition beschrieben werden kann, verwirklichen. Dies gelte unter der Prämisse, dass alle Handlungen aus Elementaraktens zusammensetz-

<sup>22</sup> Vgl. Kornwachs 2010 sowie einige Vorarbeiten in Kornwachs 2009.

<sup>23</sup> Harz 2007 hat dies eine Durchführungslogik genannt.

<sup>24</sup> Fuzzy-Werte wollen wir zur Vereinfachung an dieser Stelle ausschließen.

bar sind. Eine technische Handlung ist eine Handlung, die ein Artefakt herstellt, oder an einem Artefakt oder mittels eines Artefakts eine Wirkung erzielt. Artefakte können materiell oder immateriell sein (z.B. Algorithmen). Technische Regeln sind Handlungsanweisungen für technische Handlungen unter den Bedingungen der Zwecksetzung. Zwecke setzen immer Intentionen voraus.

Als zweiten Schritt führen wir den schon erwähnten Begriff der technischen Durchführung ein.<sup>25</sup> Eine Durchführung besteht darin, dass ein Artefakt eine technische Funktion erfüllt – eine Glühbirne kann die Funktion erfüllen: Licht spenden. Eine Durchführung besteht auch darin, dass eine Person einen Knopf drückt, um eine elektrische Schaltung in Gang zu setzen, d.h. sie führt eine technische Handlung durch. All dies sei eine Durchführung. Man kann die Durchführungen des Benutzens oder auch Herstellens, z. B. eines Gerätes oder Produktes, durch einen Handelnden selbst, als Durchführung auffassen. Der Handelnde realisiert nicht selbst jede realisierbare technische Funktion des Gerätes, die hier aber ebenfalls als Durchführungen aufgefasst werden sollen.

Wir können zwar zwischen Handlungen  $\mathcal{A}$  und ins Werk gesetzten Ereignissen  $\mathcal{B}$  unterscheiden, formulierbar sind sie jedoch als Durchführungen  $\mathcal{A}$  und Durchführungen  $\mathcal{B}$ . Dies wird als Gesamtdurchführung gedeutet und entspricht der Realisierung technischer Funktionen. Dieser Schritt ist wichtig, um die Analyse der Beziehung zwischen  $\mathcal{A}$  und  $\mathcal{B}$  innerhalb eines homogenen Bedeutungsfeldes vorzunehmen.<sup>26</sup>

Die Funktion des Artefakts besteht darin, den Zustand  $\mathcal{B}$  realisieren zu können, wenn man  $\mathcal{A}$  tut. Es erlaubt als Mittel, durch Tun von  $\mathcal{A}$  (Durchführung  $\mathcal{A}$ ) die Durchführung  $\mathcal{B}$  zu realisieren. Das Subjekt führt eine Handlung  $\mathcal{B}$  durch, die sich durch den Ausdruck  $B$  beschreiben lässt, formal:  $\varepsilon B = \mathcal{B}$ . Handelt es mit einem Artefakt, um  $\mathcal{B}$  ins Werk zu setzen, so ist das, was das Artefakt dadurch bewirkt,  $\varepsilon A = \mathcal{A}$ . Die Verknüpfung geschieht durch die Regel  $\mathcal{B}$  per  $\mathcal{A}$ . Wir können es auch so formulieren: Bei einem Artefakt bringt dessen Funktionieren eine technische Funktion genau dann zur Wirkung, wenn die Handlung  $\mathcal{A}$  am Artefakt die Durchführung von  $A$  bewirkt ( $\varepsilon A$ ) so dass der Zielzustand  $B$  initialisiert wird ( $\varepsilon B = \mathcal{B}$  gegeben ist).<sup>27</sup> Die operative Ordnung ist zeitlich strukturiert:

Eine Handlung ist genau dann effektiv, wenn die Wirkung durch die Operation oder Durchführung initialisiert wurde. Die Wirkung von Handlungsketten ist nicht immer kommutativ. D.h. wenn „Erst  $\mathcal{A}$ , dann  $\mathcal{B}$ “ kann zu einem anderen Ergebnis führen als erst  $\mathcal{B}$ , dann  $\mathcal{A}$ “.<sup>28</sup> Eine Durchführung ( $\mathcal{B}$  per  $\mathcal{A}$ ), die mittels eines Artefakts vollzogen wird, welches konstruiert worden ist, um die technische Funktion  $y = f(x)$  umzusetzen (anzuwenden), ist eine technische Durchführung, wenn die zeitliche Ordnung des „zu-

<sup>25</sup> Synonyme im Englischen hierfür sind u. a.: put into practice, bring to work, implementation.

<sup>26</sup> Vgl. Harz 2007.

<sup>27</sup> Vgl. Harz 2007.

<sup>28</sup> Bemerkung: Man kann eine solche Logik vermutlich auch als zeitlichen Kalkül aufbauen mit den Operatoren von Kamp 1968: **Since**  $(B, A) = A$  ist wahr gewesen seit der Zeit, als  $B$  wahr wurde und **Until**  $(B, A) = A$  wird wahr sein, bis zu der Zeit, wenn  $B$  wahr sein wird. Vgl. auch Kornwachs 2010, Kap. D 3.4.

erst – danach“ zwischen der Realisierung des Wertes  $x$  (d.h.  $\mathcal{A}$  als eine Durchführung von A) und der Realisierung des Wertes von  $y$  (d.h.  $\mathcal{B}$  als die Durchführung von B) gegeben ist.<sup>29</sup>

Die Unterscheidung zwischen Aussagen und Durchführungen, d.h. A als Term, der beschreibt, und  $\mathcal{A}$ , als Term, der ausdrückt, dass der Wert  $x$  angenommen ist, ist durchaus gerechtfertigt.  $\mathcal{A}$  bezieht sich auf die Durchführung von dem, was A beschreibt, und erlaubt, trotz gezeigter Isomorphie zur Aussagenlogik eine etwas andere Semantik aufzubauen.

Das Konzept der Durchführung sei noch etwas näher kommentiert. Technische Regeln stellen Ziel-Mittel Beziehungen wie zeitliche Beziehungen für die Effektivität von Durchführungen dar. Wir können daher B ebenfalls als eine Durchführung ansehen, ins Werk gesetzt (gemacht) durch A. Jede (erfolgreiche) technische Handlung ist eine technische Durchführung, aber nicht jede technische Durchführung ist eine technische Handlung. Die Annahme einer Zustandsänderung allein ist noch keine Handlung, kann aber eine technische Durchführung sein (d.h. das Gerät „tut“ etwas).

Zur Formalisierung legen wir fest:<sup>30</sup>

A,B,C Variablen für Aussagen über Sachverhalte, Handlungen, Zustände etc., die propositional ausgedrückt werden können (Referenz in Sprechakten) (*actus designatus*)

$\mathcal{A}, \mathcal{B}, \mathcal{C}$  Variable für Durchführungen oder Handlungen (*actus exercitus*)

$\varepsilon A$  Initialisierung oder Durchführung von A ist eine Handlung. Sie initialisiert durch das Ins-Werk-setzen des durch A beschriebenen Sachverhalts,  $\varepsilon A = \mathcal{A}$ . Durch  $\varepsilon$  wird A in noch festzulegender Weise zeitlich positioniert. Eine Durchführung resp, durchgeführte Handlung ist effektiv oder nicht. Effektiv (Ef) bedeutet: die Initialisierung einer Durchführung ist erfolgreich (gelingt = der Sachverhalt A liegt vor). Nicht effektiv oder uneffektiv (Uf) bedeutet, dass die Initialisierung eines Sachverhalts „nicht erfolgreich ist (misslingt).

$\approx \varepsilon A$  „Negation“ der Initialisierung eines Sachverhalts= Verhinderung einer Durchführung  
Die Verhinderung eines Zustandes (Faktum, Handlung)  $\approx [\varepsilon A] = \approx \mathcal{A}$  ist nicht identisch mit der Initialisierung eines Zustandes, der nicht A ist, d.h.  $\varepsilon (\neg A)$

<sup>29</sup> Vgl. Harz 2007.

<sup>30</sup> Vgl. Kornwachs 2010, Kap. D 2.3.

$\varepsilon A$  kann als Bestandteil einer Regel aufgefasst werden.

$A \otimes B$  Einfachste Form einer Regel: Sie verknüpft Durchführungen.

Wohlgeformte Ausdrücke in einem solchen Kalkül sind dann:

1. Ist  $\varepsilon A$  ein wohlgeformter Ausdruck (well formed formula = wff), so ist  $\approx \varepsilon A$  ebenfalls ein wohlgeformter Ausdruck.
2. Sind  $\varepsilon A$  und  $\varepsilon B$  wff's, so ist auch  $\varepsilon A \otimes \varepsilon B$  ein wohlgeformter Ausdruck.  $\otimes$  steht als Variablenzeichen für die möglichen Zusammenhänge zwischen initialisierter Durchführung, diese sind ebenfalls Durchführungen, d. h. man kann immer schreiben  $(\varepsilon A \otimes \varepsilon B) = \varepsilon C$ .
3. Unendliche Verknüpfungen von Durchführungen sind nicht zugelassen, jede funktionierende Technik hat nur endlich viele Voraussetzungen zu ihrem Funktionieren.

Tabelle 2: Effektivitätswerte in der Durchführungslogik

$E(\varepsilon B)$	$E(\varepsilon A)$	$E(\varepsilon B \otimes \varepsilon A)$	
EF	EF	1. Stelle	Zuordnung mit EF und UF ergeben genau 16 Möglichkeiten
EF	UF	2. Stelle	
UF	EF	3. Stelle	
UF	EF	4. Stelle	

Zugelassene Zeichen sind demnach  $\varepsilon A$ ,  $\varepsilon B$ , resp.  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ... als Variablen für Durchführungen,  $\approx$  „Negation“ (Verhinderung),  $\otimes$  Variable für die Junktoren  $\varphi_1$ -  $\varphi_{16}$  und  $(, )$  Klammern. Analog zur Kombinatorik bei aussagelogischen Operatoren kann man mit der Zuordnung der Effektivitätswerte zu den Durchführungen 16 Kombinationen bilden.

Man kann nun in Analogie zur Aussagenlogik Axiome oder ein Axiomenschema formulieren. Formal ist dies nicht sonderlich neuartig, entscheidend ist die Interpretation, die man nun diesen so gewonnenen Ausdrücken geben kann. So würde das abgeschwächte Axiom von der Idempotenz  $p \vee p \leftarrow p$  zum Ausdruck

$(\varepsilon A \text{ mit } \varepsilon A) \text{ per } (\varepsilon A)$ .

führen. Die Terme „mit“ resp. „per“ stehen für die Junktoren mit den Effektivitätswerten (EF, EF, EF, UF resp. EF, EF, UF, EF) in Tabelle 2. Salopp könnte man den Ausdruck umgangssprachlich zurückübersetzen in: Wenn etwas zum zweitenmal funktioniert, muss es auch zum erstenmal funktioniert haben. Das Axiom besagt, dass Wiederholung immer eine Einmaligkeit oder eine Erstmaligkeit voraussetzt. Wenn also ein Gerät „im Sinne des Erfinders“ funktionieren soll, also wiederholt, muss es mindestens einmal ohne Fehler oder Einschränkungen funktioniert haben.<sup>31</sup>

Das Axiom der disjunktiven Erweiterung  $p \leftarrow (pvq)$  wird zu

$(\varepsilon A)$  per  $(\varepsilon A$  mit  $\varepsilon B)$

mit der interpretatorischen Rückübersetzung: Wenn etwas miteinander funktioniert, müssen auch die Bestandteile funktionieren. Im Hinblick auf die Geschichte der technischen Entwicklungen ist dieses Axiom insofern bedeutsam, als es immer möglich sein muss, zur alten Technik zurückkehren zu können. D. h., eine Wirksamkeit, die in einer alten Technik einmal funktioniert hat, muss auch heute als Bestandteil einer neuen Technik funktionieren können. Das Vertauschungssaxiom  $(pvq) \leftarrow (qv p)$  wird zu

$(\varepsilon A$  mit  $\varepsilon B)$  per  $(\varepsilon B$  mit  $\varepsilon A)$ ,

was man dann lesen kann als: Wenn beides funktioniert, kann man es auch vertauschen. Die Transitivität der Implikation  $(r \leftarrow p) \leftarrow [(rvq) \leftarrow (q \leftarrow p)]$  wird zum Gesetz der Zwischenregel:

$(\varepsilon C$  per  $\varepsilon A)$  per  $\{( \varepsilon C$  mit  $\varepsilon B)$  per  $(\varepsilon B$  mit  $\varepsilon A)\}$ ,

d.h. es gibt immer eine Zwischenregel, die zwischen zwei Durchführungen vermittelt. So können Computer miteinander kommunizieren, brauchen aber eine „Zwischentechnologie“ wie Netze und dergleichen. Historisch entspricht dies der prinzipiellen Anschlussfähigkeit von Technologien, metaphorisch definiert dieses Axiom die „Kontinuitätshypothese“ der Technik.

Man kann in diesem Kalkül, der auf der syntaktischen Ebene isomorph zur Aussagenlogik ist, auch Theoreme ableiten, z. B. das durchführungslogische Gesetz der Verhinderbarkeit der Verhinderung

$\approx (\approx \varepsilon A)$  jetzt  $(\varepsilon A)$ .

„jetzt“ steht für (EF, UF, UF, EF) (analog der aussagenlogischen Äquivalenz). Als Regel der Durchführbarkeit von Durchführungen bedeutet dies, dass wir nicht in der Lage sind,

<sup>31</sup> Vgl. Harz 2007.

technische Bewirkungen im Sinne des Gebrauchs oder der Beeinflussung von Artefakten und vorhandenen Dingen direkt durchzuführen. Effektiv sind nur Handlungen, wenn wir in der Lage sind, Durchführungen, die das Verhindern verhindern, zu bewerkstelligen, d.h. dass wir die gewünschte Bewirkung dadurch vornehmen, dass wir all das, was dem zu erzielenden Effekt entgegensteht, zu vermeiden oder zu verhindern suchen. Dies entspricht dem durchführungslogischen Pendant zu den beiden in Kapitel 3 genannten Hypothesen I und II.

Als ein weiteres ableitbares Gesetz sei noch das durchführungslogische Gesetz der Verhinderbarkeit erwähnt:

$$\approx \varepsilon A \text{ mit } \varepsilon A$$

Als Regel der Verhinderbarkeit bzw. Durchführbarkeit von Durchführungen bedeutet es, dass wir nur dann in der Lage sind, etwas technisch oder organisatorisch erfolgreich durchzuführen, wenn wir auch in der Lage sind, dies zu verhindern. D. h. dass wir nicht zu einer bestimmten Handlung gezwungen sind, sondern dass wir jedesmal, wenn wir über die Fähigkeit verfügen, eine bestimmte Handlung durchzuführen, auch die Fähigkeit haben, sie verhindern zu können. Für die Technik selbst bedeutet das, dass man auch für jede funktionierende Technik immer Bedingungen angeben kann, die zum Verhindern des Funktionierens dieser Technik führen. In voller Allgemeinheit bedeutet dies auch, dass es keine Technik gibt, die man nicht auch verhindern könnte.

Zum Schluss sei noch über einen ersten Versuch, Modaloperatoren<sup>32</sup> in der Durchführungslogik einzuführen, berichtet. Führen wir die beiden Modaloperatoren zwingend sicher (**Z**) und machbar (**M**) ein, die sich auf Durchführung  $\mathcal{A}$  resp. Verhinderung  $\approx \mathcal{A}$  beziehen sollen. Man kann dann interpretieren: **Z**  $\mathcal{A}$  bedeutet, dass  $\mathcal{A}$  zwangsläufig sicher ist, *per factum* notwendigerweise gegeben.  $\approx \mathbf{Z} \mathcal{A}$  bedeutet, dass  $\mathcal{A}$  nicht zwangsläufig, nicht zwingend sicher ist und deshalb verhindert werden kann, **M**  $\mathcal{A}$  bedeutet machbar bzw.  $\approx \mathbf{M} \mathcal{A}$  nicht machbar. Das logische Quadrat der Modaloperatoren enthält auch die Interdefinierbarkeit, die sich wie folgt interpretieren lässt („jetzt“ als durchführungslogische Analogie zur aussagenlogischen Äquivalenz  $\Rightarrow$ ):<sup>33</sup>

<sup>32</sup> Vgl. Lehrbücher der Modallogik, z. B. Hughes/Cresswell 1978.

<sup>33</sup> Vgl. Kornwachs 2010, Kap. D 2.7.2.

Tabelle 3: Interdefinierbarkeit der durchführungslogischen Modaloperatoren Zwangsläufigkeit Z und Machbarkeit M. Die kursiven Sätze sind eher kommentierend dazu gesetzt.

$ZA \text{ jetzt } \approx M \approx \neg A$	Wenn eine Durchführung zwangsläufig bzw. sicher effektiv ist, dann ist ihre Verhinderung nicht machbar. <i>Man kann nicht gegen die Physik konstruieren.</i>
$\approx Z \approx \neg A \text{ jetzt } M \approx \neg A$	Wenn ihre Verhinderung nicht zwangsläufig ist, ist eine Durchführung machbar. <i>Was die Natur nicht verbietet, ist machbar.</i>
$\approx ZA \text{ jetzt } M \approx \neg A$	Ist eine Durchführung nicht zwangsläufig oder sicher effektiv, ist ihre Verhinderung machbar. <i>Was schief gehen kann, geht schief.</i>
$Z \approx \neg A \text{ jetzt } \approx M \approx \neg A$	Ist die Verhinderung einer Durchführung zwangsläufig oder sicher effektiv, so ist sie nicht machbar. <i>Unmögliche Objekte kann man nicht bauen.</i>

## 5 SCHLUSSBEMERKUNG

Sicher sind die im letzten Kapitel gegebenen Interpretationen sehr frei. Gleichwohl verweisen sie auf intuitiv für richtig gehaltene Einsichten über Technik und drücken damit technisches Wissen aus. Die analytische Wissenschaftstheorie ersetzt nicht das technische Wissen, sondern will zeigen, wie es strukturiert ist, wie es entsteht, und wie man durch logische Schlüsse das technische Wissen im Sinne der Konsequenzmenge erweitern kann. Hier tut sich ein weites Feld künftiger analytischer Bemühungen auf, und die ersten Ergebnisse, über die hier nur andeutungsweise berichtet werden konnte, sind zumindest intuitiv überraschend genug, um weitere Untersuchungen lohnenswert erscheinen zu lassen.

## LITERATUR

### Aristoteles 1978

Aristoteles: Vier Bücher über das Himmelsgebäude und Zwei Bücher über Entstehen und Vergehen. In: Aristoteles: Werke. Griechisch und deutsch mit sacherklärenden Aufmerkungen. Band 2, herausgegeben von Prantl, K., Aalen: Scientia-Verlag, 1978. (Reprint von 1857)

### Bacon 1990

Bacon, F.: Neues Organon, Teil 1 und Teil 2, lateinisch-deutsch (Band 400a,b), Hamburg: Meiner, 1990.

**Bunge 1967**

Bunge, M.: Scientific Research II - The Search for Truth, Berlin/Heidelberg, New York: Springer, 1967.

**Gallee 2003**

Gallee, M.: Grundzüge einer abduktiven Wissenschafts- und Technikphilosophie – Das Problem der zwei Kulturen aus methodologischer Perspektive. Reihe Technikphilosophie, Bd. 11, Münster u.a.: Lit, 2003.

**Gottwald 1993**

Gottwald, S.: Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. Foundations of Application from a Mathematical Point of View, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1993.

**Harz 2007**

Harz, M.: Zur Logik der technologische Effektivität. Dissertation Fakultät 1 für Mathematik, Naturwissenschaften und Informatik, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, April 2007.

**Hughes/Cresswell 1978**

Hughes, G. E./Cresswell, M. J.: Introduction into Modal Logic. London: Methuen, 1968, Deutsche Ausgabe: Einführung in die Modallogik. Berlin/New York: DeGruyter, 1978.

**Kamp 1968**

Kamp, J. A. W.: Tense Logic and the Theory of Linear Order. PhD Thesis, University of California, L.A., 1968.

**Kornwachs 1998/2001**

Kornwachs, K.: A formal theory of technology? In: Phil & Tech - Society for Philosophy and Technology - An electronic journal 4(1998), Nr.1., by: [http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/SPT/v4\\_n1/html](http://scholar.lib.vt.edu/ejournals/SPT/v4_n1/html) (ISSN 1091-8264). Revised Reprint in: Lenk, H./Maring, M. (Eds.): Advances and Problems in the Philosophy of Technology. Reihe Technikphilosophie, Bd. 5., Münster: Lit, 2001, S. 51-70.

**Kornwachs 2006**

Kornwachs, K.: Zur Kritik der innovativen Vernunft. In: Fischer, K./Parthey, H. (Hrsg.): Gesellschaftliche Integrität der Forschung. Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2005, Berlin: GEWIF, 2006, S. 161-178.

**Kornwachs 2008**

Kornwachs, K.: Zur Logik technischer Entscheidungen. In: Poser, H. (Hrsg.): Herausforderung Technik. Reihe Technik Interdisziplinär, Frankfurt a. M./Berlin: Peter Lang, 2008, S. 131-160.

**Kornwachs 2009**

Kornwachs, K.: Vom Widerspruch in der Maschine: Die Parapraxis. In: Berichte der Fakultät für Mathematik, Naturwissenschaften und Informatik, BTU Cottbus, PT-02/2009, Cottbus 2009.

**Kornwachs 2010**

Kornwachs, K.: Die Struktur technologischen Wissens, in Vorbereitung 2010.

**Poser 2001**

Poser, H.: On structural differences between sciences and engineering. In: Philosophy and Technology: Quarterly Electronic Journal 4.2 (1998), p. 81-93. – Reprinted in: Lenk, H./Maring, M. (Eds.): Advances and Problems in the Philosophy of Technology. Reihe Technikphilosophie, Bd. 5, Münster/Hamburg/London: Lit, 2001, S. 193-204.

**Ropohl 1979/1999/2009**

Ropohl, G.: Eine Systemtheorie der Technik. München: Hanser, 1979. 2. Auflage: Allgemeine Technologie. München: Hanser, 1999. 3. überarb. Auflage: Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik, Karlsruhe: Universitätsverlag, 2009.

**Ropohl 1997**

Ropohl, G.: Knowledge Types in Technology. In: Vries, M. J. de/Tamir, A. (Eds.): Shaping Concepts of Technology: From Philosophical Perspectives to Mental Images. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1997, pp. 65-72. Auch in: International Journal of Technology and Design Education 7 (1997), p. 65-72.

**Ropohl 1998**

Ropohl, G.: Technisches Wissen. In: Ropohl, G.: Wie die Technik zur Vernunft kommt. Berlin: G+B Facultas, 1998, S. 88-96.



**> TEIL 3: PERSPEKTIVEN EINER  
INNOVATIONSORIENTIERTEN  
TECHNIKWISSENSCHAFT**



# > WISSENSTRENDS – FORSCHUNGSTRENDS – TECHNIKTRENDS

HANS-JÖRG BULLINGER

## 1 LEITBEGRIFF INNOVATION

Eine Exportnation wie Deutschland ist heute noch viel stärker als im vergangenen Jahrhundert davon abhängig, Produkte und Dienstleistungen anzubieten, die auf den Weltmärkten konkurrenzfähig sind. Da wir einen Preiswettbewerb mit Billiglohnländern nicht gewinnen können, müssen wir etwas herstellen oder etwas leisten, was diese nicht können - innovative, einzigartige Produkte und Dienstleistungen, für die Verbraucher auch bereit sind, einen höheren Preis zu bezahlen. Der globale Wettbewerb ist vornehmlich ein Innovationswettbewerb.

Immer mehr wandeln sich die Industrienationen zu Dienstleistungs- und Wissensgesellschaften. Mit der Internationalisierung der Finanzmärkte und dem Zusammenwachsen der Weltwirtschaft gewinnt der Prozess der schöpferischen Zerstörung zunehmend an Dynamik.<sup>1</sup> Der Prozess der Globalisierung wird beschleunigt durch die schnelle Übertragung von Wissen und Information und die Perfektionierung der logistischen Strukturen und Systeme. Bisher eher abgeschottete und nebeneinander existierende Absatz- und Arbeitsmärkte werden in einen immer intensiveren globalen Wettbewerb eingebunden. In zahlreichen Branchen verkürzen sich die Produktlebenszyklen dramatisch. Die Fähigkeit zur Innovation wird unter diesen Bedingungen zum entscheidenden Erfolgsfaktor für das langfristige Überleben von Unternehmen, ja von Volkswirtschaften. Neue Produkte, Verfahren und Geschäftsmodelle eröffnen neue, dynamische Märkte und bilden die Basis für Wachstum.

Ein Unternehmen, das sich nicht stetig erneuert, veraltet, heute schneller denn je. In Zukunft gilt: Stillstand ist schon Rückschritt, denn die Konkurrenz bewegt sich vorwärts. Traditionsunternehmen sind oft unfähig, sich schnell und radikal zu verändern. Gerade, wenn Firmen erfolgreich sind, lässt ihre Fähigkeit nach, sich selbst und die Grundlage ihres Erfolgs zu hinterfragen. Gerade in turbulenten Zeiten muss ein Unternehmer den Akt der "schöpferischen Zerstörung", wie Schumpeter dies nennt, meisterhaft beherrschen. Der Management-Lehrer Peter Drucker spricht sogar von „Selbsterhaltung durch Selbstzerstörung“.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Der Begriff der „schöpferischen Zerstörung“ geht auf Schumpeter 2002 zurück.

<sup>2</sup> Vgl. Loos/Krcmar 2007, S. 181f.

## 2 WISSEN – DEFIZITE REDUZIEREN

Diese Entwicklungen haben weitreichende Folgen für die Unternehmen. Der Innovationsdruck auf die Unternehmen steigt stetig an. Gleichzeitig nehmen die Innovationsrisiken zu. Dies führt schließlich zu einem Innovationsdilemma: Auf der einen Seite werden in immer kürzeren Abständen Innovationen gefordert, auf der anderen Seite nimmt aber das Risiko zu, dass eine Neuheit, ein verändertes Produkt, eine neue Technologie nicht zum wirtschaftlichen Erfolg führt. Wie lässt sich diesem Innovationsdilemma begegnen? Die Antwort darauf lautet: Wissen managen!<sup>3</sup> - Kompetenzen vernetzen!

Innovationsrisiken sind im Wesentlichen durch Unsicherheiten begründet. Es fehlt an Wissen über Technologien, Märkte und Kunden. Die Lücke zwischen dem heutigen, innerhalb des Unternehmens bestehenden Wissen und dem zukünftigen, für Innovationen notwendigen Wissen zu managen ist eine zentrale Herausforderung.

Zum ersten handelt es sich um Wissen über die Kundenbedürfnisse, über Kundenanforderungen, aber auch über die Veränderung und die Entwicklung der Kundenbedürfnisse. Um diese Kundenbedürfnisse erfüllen zu können, werden Kompetenzen und Technologien benötigt, die diese Produkte erst ermöglichen. Deshalb ist zum zweiten das Wissen über bestehende und zukünftige Technologien notwendig. Wer seine Chancen im technologieorientierten Wettbewerb besser erkennen und seine Leistungen optimal entwickeln will, muss seine eigenen Fähigkeiten kennen und Verbesserungspotenziale gezielt nutzen. Ausschlaggebend dafür sind Informationen über den Zustand der Technologieentwicklung und der prognostizierten Weiterentwicklung.

Für das systematische Technologiemanagement wurden von Fraunhofer neue Werkzeuge und Methoden entwickelt und in der Praxis erprobt: Das TechnologieRadar hilft Unternehmen und Forschungseinrichtungen, alle für sie relevanten technologischen Trends frühzeitig zu erkennen und zu bewerten. Durch das Screening neu aufkommender und dem Monitoring priorisierter Technologien unterstützt das TechnologieRadar Unternehmen aktiv bei der Technologieplanung sowie bei der Generierung von technischen Innovationen.

Zur Bewertung der Technologien dient ein Technologiekompass: Er liefert Informationen über die Reife, die Zuverlässigkeit, die Attraktivität, die physikalische Kenntnis, die Patentsituation, den Nutzen, den Anwendungsbereich, die Konkurrenzsituation, die Marktattraktivität der Technologie und macht diese Indikatoren durch Kennzahlen berechenbar und abbildbar. Mit diesem Wissen kann das Risiko beim Einstieg in neue Technologien reduziert werden. Und schließlich stellt das Methodcockpit Methoden zur Steigerung der Technologieentwicklungsfähigkeit bereit.

Dies bedeutet jedoch nicht, dass wir immer noch glauben, die Zukunft sei plan-, mess- und kontrollierbar. Wir haben einen geschärften Sinn für die Offenheit der Zu-

---

<sup>3</sup> Vgl. Bullinger 2007, S. VII.

kunft. Mit zunehmendem Wissen über komplexe Systeme wie die Unternehmensumwelt und deren Dynamik wächst aber die Abschätzung, was möglich sein könnte. Alle wissen inzwischen auch, dass es nicht hilfreich ist, nur die Gegenwart in die Zukunft fortzuschreiben. Stattdessen werden in verschiedenen Szenarien unterschiedliche Zukünfte dargestellt und beschrieben.<sup>4</sup> Dies zeigt wiederum eine der Paradoxien der Moderne: Wir sind heute von einer nie dagewesenen Fülle strategischer Optionen umgeben und gleichzeitig wachsen die damit verbundenen Unsicherheiten. Große Entwicklungslinien können wir vorhersagen beziehungsweise prognostizieren, etwa die Konvergenzen zwischen Bio-, Informations- und Nanotechnologie.<sup>5</sup> Doch das bedeutet noch lange nicht, dass wir sagen können, wie die Menschen von morgen leben werden. Wissenschaft, Forschung und Innovation sind mit sozialen Prozessen verbunden, die von zahlreichen gesellschaftlichen Faktoren geprägt werden.

*„Die unkoordinierten Entscheidungen von Millionen von Individuen sind nicht vorhersehbar. Selbst wenn man fast alles richtig macht, sind es die kleinen Auf und Abs, die alles so kompliziert machen und die nicht vorhersehbar sind. Genau das bereitet den Firmenchefs schlaflose Nächte. Selbst wenn sie 98 Prozent aller Informationen haben, die sie brauchen, sind es die restlichen zwei Prozent, die über Gewinn und Verlust entscheiden.“<sup>6</sup>*

So beschreibt der britische Ökonom Paul Ormerod die Gründe, warum Unternehmen das Risiko allenfalls minimieren, aber nie ausschließen können.

Die unternehmerische Herausforderung besteht also einerseits darin, das Risiko zu minimieren, indem möglichst viel Wissen über Kunden, Märkte, Wettbewerber und Technologien gesammelt, vernetzt, analysiert und interpretiert wird. Andererseits benötigt das Unternehmen für die restlichen zwei Prozent ein hohes Maß an Flexibilität. Entscheidender Erfolgsfaktor ist die Fähigkeit, sich rasch auf veränderte Situationen einstellen zu können. Ein Unternehmen muss seine eigenen Strategien, Prozesse, Strukturen und Kompetenzen so flexibel aufstellen, dass es auch die unerwarteten Chancen nutzen kann. Der erfolgreiche Innovator braucht Risikobereitschaft und Marktakzeptanz ebenso wie Vorhersagbarkeit, Effizienz, Kontrolle und Gewinnmarge. Das Kunststück Innovation besteht darin, diese beiden - teilweise widersprüchlichen - Ziele im Gleichgewicht zu halten.

<sup>4</sup> Vgl. Zinser (2000).

<sup>5</sup> Vgl. Roco/Bainbridge 2002.

<sup>6</sup> Ormerod 2006, S. 88.

### 3 WISSEN MANAGEN

Wissensintensive Unternehmen sind künftig noch mehr gefordert, ihr eigenes Wissen umfassend nutzbar zu machen und gleichzeitig das Wissen der Welt in ihr Unternehmen hereinzuholen. Die Zahl der gegenwärtigen Wissenschaftler und Forscher übertrifft die aller vergangenen Zeiten zusammengenommen. Die ungeheure Akkumulation des Wissens und die Beschleunigung des technischen Wandels seit dem 18. Jahrhundert führt zur Herausbildung einer Wissensgesellschaft, in der Wissen zur wichtigsten Ware und die Wissensarbeiter zum wichtigsten Kapital der Unternehmen werden. Der Prozess der Globalisierung wird beschleunigt durch die schnelle Übertragung von Wissen und Information und die Perfektionierung der logistischen Strukturen und Systeme. „Klar dürfte sein, dass die ersten vierzig Jahre der digitalen Revolution nur ein Vorspiel waren. Schon sehr bald werden wir viel größere Veränderungen durchleben. Die Verbindung zwischen Computern und Kommunikationsnetzen wird die meisten Geschäftspraktiken und Konsumgewohnheiten verändern. Ich glaube, dass wir uns einem neuen Zeitalter der Hoffnung nähern, dem Zeitalter der vernetzten Intelligenz. Es handelt sich dabei nicht nur um eine Vernetzung von Technologien, sondern um eine Vernetzung von Menschen durch neue Technologien,“ prognostizierte Don Tapscott, Präsident der Alliance for converging Technologies.<sup>7</sup> Die Konturen für ein Zeitalter der "vernetzten Intelligenz" zeichnen sich bereits ab. Das Netz der Medien- und Kommunikationssysteme wird immer feinmaschiger und leistungsfähiger. Diese Veränderungen haben gravierende Auswirkungen auf den Wissensbedarf der Organisationen. Das Wissensmanagement muss sich diesen Herausforderungen stellen.

Die Kosten für das Erlangen, Speichern und Übertragen von Informationen sind dank der Internet und Intranet-Technologien stark gesunken. Es ist aber nach wie vor „zeitaufwendig und teuer, Wissen aufzubauen, zu halten und zu übertragen“.<sup>8</sup> Wissen entsteht aus der Assimilation und Verbindung von Information mit Erfahrung. Es ist damit stark in Organisationen eingebunden und kann größtenteils nicht kodifiziert werden.<sup>9</sup>

In vielen Organisationen ist der Fokus sehr stark auf IT-Maßnahmen ausgerichtet. Im Verlauf der Planung, Entwicklung und Implementierung von IT-Infrastrukturen, gehen die eigentlichen Zielvorstellungen – „systematischer einen größeren Nutzen aus dem Wissen der Organisation ziehen zu wollen“<sup>10</sup> – verloren. Nach unserem Verständnis geht es im Wissensmanagement darum, bei Führungskräften und Wissensträgern ein Bewusstsein zu entwickeln, Kontexte zu schaffen, die Wissens- und Erfahrungstransfer fördern. Entscheidend ist, das Augenmerk auf den bewussten Umgang mit der Ressource Wissen zu lenken.

<sup>7</sup> Vorwort von Don Tapscott in Juan Luis Cebrian: Im Netz - die hypnotisierte Gesellschaft, 1999, Stuttgart, S. 21.

<sup>8</sup> Vgl. Prusak. 2006, S. 109.

<sup>9</sup> Vgl. Prusak 2006, S. 109.

<sup>10</sup> Vgl. Heisig 2007, S. 3.

### 3.1 WISSENSTRÄGER MENSCH

Verborgene Wissensschätze in Organisationen oder Unternehmen kann man nur heben, wenn man die Orte des Wissens – die Köpfe der Mitarbeiter – gezielt anspricht. Doch ohne die Bereitschaft der Mitarbeiter, ihr Wissen zu teilen, sind alle Wissensmanagement-Maßnahmen zum Scheitern verurteilt. Deshalb müssen die Mitarbeiter motiviert werden, ihr Wissen einzubringen. Das tun die Mitarbeiter dann, wenn sie den persönlichen Nutzen sehen, den ihnen das Wissensmanagement bringt. Aufgabe des Wissensmanagements muss daher sein, den Wissensträgern Zeit zu sparen, damit sie ihre Kernaufgaben besser und schneller ausführen können.

Drei Barrieren behindern - so das Ergebnis der Untersuchungen in der Fraunhofer-Gesellschaft - einen effektiven Wissens- und Erfahrungstransfer: Erstens fehlt meist die Zeit, um das Wissen und die Erfahrungen an Kollegen weiterzugeben. Zweitens ist das Wissen sehr stark personengebunden. Drittens verschärft die Mitarbeiter-Fluktuation das Problem.

<sup>11</sup>Wissensmanagement soll nicht nur explizites, sondern auch implizites Wissen allen verfügbar machen. Das bedeutet, dass wir neben einer leistungsfähigen Informations- und Kommunikationsinfrastruktur auch Anlässe schaffen müssen, um das Wissen erkennbar, auffindbar und damit auch verwertbar zu machen. Wenn Wissen und Erfahrung kooperativ verknüpft werden, können Ideen entwickelt und Innovationen generiert werden. Dabei werden sowohl die individuelle Kreativität als auch die Kreativität der Organisationseinheiten im Sinne einer joint creativity gefordert und gefördert.

### 3.2 SICHERUNG DES ERFAHRUNGSWISSENS

Der Schwerpunkt der Fraunhofer-Gesellschaft im Wissensmanagement liegt in der Sicherung des Erfahrungswissens. Der erste Schritt ist die Integration des Wissensmanagements in die Projektroutine. Diese Strategie setzt direkt dort an, wo das Wissen entsteht und wo es gebraucht wird. Die Fraunhofer-Gesellschaft denkt und arbeitet in Projekten, so werden jährlich zwischen 11.000 und 12.000 Projekte bearbeitet. Gegenstand von Projekten in der angewandten Forschung sind nicht nur die fachlichen Schwerpunkte, sondern insbesondere auch prozessuales Wissen im Umgang mit den Kunden, der Erueirung von Märkten, dem Management und der administrativen Abwicklung von FuE-Projekten. Ziel von Wissensmanagement-Maßnahmen in Projekten ist es, Erfahrungen, die einzelne Mitarbeiter gemacht haben, auch für andere Mitarbeiter zugänglich zu machen und damit geteiltes Wissen zu erzeugen. Um Erfahrungswissen aus der Projektarbeit zu sichern, bieten sich Lessons Learned-Workshops zu Meilensteinen im Projektverlauf und Debriefings zum Abschluss des Projektes an. Dabei reflektieren die Projektteilnehmer

---

<sup>11</sup> Vgl. Bullinger/Hermann/Ganz 2000, S. 11f.

die wichtigsten Ereignisse des Projektes und leiten Maßnahmen ab.<sup>12</sup> Der Schwerpunkt liegt dabei sowohl in der Identifizierung von Fehlern, die zukünftig vermieden werden sollen, als auch im Extrahieren von guter Praxis in replizierbaren Verfahren. Bei der systematischen Aufarbeitung der Projektarbeit, bei dem »Lernen aus Fehlern« bietet sich die Chance sukzessive einen wertvollen Schatz an Projekterfahrungen aufzubauen und mittels gemeinsamer Dokumentenmanagement-Systeme verfügbar zu machen.<sup>13</sup>

Da Mitarbeiter über Erfahrungen verfügen, die nicht in den Projekten zur Sprache kommen, sind Debriefings ausscheidender Experten eine sinnvolle Ergänzung zur Schließung dieser Lücke. Ziel ist das Wissen des ausscheidenden Experten soweit zu sichern, dass Nachfolger das Aufgabengebiet ohne Bruch fortsetzen können. Ausscheidende Mitarbeiter werden dazu gezielt nach Prioritäten, Ansprechpartnern und Netzwerken befragt, die erforderlich sind, um das Aufgabengebiet weiterzuentwickeln. Die Handlungsempfehlungen werden dokumentiert und dienen den Nachfolgern als wichtige Grundlage für die anstehenden Aufgaben.

Eine weitere Methode ist das Best Practice-Lernen. „Beim Best Practice-Lernen versuchen Unternehmen, (...) und andere Organisationen, die Erfahrungen und das Wissen anderer Unternehmen und Organisationen aus der Realisation von Spitzenleistungen zu nutzen und bei sich selbst einzusetzen, um damit die eigenen Performance zu verbessern“.<sup>14</sup> Ziel ist es insbesondere „vorhandene und gegebene Standards zur eigenen Routine zu machen“<sup>15</sup> und damit Effizienzvorteile zu erzielen. Bei diesem Nachahmungslernen geht es also darum, extern vorhandenes Wissen zu erfassen und in der eigenen Organisation anzuwenden.

### 3.3 VON DER INFORMATION ÜBER KOMMUNIKATION ZUR KOOPERATION

Die wesentliche Aufgabe des Wissensmanagements besteht darin, Prozesse zu entwickeln, die es ermöglichen, bedarfsorientiert Wissensressourcen in einer verteilten Organisation wie der Fraunhofer-Gesellschaft zu erschließen. Die Fraunhofer-Gesellschaft verfügt mit zahlreichen Publikationen, Projektberichten, Beschreibungen sowie Konzepten und Studien über einen immensen Schatz an bereits expliziertem Wissen. Um der verteilten und netzwerkartigen Struktur mit über 80 Einrichtungen und 15 000 Mitarbeitern gerecht zu werden, die auch die Selbständigkeit der Fraunhofer-Institute als autonom agierende Einheiten unterstützt, verfolgt das Wissensmanagement insbesondere das Ziel, die Kompetenzträger für anspruchsvolle Fragestellungen leichter und schneller zu identifizieren und den Wissensaustausch zwischen allen Organisationseinheiten zu fördern.

Wir orientieren uns dabei an einem Drei-Ebenen-Modell: Auf der ersten Ebene, der Informationsebene, geht es darum, eine verlässliche und leicht zu handhabende

<sup>12</sup> Vgl. Voigt/Fischer/Staiger 2007, S. 33.

<sup>13</sup> Vgl. Ebd.

<sup>14</sup> Vgl. Bratl/Miglbauer/Trippl 2002, S. 8.

<sup>15</sup> Ebd. S. 8.

Informationsbasis bereitzustellen. Dies bedeutet insbesondere, die bestehenden Informationsquellen besser und umfassender zu nutzen, als dies gegenwärtig der Fall ist. Informationen sind in der Regel bereits in großem Maße in der Organisation verfügbar, doch sind der Zugang und die Nutzung nicht immer gewährleistet. So werden an vielen Stellen gleichzeitig neue Informationen in Form von Publikationen, Berichten, Webseiten, Pressemitteilungen etc. erstellt. Die Lösung dieser Probleme verspricht neue, semantische Suchverfahren, bei der alle verteilten Datenbestände durchsucht und nutzergerecht aufbereitet werden. Für die Wissensarbeiter hat dies eine wesentliche zeitliche Entlastung zur Folge, da interne Recherchen wesentlich schneller und zudem vollständig durchgeführt werden können. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass etablierte Informationsbereitstellungsprozesse beibehalten und der Pflegeaufwand gering gehalten werden kann.

Auf Ebene zwei, der Kommunikationsebene, werden weitere Informationsquellen erschlossen, die nicht per se vorhanden sind. Wie kann das verborgene Wissen aktiviert und sichtbar gemacht werden? Ein Schlüssel hierzu sind Maßnahmen, die eine direkte Kommunikation zwischen Wissensträgern fördern und anlassbezogenen Möglichkeiten des Austausches bieten. Dies können Blogs, Foren oder auch Debriefing-Ergebnisdokumentationen sein. Bedingung für die Wissensträger ist die sichere und vertrauliche Behandlung des eingebrachten Wissens. Wer bislang nicht kodifiziertes Wissen sucht, muss Anreize schaffen, damit sich die Experten einbringen und kostbare Zeit investieren. Mögliche Anreize sind die Aussicht auf Projektgeschäft oder das schnelle Lösen eigener Fragen und Probleme.

Schließlich geht es auf der »Kooperationsebene« nicht nur darum, Informationsquellen zu erschließen und die Verbindung zwischen den Wissensträgern zu vereinfachen, sondern Kooperationen gezielt zu unterstützen. Da bei Kooperationen zwischen den einzelnen Organisationseinheiten auch eine teilweise Offenlegung von Kompetenzen und Arbeitsweisen erfolgt, bietet dies tiefer gehende Einblicke. Es ist die konsequente Fortsetzung des Wissens- hin zu einem intensiven Best-Practice Transfer und der gemeinsamen Entwicklung neuer Ideen, Produkte und Forschungsergebnisse.

### **3.4 VERNETZUNG: GRENZWELTWISSEN NUTZEN UND EXTERNES WISSEN INTEGRIEREN**

Da neue technische Entwicklungen heutzutage häufig an Schnittstellen unterschiedlicher Disziplinen oder gar aus der Kombination weit entfernter Techniken entstehen, ist die Identifizierung und Nutzung dieses Grenzweltwissens eine besondere Zukunftsaufgabe, um die Innovationskraft unserer Gesellschaft voranzubringen. Deshalb müssen wir Rahmenbedingungen schaffen, die eine stärkere interdisziplinäre Zusammenarbeit

ermöglichen. Dazu gehört neben der Identifizierung von Zukunftstrends die Förderung einer Kultur der Kooperation zwischen den unterschiedlichen Disziplinen. Ziel ist Innovationslernen, das auf die Erzeugung neuen Wissens zielt.<sup>16</sup> In dessen Mittelpunkt steht, unterschiedliche Wissensgebiete zusammen zu bringen und in neue Richtungen zu denken.<sup>17</sup>

Wissensmanagement hatte lange Zeit den Fokus auf das eigene Wissen gerichtet. Heute spielen dagegen die Kooperation mit Partnern aus Wirtschaft, Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie der Informationsaustausch mit Kunden eine wachsende Rolle. Damit erhält die Integration externen Wissens für innovationsorientierte Unternehmen eine immer größere Bedeutung.

Für die Fraunhofer-Gesellschaft ist die Zusammenarbeit mit Partnern aus der Wirtschaft, den Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen langjährige Praxis. Um den Anforderungen im globalen Wettbewerb besser gewappnet zu sein, haben wir in den letzten Jahren Netzwerke zu Themenverbänden und Allianzen aufgebaut, in denen Kompetenzen gebündelt und auf ein Thema fokussiert werden. Diesen Netzwerk gilt es noch stärker nutzbar zu machen. Eine besonders wirksame Form der Vernetzung mit externen Partnern sind regionale Innovationscluster, in denen sich Fraunhofer-Institute mit allen Fachleuten einer Region zu Exzellenzzentren zusammenschließen. Mit diesen Clustern werden bestehende regionale Stärken in Technologien und Kompetenzfeldern gestärkt, um sich weltweit in eine Spitzenposition zu bringen.

Informationstechnik kann das Wissensmanagement nur unterstützen. Das Wissen an sich kann sie nicht managen, sondern nur eine verlässliche Informationsbasis für den Wissensaustausch schaffen. Erst die Integration des Wissens aus bisherigen Erfahrungen in das Handeln anderer Mitarbeiter oder in Nachfolgeprojekten erfüllt den Anspruch eines qualifizierten Wissensmanagements. Die Kooperationsunterstützung wird damit zum wesentlichen Element. Der Schlüssel zum erfolgreichen Wissensmanagement liegt bei denen, die das Wissen erzeugen, den Wissensträgern.

#### 4 BASISKOMPETENZ TECHNOLOGISCHE LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Deutschland verfügt über ausgezeichnete Voraussetzungen im globalen Innovationswettbewerb. Deutschland ist in der Spitzengruppe beim Warenexport und gehört im Forschungsoutput noch zu den besten Nationen in der Welt. Der Anteil der Industrieproduktion am Bruttoinlandsprodukt ist höher als in allen anderen führenden Wirtschaftsnationen. Die Wertschöpfungsquellen sind vielfältiger als in anderen hoch entwickelten Ländern, die Unternehmenslandschaft ist hochgradig nach Branchen, Disziplinen und Unternehmensstrukturen differenziert.

Der Forschungsstandort Deutschland führt in Technologiefeldern, die heute noch von hoher wirtschaftlicher Bedeutung sind, aber ihre starke Wachstumsphase bereits hinter sich haben. Je höher die Innovationsdynamik, desto schwächer ist die deutsche

<sup>16</sup> Vgl. Bratl/Miglbauer/Trippl (2002), S. 8.

<sup>17</sup> Vgl. Edler 2002, S. 13.

Position. Dies zeigt eine Analyse von mehr als 700.000 Patenten in 17 Technologiefeldern in den Jahren 1998 bis 2005, welche die Boston Consulting Group (BCG) für die Studie "Innovationsstandort Deutschland - quo vadis?" durchgeführt hat.<sup>18</sup> Die Patentanalyse zeigt: In Anwendungstechnologien wie der Automobil-, Maschinenbau-, Umwelt-, Chemie-, Energie- oder Bautechnologie zählt Deutschland zu den größten Patentanmeldern weltweit. Hingegen liegt Deutschland in wachstumsstarken Forschungsfeldern wie der Unterhaltungselektronik, der Computertechnologie oder der roten Biotechnologie im weltweiten Vergleich deutlich zurück. In Querschnittstechnologien, die in unterschiedlichen Anwendungstechnologien Innovationschübe auslösen können, wie in der Werkstoffforschung, der Nanotechnologie und der weißen Biotechnologie hat Deutschland eine gute Ausgangsposition. Dagegen stammt in der Mikroelektronik oder bei optischen Technologien nur ein kleiner Teil der weltweiten Patentanmeldungen aus Deutschland.

Die Studie belegt, dass Deutschland nach wie vor eine starke Innovationsbasis hat. Setzt man die deutsche Forschungsleistung ins Verhältnis zur Bevölkerungszahl, so ist sie in den meisten Technologiefeldern mit der Forschungsleistung in den USA oder Japan vergleichbar. Der strukturelle Nachteil Deutschlands wird durch die fortschreitende Globalisierung weiter verschärft: Immer mehr Innovationen kommen aus Asien. Vorreiter waren Japan und Südkorea, künftig wird vor allem auch mit China zu rechnen sein. Noch sind Chinas Ausgaben für F+E zwar vergleichsweise niedrig. Aber schon 2013 könnte China Deutschland erreichen.<sup>19</sup> Neben der gezielten Bildungs- und Forschungspolitik macht die steigende Anzahl an immer besser ausgebildeten Technikwissenschaftlern und Ingenieuren die asiatischen Länder zu ernsthaften Konkurrenten, selbst wenn das durchschnittliche Bildungsniveau das deutsche noch nicht erreicht.

## 5 FOKUSSIERUNG AUF KOMPETENZ- UND BEDARFSFELDER

Wenn wir in Deutschland auch in Zukunft in den wichtigen Zukunftstechnologien führend sein wollen, muss sich der Innovationsstandort Deutschland fokussieren und seine finanziellen und personellen Ressourcen bündeln. Die Bundesregierung hat das erkannt und mit der »Hightech-Strategie für Deutschland« eine Innovationsstrategie über alle Ressorts hinweg gebündelt. Ziel ist, Deutschland wieder näher an die international führenden Volkswirtschaften heranzubringen. Darin wurden siebzehn Technologiethemen definiert, von denen besondere Impulse für die Wirtschaft zu erwarten sind.<sup>20</sup>

Die "Forschungsunion Wissenschaft-Wirtschaft", die an der Umsetzung der Hightech-Strategie arbeitet, hat nun empfohlen, den eingeschlagenen Kurs der Priorisierung der Forschungsförderung konsequent fortzusetzen. Die Bundesregierung sollte die Förderung noch stärker auf leitmarktorientierte, an Wertschöpfungsketten ausgerichtete Programme für die fünf folgenden Bedarfsfelder konzentrieren:

<sup>18</sup> BCG 2006.

<sup>19</sup> Vgl. BCG 2006, S. 8.

<sup>20</sup> Vgl. BMBF 2009 a, S. 23.

### 5.1 GESUNDHEIT: LEBENSERWARTUNG STEIGT

Aufgrund der demografischen Entwicklung und der steigenden Nachfrage nach qualitativ hochwertigen Gesundheitsleistungen werden im nächsten Jahrzehnt verstärkt Verteilungskämpfe um die knappen Ressourcen im Gesundheitswesen stattfinden. Es wird einen Wandel geben hin zu mehr Prävention in allen Versorgungsprozessen, um unnötige Behandlungen zu vermeiden. Die Lösung für viele Herausforderungen im Gesundheitswesen heißt gezielte, personalisierte Prävention. Vision ist der mündige Bürger, der sich eigenverantwortlich weit mehr als heute um die Erhaltung seiner Gesundheit kümmern kann. Die Devise lautet: „Health Management“ statt „Disease Management“. Ziel ist es, Krankheiten zu verhindern, anstatt sie heilen zu müssen.

Innovative Technologien, wie prozessunterstützende Informations- und Kommunikationstechnologie und molekulare Medizin, werden die Effizienz in der Versorgung steigern. Das nächste Jahrzehnt wird von der molekularen Medizin und vom Wandel zur eigenverantwortlichen Gesundheitsvorsorge und zum Gesundheitsmonitoring geprägt werden. Neue technische und organisatorische Strukturen ermöglichen die nahtlose, integrierte und individuelle Patientenversorgung bei Prävention, Diagnose, Therapie und Pflege. Aufgrund der demografischen Entwicklung in Deutschland nimmt der Bedarf an Lösungen für mehr „Selbstständigkeit im Alter“ zu. Gefragt sind in Zukunft praktikable Lösungen für den Alltag, die eine selbstständige Lebensführung älterer oder hilfsbedürftiger Menschen im Alltag unterstützen (Ambient Assisted Living).

### 5.2 ENERGIE: EFFIZIENT UND REGENERATIV

Im nächsten Jahrzehnt wird ein Umbruch bei Energieverbrauch, -umwandlung, -speicherung und -verteilung stattfinden: Sonnen- und Windenergie sowie Energie aus nachwachsenden Rohstoffen können Erdöl und Gas vermehrt ersetzen. Primäres Ziel muss dabei sein, sparsam mit nichtregenerativen Ressourcen umzugehen, den spezifischen Energieverbrauch zu senken und Verluste zu minimieren. Innovative Speichertechniken können die intensive Nutzung regenerativer Energien ermöglichen. Effizienzsteigerungen, Energiespeicherung und die flächendeckende Einspeisung dezentral erzeugter Energie in intelligente Netzwerke können entscheidend zum Klimaschutz und zu einer sicheren Energieversorgung beitragen.

Für die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit Deutschlands, die Schaffung und den Erhalt von Arbeitsplätzen und den Wohlstand der Bürger sind sowohl die sichere, effiziente und umweltschonende Bereitstellung von Energie in geeigneter Form und zu wettbewerbsfähigen Preisen als auch die effiziente Nutzung von Energie von grundlegender Bedeutung. Die Effizienzerhöhung des Energieeinsatzes auf der Verbraucherstufe hat das höchste Einsparpotenzial.

### 5.3 SICHERHEIT: WIRTSCHAFT UND GESELLSCHAFT SCHÜTZEN

Sicherheit der Bürger, Sicherheit der Datennetze, Sicherheit der Infrastrukturen – das sind weltweit die großen Herausforderungen des nächsten Jahrzehnts. Dabei helfen innovative Lösungen, die auch bei Störungen und Fehlern sicher funktionieren. Deutschland kann auf diesem Gebiet seine Stärken nutzen.

Eine widerstandsfähige und robuste Grundstruktur garantiert dem Bürger ein hohes Maß an Sicherheit und wirtschaftlichem Wohlergehen, der Industrie ein stabiles, zuverlässiges und effizientes Umfeld für ihre Aktivitäten und ist zudem ein wesentlicher Standortvorteil für Deutschland. Resilienz nennen Experten die Fähigkeit eines Systems, Störungen zu widerstehen oder sich so anzupassen, dass wieder eine stabile Funktion oder Struktur erreicht wird. Im Bereich der Sicherheitstechnik haben im nächsten Jahrzehnt die Entwicklung und der Einsatz solcher Systeme weltweit höchste Priorität. Aufgabe der Sicherheitsforschung ist es, Methoden, Verfahren und Technologien zu entwickeln, welche den Aufbau einer derart widerstandsfähigen, fehlertoleranten und robusten Infrastruktur ermöglichen.

### 5.4 MOBILITÄT: UMWELTVERTRÄGLICH UNTERWEGS

In den nächsten zehn Jahren wird der weltumspannende Verkehr von Menschen und Gütern massive Veränderungen erfahren. Als Transportmittel werden Auto, Bahn, Flugzeug und Schiff neben Sicherheit und Schnelligkeit dann auch ein hohes Maß an Umweltverträglichkeit bieten – von der nachhaltigen Produktion und Energieumwandlung bis hin zum energiesparenden Einsatz.

Länder wie Deutschland verbrauchen derzeit rund 30 Prozent ihrer Primärenergie im Verkehrsbereich. Im nächsten Jahrzehnt wird sich die Verteilung auf verschiedene Energieträger wesentlich ändern. So setzen die Industriestaaten weltweit auf Elektroantrieb. Mit dem vom Bundeskabinett zu verabschiedenden „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ will sich Deutschland in den nächsten zehn Jahren zum Leitmarkt für Elektromobilität entwickeln. Bis zum Jahr 2020 könnten allein auf Deutschlands Straßen eine Million Elektrofahrzeuge fahren – bis 2050 könnte der Stadtverkehr in Deutschland sogar überwiegend ohne fossile Brennstoffe fließen.

### 5.5 KOMMUNIKATION: DINGE LERNEN SPRECHEN

Zukünftig wird die Informations- und Kommunikationstechnik (IuK) immer stärker eine Akteursrolle in Wertschöpfungsprozessen übernehmen. Intelligente Netze simulieren, kontrollieren und optimieren Produkte und Systeme – und schützen sich selbst vor Gefahren. Die Querschnittstechnologie beschleunigt damit viele Zukunftsentwicklungen.

In nahezu jedem Bereich des Alltags- und Arbeitslebens unterstützt IuK Menschen und sorgt dafür, dass Abläufe vereinfacht, Prozesse beschleunigt und Entscheidungen

auf der Basis umfassender Informationen getroffen werden können. IuK mit ihren eingebetteten Softwaresystemen ermöglicht intelligente Produkte, neue Produkteigenschaften und intelligente Prozesse, die den entscheidenden Vorteil für Deutschland im globalen Wettbewerb liefern.

In den kommenden Jahren werden Maschinen und Systeme miteinander kommunizieren. Grundlegende Weiterentwicklungen zum Internet der nächsten Generation sichern auch in Zukunft eine leistungsfähige Basisinfrastruktur für viele Anwendungen und Dienste, die bereits heute die Grundlage für ganze Wirtschaftszweige bilden. Intelligente, selbstheilende Netze werden in Zukunft Ausfälle und sicherheitskritische Angriffe selbstständig erkennen und Maßnahmen ergreifen, um den reibungslosen Betrieb zu gewährleisten.

Eine breit verfügbare Hochleistungsinfrastruktur wird einer der zentralen Standortfaktoren sein, um den Anforderungen eines internationalen Datenverkehrs zwischen Zulieferern, Kunden, Unternehmensstandorten und Kooperationspartnern gewachsen zu sein. An Orten ohne feste Infrastrukturen werden dynamische, selbstkonfigurierende Ad-hoc-Netze für die Weiterleitung der Informationen sorgen.

## 6 FORSCHUNGSTRENDS - QUERSCHNITTSTECHNOLOGIEN

Diese fünf Themenfelder umreißen zentrale Problemstellungen und Herausforderungen für das nächste Jahrzehnt, die zugleich große Chancen für den Standort Deutschland bieten.

Die radikalen Innovationen, die unseren Alltag tiefgreifend verändern werden, kommen künftig weniger aus den Einzelwissenschaften oder -technologien, sondern liegen in deren Konvergenz, im Aufbrechen der klassischen Grenzen der Disziplinen und deren Verschmelzen zu einem neuen Ansatz der Gestaltung von Materie im Nanobereich. Die drei klassischen naturwissenschaftlichen Disziplinen Physik, Chemie und Biologie verschmelzen in der Nanodimension, in der ganz andere Gesetzmäßigkeiten gelten, miteinander und verbinden sich mit der Informationstechnologie und den Kognitionswissenschaften. Erstmals wird es auf Basis solider molekularer bis quanteneffektbezogener Kenntnisse möglich, die kleinsten Bausteine der Materie zu bearbeiten, zu manipulieren und neu zusammensetzen. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit eröffnen sich völlig neue Anwendungsgebiete. Die Einsichten der modernen Biologie werden traditionelle, bisher von anderen Disziplinen dominierte Verfahren und Produkte massiv beeinflussen, was der wachsende Einfluss biotechnischer Verfahren auf etablierte chemische Produktionsverfahren beispielhaft schon jetzt deutlich macht.

Seit vielen Jahren sind die Informations- und Kommunikationstechnologien, die optischen Technologien und die Mikroelektronik die Hauptmotoren für Innovation. Mit dem Vordringen in den Nanobereich und der Konvergenz der Technologien eröffnen sich ungeahnte Möglichkeiten in den Bereichen Energie und Gesundheit. Hier verbinden

sich technologische Durchbrüche mit Megamärkten.

Deutschland hat eine leistungsstarke Forschungslandschaft in den Bereichen der Nanotechnologien, Biotechnologien, optischen Technologien, Mikrotechnologien und Werkstofftechnologien. In Kombination mit innovativen Produktionstechnologien und dem Wissen um den Aufbau innovativer Dienstleistungskonzepte lässt sich eine Positionierung Deutschlands als führender systemischer Innovator in den im Folgenden beschriebenen zentralen Technologiefeldern erreichen.

### 6.1 NANOTECHNOLOGIEN

UV-Schutz in Sonnencremes, kratzfester Autolack, schmutzabweisende Kleidung – Nanoteilchen sind schon heute in zahlreichen Produkten zu finden. Doch das ist erst der Anfang. Von der Nanotechnologie können alle Branchen profitieren – vom Autobau bis zur Medizin. Experten sagen der Zukunftstechnologie ein riesiges Marktpotenzial voraus. Im Jahr 2015 sollen Nano-Produkte im Wert von bis zu drei Billion Euro verkauft werden.<sup>21</sup>

Nanotechnologie ist auf keine Branche oder Wissenschaft beschränkt: Biologen, Chemiker, Physiker, Materialwissenschaftler, Informatiker und Mediziner arbeiten an Anwendungen. Das Schlagwort Nanotechnologie umfasst ein breites Spektrum von neuen Werkstoffen, Bauteilen und Systemen, deren Funktion und Anwendung auf den besonderen Eigenschaften von Materialien und Strukturen dieser Größenordnung beruhen.<sup>22</sup>

### 6.2 BIOTECHNOLOGIE VOR EINER BREITEN ANWENDUNG

Medikamente, Farbstoffe, Waschmittelenzyme, Vitamine und Lebensmittelzusatzstoffe sind nur einige Produkte, die sich bereits heute biotechnologisch herstellen lassen. Aber auch in der Abwasserreinigung und bei der Energiegewinnung aus Biomasse wird die Biotechnologie genutzt.

Experten unterscheiden je nach Einsatz in Rote, Grüne, Weiße, Graue und Blaue Biotechnologie. Auch Fraunhofer-Forscher arbeiten an unterschiedlichsten biotechnologischen Verfahren. Sie entwickeln neue Methoden zur Abwasserbehandlung, nutzen Pflanzen zur Produktion von Medikamenten, stellen mit Hilfe von Algen Farbstoffe her und arbeiten an Prozessen, um Kunststoffe aus Stärke, Zucker, Cellulose oder Lignin zu gewinnen.

### 6.3 OPTISCHE TECHNOLOGIEN

Optische Technologien zählen zu den Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Denn Licht wird immer mehr zum universellen Werkzeug: Es schneidet, bohrt und schweißt unterschiedlichste Materialien, speichert Daten auf CDs, transportiert Informationen um die Welt oder misst Schadstoffe. Licht besitzt einzigartige Eigenschaften: Es lässt sich

<sup>21</sup> Vgl. BMBF 2009 b, S. 3.

<sup>22</sup> In der Fraunhofer-Gesellschaft sind mehr 20 Institute auf dem Gebiet der Nanotechnologie tätig. Die vielfältigen Kompetenzen werden in dem Themenverbund Nanotechnologie koordiniert. (<http://www.nano.fraunhofer.de>, Abruf am 31.07.2009).

auf den millionsten Teil eines Millimeters bündeln und ermöglicht kürzeste Lichtpulse. Es ist stark genug, um den dicksten Stahl zu schneiden, und doch so fein dosierbar, um damit Augen behandeln zu können.

Das »gebändigte Licht« treibt technische und wirtschaftliche Entwicklungen in vielen Branchen voran - von der Medizin über die industrielle Fertigung, die Nanotechnologie bis zur Informations- und Kommunikationstechnik.<sup>23</sup>

#### 6.4 WERKSTOFFFORSCHUNG: DAS NEUE DESIGN DER MATERIE

Die kontinuierlich steigende Rechnerleistung hat die Werkstoffforschung markant verändert: Mit Simulationstechniken lassen sich maßgeschneiderte Werkstoffe entwerfen - speziell für jede Anforderung. Aufwändige und teure Versuche an realen Testmustern werden damit deutlich reduziert. Solche neuen Werkstoffe liefert zum Beispiel die Adaptionik. Nach dem Vorbild der Natur entstehen Bauteile, die sich mithilfe von integrierten Sensoren, Aktuatoren und Regelungstechnik selbstständig an ihre Umwelt anpassen. Diese adaptiven Strukturen können Schwingungen dämpfen und Lärm reduzieren. Prototypen mindern bereits den Lärm im Auto und reduzieren die Schwingungen im ICE. Auch Smart Materials haben eine viel versprechende Zukunft vor sich. Sie vereinen scheinbar widersprüchliche Eigenschaften in einem Werkstoff.

### 7 SYNERGIEN SCHAFFEN DURCH VERNETZUNG

Das "Produzieren in Netzwerken" ist ein Megatrend der Industrie, mit dem neue dynamische und kooperative Produktions- und Wertschöpfungsnetzwerke entstehen. In Zukunft konkurrieren nicht mehr Konzerne miteinander, sondern Länder übergreifende Unternehmens-Netzwerke die Wissen und Können austauschen.

Ein Weg, die Vernetzungen insbesondere zwischen Angewandter Forschung und der Wirtschaft zu stärken, sind Innovationscluster. Unter dem Motto »Erfolg durch Kooperation – schneller von der Idee zum Produkt« hat die Fraunhofer-Gesellschaft daher deutschlandweit 18 Cluster ins Leben gerufen – weitere sind in Planung. Die Cluster sind Plattformen für den Austausch und die Zusammenarbeit von Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen mit regionaler Verankerung. Die Innovationscluster werden je zu einem Drittel von der Fraunhofer-Gesellschaft, dem Land und den beteiligten Unternehmen gefördert. Von den neuen Forschungsinfrastrukturen sollen Impulse ausgehen, um die heimische Wirtschaft im internationalen Wettbewerb zu stärken.

Zwei aktuelle Studien belegen: Je besser ein Unternehmen vernetzt ist, desto

<sup>23</sup> Im Projekt »Tailored Light – Licht als Werkzeug« arbeiten Fraunhofer-Forscher daran, maßgeschneidertes Licht für unterschiedlichste Anwendungen zu erzeugen und als Werkzeug nutzbar zu machen. Darüber hinaus haben sich sechs Institute zum Fraunhofer-Verbund Oberflächentechnik und Photonik zusammengeschlossen. Die Fraunhofer-Institute arbeiten mit am Ersatz für Glühlampen durch LEDs und entwickeln organische Leuchtdioden, Olegs, die in Displays eingesetzt werden. Sie treiben die Lasertechnik voran, etwa mit neuen Lasern wie dem Faserlaser und erschließen neue Strahlquellen wie die Terahertzstrahlung. ([http://www.iof.fraunhofer.de/projects/jena-optical-innovations/join\\_d.html](http://www.iof.fraunhofer.de/projects/jena-optical-innovations/join_d.html), Abruf am 31.07.2009).

schneller und erfolgreicher kann es Innovationen umsetzen und sich auf dem Markt behaupten. 151 innovative Unternehmen des produzierenden Gewerbes in Deutschland wurden zum Thema »Steigerung der Innovationsfähigkeit« befragt. Das Ziel der Studie bestand darin, die wichtigsten Erfolgsfaktoren für eine hohe Innovationsfähigkeit zu identifizieren und zu erheben, wie stark sie im produzierenden Gewerbe ausgeprägt ist.<sup>24</sup> Zu den wichtigsten 28 Erfolgsfaktoren zur Steigerung der Innovationsfähigkeit hat die Studie zu Synergien, Vernetzung und Zusammenarbeit folgendes ergeben: 80 Prozent der innovativen produzierenden Klein- und Mittelständischen Unternehmen (KMUs) mit weniger als 500 Mitarbeitern erzielen ihre hohe Innovationskraft – unter anderem, indem sie Kunden in den Innovationsprozess einbinden. 80 Prozent der innovativen deutschen produzierenden Unternehmen – kleine, mittlere und große – verfügen über »gute Geschäftspartner«, die den besonderen Anforderungen von Innovationsprojekten genügen – etwa einem hohen Neuigkeitsgrad, hoher Variabilität oder hoher Änderungsrate. Die innovativen produzierenden Großunternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitern in Deutschland pflegen zu 95 Prozent zahlreiche »Kontakte zu Netzwerken« wie Verbänden, Hochschulen und Gremien. Bei den produzierenden Klein- und Mittelständischen Unternehmen sind dies nur 85 Prozent. Meist verfügen sie nicht über ausreichend viele Ressourcen, um eine größere Anzahl von Kontakten aufrecht zu erhalten. Alle befragten Unternehmen, kleine, mittlere und große, bestätigen eine sehr hohe Relevanz dieses Faktors für die Innovationsfähigkeit.

Dies gilt nicht nur für Deutschland, sondern für ganz Europa. Vernetzung und Offenheit im Innovationsmanagement sind wesentlich für profitables Wachstum in europäischen KMUs. Dies zeigt das IMP<sup>3</sup>rove Benchmarking. IMP<sup>3</sup>rove verfügt über die größte Benchmarking-Datenbank im Bereich Innovationsmanagement in KMUs mit mehr als 1600 Unternehmen. Die wesentlichen Ergebnisse sind: Enge Vernetzung führt zu höheren Wachstumsraten. Mehr als 70 Prozent der Wachstumschampions – die am schnellsten und profitabelsten wachsenden Unternehmen – binden Partner über den gesamten Innovationsprozess hinweg eng ein.<sup>25</sup>

Die Fraunhofer-Gesellschaft setzt diese Vernetzung auf verschiedenen Ebenen um: Sie arbeitet zum einen eng mit Partnern aus Industrie, Wissenschaft und Politik zusammen. Zum anderen bildet die Fraunhofer-Gesellschaft als solches bereits ein Netzwerk: Die 59 Institute kooperieren in Verbänden und Allianzen und bündeln je nach Anforderung unterschiedliche Kompetenzen in flexiblen Strukturen. So sichern sie ihre führende Stellung bei der Entwicklung von Systemlösungen und der Umsetzung ganzheitlicher

<sup>24</sup> Die Studie InnoKMU wurde im Jahr 2007 von den Fraunhofer-Instituten für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO und für System- und Innovationsforschung ISI durchgeführt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert. Vgl. Slama/Spitzley et al. 2006.

<sup>25</sup> IMP<sup>3</sup>rove ist eine Initiative der Europäischen Kommission, die von einem europäischen Konsortium unter Leitung der Fraunhofer-Gesellschaft und der Managementberatung A.T. Kearney durchgeführt wird. (<http://www.integrierte-modernisierungskonzepte.de>, Abruf am 31.07.2009).

Innovationen.

## 8 WISSEN SCHAFFT DIE BASIS FÜR KÜNFTIGEN WOHLSTAND

Forschung bringt in der Regel nicht sofort Ergebnisse, sondern erhöht zunächst die Produktivität der "traditionellen" Produktionsfaktoren. Technische Verbesserungen, die zu Qualitätsfortschritten und Kostensenkungen führen, haben einen zentralen Erklärungswert für Wachstumsunterschiede zwischen Unternehmen und Volkswirtschaften. Als Beleg für den Zusammenhang zwischen Forschung und Wirtschaftswachstum in wichtigen Industrieländern, dient die Untersuchung der Periode des weltwirtschaftlichen Aufschwungs in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre.

*"In der Regel standen Volkswirtschaften an der Spitze der Dynamik, in denen die FuE-Ausgaben am stärksten expandiert sind ... Deutschlands ungünstige Position in der Wachstumshierarchie der westlichen Industrieländer mag also durchaus mit den vergleichsweise geringen Investitionen in technisches Wissen zusammenhängen."*

heißt es in einer Untersuchung des Niedersächsischen Instituts für Wirtschaftsforschung.<sup>26</sup>

Daher sollten die öffentliche Hand ebenso wie die Wirtschaft daran festhalten, die Ausgaben für Forschung und Entwicklung in Deutschland bis 2010 auf 3 Prozent des BIP zu steigern, auch wenn dieses in Lissabon vereinbarte Ziel nur noch schwer erreichbar scheint. Doch Geld allein erzeugt noch keine Innovationen, die Gesellschaft muss auch bereit sein für Innovationen. Innovationsfähigkeit ist immer verbunden mit Innovationsbereitschaft, Erneuerungsfähigkeit immer mit Erneuerungsbereitschaft und schließlich auch Zukunftsfähigkeit immer mit Zukunftsbereitschaft. Man muss die Zukunft zulassen und darf sich nicht vor Angst vor ihr am Vergehenden festhalten.

Der globale Strukturwandel mit der Deindustrialisierung der alten Industrieländer und der Verlagerung des weltwirtschaftlichen Schwergewichts nach Asien ist nicht aufzuhalten. Für den Standort Deutschland ist das nur dann bedrohlich, wenn wir verzweifeln an dem festhalten wollen, was vergangen ist. Der amerikanische Wirtschaftshistoriker David Landes hat in seiner Untersuchung über "Wohlstand und Armut der Nationen" analysiert, welche Länder von der technischen Entwicklung am meisten profitieren: "Am besten können Länder darauf reagieren, die Innovationen annehmen, statt sie abzuwehren, deren Bürger der stets präsenten Versuchung widerstehen, mehr haben zu wollen als zu leisten."<sup>27</sup> Offensichtlich verstehen es viele Länder, produktiver mit dem Strukturwandel umzugehen als wir Deutschen. Das Beseitigen der emotionalen Abwehrhaltungen und das Auflösen der Denkblockaden, die den aktiven Umgang mit dem Wandel verhindern, ist Aufgabe der neuen Innovationskultur, die wir in allen gesellschaftlichen Bereichen erzeugen müssen.

<sup>26</sup> Vgl. Legler/Krawczyk 2006, S. 6.

<sup>27</sup> Vgl. Landes 2004.

Auch hier liefert das Wissen die Basis. Wir dürfen keine Spaltung der Gesellschaft zulassen in Gewinner und Verlierer der Modernisierung. Die ungeheure Akkumulation des Wissens und die Beschleunigung des technischen Wandels seit dem 18. Jahrhundert sind in der Tat für viele Menschen Schwindel erregend. Deshalb müssen sich die Technikwissenschaften mehr denn je dem Dialog mit der Öffentlichkeit stellen. Wir müssen die Menschen mitnehmen auf dem Weg zu einer von Technik gestalteten und von Wissen geprägten Umwelt. Und wir müssen uns wieder zu einer Bildungsnation entwickeln, die Wissen wert schätzt und die Begeisterung an Forschung und Technik dem Nachwuchs weitergibt.

Deutschland ist gerüstet für die technologischen Megatrends der nächsten Dekade, die von einer energetischen Effizienzrevolution und den regenerativen Energien geprägt sein wird. Wir haben einen weltweiten Vorsprung in der systemischen Verknüpfung von Hightech-Technologien für die besonders wertschöpfungsreiche Produktion einzigartiger Lösungen komplexer Probleme, die die Wirtschaft hoch entwickelter Gesellschaften zunehmend durchdringen. Dieser Vorsprung lebt von einer Ressource: von den Menschen und ihren Ideen. Entscheidend ist, dass wir beide Ziele gleichermaßen konsequent verfolgen: Den Pool an Ideen ständig mit neuen Einfällen füllen, und die besten umsetzen in innovative Produkte und Verfahren. Dann ist Wohlstand am Standort Deutschland auch künftig erreichbar.

## LITERATUR

### **BMBF 2009a**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Forschung und Innovation für Deutschland: Bilanz und Perspektive, Berlin/Bonn: BMBF, 2009 [[http://www.bmbf.de/pub/forschung\\_und\\_innovation\\_fuer\\_deutschland.pdf](http://www.bmbf.de/pub/forschung_und_innovation_fuer_deutschland.pdf)] (Abruf 31.07.2009).

### **BMBF 2009b**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): nano.De-Report 2009. Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland, Berlin/Bonn: BMBF, 2009.

### **Boston Consulting Group 2006**

Boston Consulting Group (Hrsg.): Innovationsstandort Deutschland – quo vadis? Wie gut wir sind, wo unsere Chancen liegen und wie wir die Zukunft meistern können, München: BCG, 2006 [[http://www.competence-site.de/downloads/c4/1f/i\\_file\\_15294/BCG\\_Studie\\_Innovationsstandort\\_Deutschland\\_quo\\_vadis.pdf](http://www.competence-site.de/downloads/c4/1f/i_file_15294/BCG_Studie_Innovationsstandort_Deutschland_quo_vadis.pdf)] (Abruf: 31.07.2009).

**Bratl/Miglbauer/Trippl 2002**

Bratl, H./Miglbauer, E./Trippl, M.: Best Practice of Best Practice: Einfache Lernmöglichkeit oder gut gemeinter Informationstransfer ohne besondere Wirkung?, Stand: September 2002, [<http://www.austria.gv.at/DocView.axd?CobId=3384>] (Abruf: 27.07.2008).

**Bullinger/Hermann 2000**

Bullinger, H.-J./Hermann, S. (Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Kreativität: Strategien, Konzepte und Werkzeuge zur Steigerung der Dienstleistungsperformance, Wiesbaden: Gabler, 2000.

**Bullinger/Herrmann/Ganz 2000**

Bullinger, H.-J./Hermann, S./Ganz, W.: Wettbewerbsfaktor Kreativität: Ein wichtiges Thema neu Entdecken! In: Bullinger, H.-J./Hermann, S. (Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Kreativität: Strategien, Konzepte und Werkzeuge zur Steigerung der Dienstleistungsperformance, Wiesbaden: Gabler, 2000, S. 3-20.

**Bullinger/Wagner/Ohlhausen 2000**

Bullinger, H.-J./Wagner, K./Ohlhausen, P.: Intellektuelles Kapital als wesentlicher Bestandteil des Wissensmanagements. In: Krallmann, H. (Hrsg.): Wettbewerbsvorteile durch Wissensmanagement: Methodik und Anwendungen des Knowledge Management, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000, S. 73 – 90.

**Bullinger 2006**

Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Fokus Innovation: Kräfte bündeln, Prozesse beschleunigen, München/Wien: Hanser, 2006.

**Bullinger 2007**

Bullinger, H.-J.: Innovation und Entrepreneurship. In: Loos, P./Krcmar, H. (Hrsg.): Architekturen und Prozesse: Strukturen und Dynamik in Forschung und Unternehmen, Berlin: Springer Verlag, 2007, S. 177-192.

**Dreher/Frietsch/Hemer/Schmoch 2006**

Dreher, C./Frietsch, R./Hemer, J./Schmoch, U.: Die Beschleunigung von Innovationszyklen und die Rolle der Fraunhofer-Gesellschaft. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Fokus Innovation: Kräfte bündeln, Prozesse beschleunigen, München/Wien: Hanser, 2006, S. 275-306.

**Edler 2002**

Edler, J.: Wissensmanagement in der deutschen Wirtschaft: Zusammenfassung, Stand: 2002. [<http://www.cognilexus.de/datei2.pdf>] (Abruf: 28.07.2008.) (Abruf: 28.07.2008).

**Fraunhofer-Wissensmanagement Community 2005**

Fraunhofer-Wissensmanagement Community (Hrsg.): Wissen und Information 2005, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2005.

**Ganz/Hermann 2000**

Ganz, W./Hermann, S.: Vom Umgang mit der Zukunftsressource Wissen. In: Bullinger, H.-J./Hermann, S. (Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Kreativität: Strategien, Konzepte und Werkzeuge zur Steigerung der Dienstleistungsperformance, Wiesbaden: Gabler, 2000, S. 111-132.

**Gronau 2007**

Gronau, N. (Hrsg.): 4. Konferenz Professionelles Wissensmanagement: Erfahrungen und Visionen, 18.-20. März 2007, Potsdam. Band 1, Berlin: GITO-Verlag, 2007.

**Harris/Schooley/Devine/Van Kruijsdijk 2006**

Harris, I./Schooley, C./Devine, P./Van Kruijsdijk, J.: Is Europe Ready For The Millennials? Innovate To Meet The Needs Of The Emerging Generation, Forrester Research, Cambridge 2006. [<http://www.thechair.gr/files/forrester-survey-report.pdf>] (Abruf: 30.07.2009).

**Heisig 2007**

Heisig, P.: Professionelles Wissensmanagement in Deutschland: Erfahrungen, Stand und Perspektive des Wissensmanagements. In: Gronau, N. (Hrsg.): 4. Konferenz Professionelles Wissensmanagement: Erfahrungen und Visionen, 18.-20. März 2007, Potsdam. Band 1, Berlin: GITO-Verlag, 2007, S. 3.-19.

**Krallmann 2000**

Krallmann, H. (Hrsg.): Wettbewerbsvorteile durch Wissensmanagement: Methodik und Anwendungen des Knowledge Management, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2000.

**Landes 2004**

Landes, D.: Wohlstand und Armut der Nationen: warum die einen reich und die anderen arm sind, Berlin: Berliner Taschenbuch-Verlag, 2004.

**Legler/Krawczyk 2006**

Legler, H./Krawczyk, O.: Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im internationalen Vergleich. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 1. Hannover: NIW, 2006. [<http://www.technologische-leistungsfahigkeit.de/pub/sdi-01-06.pdf>] (Abruf: 31.07.2009).

**Loos/Krcmar 2007**

Loos, P./Krcmar, H. (Hrsg.): Architekturen und Prozesse. Strukturen und Dynamik in Forschung und Unternehmen, Berlin/Heidelberg: Springer, 2007.

**Mertins/Heisig/Vorbeck 2003**

Mertins, K./Heisig, P./Vorbeck, J. (Hrsg.): Knowledge Management: Concepts and Best Practices, 2. Auflage, Berlin u. a.: Springer, 2003.

**Mertins./Heisig/Vorbeck 2003**

Mertins, K./Heisig, P./Vorbeck, J.: Introduction. In: Mertins, K./Heisig, P./Vorbeck, J. (Hrsg.): Knowledge Management: Concepts and Best Practices, 2. Auflage, Berlin u.a.: Springer, 2003, S. 1-11.

**Ormerod 2006**

Ormerod, P.: Scheitern ist normal: Interview mit Paul Ormerod über das Scheitern von Unternehmen. In: brand eins (2006), Nr. 5, S. 88-89.

**Pawlowski/Gerlach/Hauptmann/Puggel 2006**

Pawlowski, P./Gerlach, L./Hauptmann, S./Puggel, A.: Wissen als Wettbewerbsvorteil in kleinen und mittelständischen Unternehmen: Empirische Typologisierungen auf Grundlage einer bundesweiten Befragung. In: FOKUS prints 09/06, Technische Universität Chemnitz, 2006. [[http://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/bwl6/prints/fokus\\_prints\\_09-06.pdf](http://www.tu-chemnitz.de/wirtschaft/bwl6/prints/fokus_prints_09-06.pdf)] (Abruf: 30.07.2009).

**Prensky 2001**

Prensky, M.: Digital Natives, Digital immigrants, [<http://www.marcprensky.com/writing/Prensky%20-%20Digital%20Natives,%20Digital%20Immigrants%20-%20Part1.pdf>]. Stand: Oktober 2001, (Abruf: 28.07.2008).

**Prusak 2006**

Prusak, L.: Information ist nicht gleich Wissen. In: Harvard Business Manager 28 (2006), Nr. 7, S. 108-109.

**Roco/Bainbridge 2002**

Roco, M. C./Bainbridge, S. (Hrsg.): Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. National Science Foundation (NSF/DOC) sponsored Report. Arlington/Virginia, Juni 2002. [[http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC\\_frontmatter.pdf](http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_frontmatter.pdf)] (Abruf am 31.07.2009).

**Schnalzer/Wesloy 2005**

Schnalzer, K./Wesoly, M.: Ergebnisse zu aktuellen Entwicklungen und Trends im Wissensmanagement. In: Fraunhofer-Wissensmanagement Community (Hrsg.): Wissen und Information 2005, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2005, S. 25-36.

**Schumpeter 2002**

Schumpeter, J.: Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. In: The American journal of economics and sociology 61 (2002), Nr. 2, S. 405-437.

**Slama/Spitzley 2006**

Slama, A./Spitzley, A. et al.: Kritische Erfolgsfaktoren zur Steigerung der Innovationsfähigkeit: empirische Studie bei produzierenden KMU, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2006.

**Spath/Wagner/Aslanidis/Bannert/Rogowski/Paukert/Ardilio 2006**

Spath, D./Wagner, K./Aslanidis, S./Bannert, M./Rogowski, T./Paukert, M./Ardilio, A.: Die Innovationsfähigkeit des Unternehmens gezielt steigern. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Fokus Innovation, München/Wien: Hanser, 2006, S. 41-109.

**Statistisches Bundesamt 2006**

Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2050: 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung; Presseexemplar, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2006.

**Voigt/Fischer/Staiger 2007**

Voigt, S./Fischer, M./Staiger, M.: Erfahrung sichern: Projektwissen transferieren. In: Wissensmanagement 9 (2007), Nr. 2, S. 32-34.

**Zinser 2000**

Zinser, S.: Eine Vorgehensweise zur szenariobasierten Frühnavigation im strategischen Technologiemanagement, Heimsheim: Jost-Jetter, 2000. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2000.



# > MARKTORIENTIERTE TECHNIKWISSENSCHAFT

KLAUS BROCKHOFF

## 1 ZWEI ZWECKE DER MARKTFORSCHUNG

### 1.1 BEDÜRFNISORIENTIERUNG ALS ZIEL

Technikwissenschaftliche Erkenntnis und darauf aufbauende Gestaltung haben Erfolge, ja geradezu Triumphe erlebt. Dafür müssen keine Beweise erbracht werden. Damit ist nicht zugleich festgestellt, woher die Richtung der Erkenntnissuche und der Gestaltungsziele kommt. Das durch Vannevar Bush geprägte Bild sogenannter „linearer“ Beziehungen von der Grundlagenforschung über die Angewandte Forschung zur Entwicklung hat viele Jahre nicht nur die amerikanische Forschungspolitik beeinflusst.<sup>1</sup> Es ist nicht ungewöhnlich, wenn das Selbstbild der Technikwissenschaften davon stärker geprägt scheint als von den Misserfolgen der Gestaltung, den in Sackgassen führenden Erkenntnissen oder gar denjenigen Erfolgen, die auf Anregung möglicher Nutzer der Techniken zurückgehen. In der Reaktion auf Bush sind auch für diese Orientierung Belege erbracht worden.<sup>2</sup>

Seit den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts sind verschiedene Untersuchungen vorgelegt worden, in denen meist deskriptiv ein in unterschiedlichen Schattierungen dargestelltes „neues“ System der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung dem (vermeintlich) vorausgehenden System gegenübergestellt wird. Hier ist von Interesse, dass diese Ansätze hinsichtlich zweier Beobachtungen übereinstimmen:

1. Wissenschaftliche Erkenntnis entsteht nicht allein in akademischen Einrichtungen; wenn sie dort entsteht, sind besondere Transferhilfen nützlich, um die Erkenntnis zur Anwendung zu bringen. Vielmehr entsteht die wissenschaftliche Erkenntnis vermehrt im Zusammenhang mit ihrer potenziellen Anwendung oder aus den Anwendungsproblemen heraus.
2. Die Themenwahl der Wissenschaft erfolgt nicht völlig autonom. Themenorientierung ist unter anderem gelenkt dadurch, dass die für die Wahlentscheidung verantwortlichen anderen gegenüber rechenschaftspflichtig sind: „...society speaks back to science“, heißt es in einem der Konzepte.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Bush 1945.

<sup>2</sup> U.S. Department of Defense 1969.

<sup>3</sup> Gibbons et al. 1994, S. 50.

Dies hat unmittelbare Folgen für Ergebniskontrolle und Ergebnisbewertung. Selbst Grundlagenforschung erhalte so einen strategischen Charakter in dem Sinne, dass sie ausgeführt werde „with the expectation that it will produce a broad base of knowledge likely to form the background to the solution of recognised current or future practical problems.“<sup>4</sup> Von der vielfältigen Kritik an den vergleichbaren Ansätzen<sup>5</sup> wäre hier, wo allein die deskriptive Indikation eine Rolle spielt, die Frage zu stellen, ob sie auch die Situation der Technikwissenschaften in der Gegenwart beschreiben. Den Wissenschaftsrat haben ähnliche Überlegungen zu „Empfehlungen zu einer Prospektion für die Forschung“ veranlasst,<sup>6</sup> denen eine Pilotstudie in drei Gebieten folgte.<sup>7</sup> Weitergehende Folgen hatte dies offenbar nicht.

Der einzelne Technikwissenschaftler kann sich natürlich auf den Standpunkt stellen, es sei ausschließlich seine private Entscheidung, auf welche technischen Entwicklungsziele hin er sich orientiert. Allerdings ist der aus seinem Privatvermögen finanzierte, dem Erkenntnisstreben oder der Gestaltung hingeebene Privatgelehrte heute, wenn er nicht völlig ausgestorben ist, doch eher eine Randerscheinung. Vermutlich muss man das Streben von Felix Wankel nach einem effizienten Kreiskolbenmotor über lange Zeit hin so einordnen.<sup>8</sup> Der Erfinder-Unternehmer Thomas A. Edison scheiterte mit der magnetischen Trennung niedrig konzentrierter Eisenerze. Die selbst finanzierte Mittelverwendung konnte er – mit größeren finanziellen Mitteln aus unternehmerischer Tätigkeit ausgestattet als Wankel – gelassen kommentieren: „Well, it’s all gone, but we had a good time spending it.“<sup>9</sup>

Technikwissenschaftler, die ihre Orientierung nicht allein im Erfolg einer Erfindung suchen, sondern darüber hinaus in der Innovation, können diesen eher erwarten, wenn sie den Markt für die Innovation bei der Auswahl ihrer Entwicklungsziele berücksichtigen.

Schon wegen der *individuellen* Nutzenorientierung des Technikwissenschaftlers sollten Misserfolge oder Sackgassen vermieden werden, ganz zu schweigen von der Bewertung derjenigen, die die Arbeit der Technikwissenschaftler durch Finanzierung seines Ressourceneinsatzes ermöglichen. Die alternative Mittelverwendung verspricht nämlich ebenfalls einen Nutzen, auch wenn dieser nur im Konsum liegt. Dem Großen Kurfürsten wird die Aussage zugeschrieben, dass die Finanzierung der Experimente des Johann Kunckel auf der Pfaueninsel ihn nicht reuten, da er die „Summe zu solchen (zählte), die er verspielt oder im Feuerwerk verpufft habe. Da er jetzt weniger spiele, so dürfe er das

---

<sup>4</sup> Irvine/Martin 1984.

<sup>5</sup> Weingart 1997; Hessels/Lente 2008.

<sup>6</sup> Wissenschaftsrat 1994.

<sup>7</sup> Arbeitsgruppe Prospektion der Forschung 1998.

<sup>8</sup> Vgl. Popplow 2003.

<sup>9</sup> Baldwin 1995.

dadurch Gesparte an Forschungen in der Wissenschaft setzen.“<sup>10</sup>

Die Orientierung an den Bedürfnissen derjenigen, die Technik nutzen oder nutzen könnten ist keine Erfolgsgarantie. Sie macht aber den Erfolg wahrscheinlicher. Eine solche Orientierung sollte nicht bei rechtfertigenden Gemeinplätzen verharren. Solche Gemeinplätze erscheinen in dreierlei Gestalt.

*Erstens:* Die Aufgabe für den Technikwissenschaftler wird als „gegeben“ betrachtet. Günter Ropohl sieht das auf neue Produkte und ihre Produktion gerichtete technische Handeln und die ihm vorausgehende Verknüpfung von Potenzialkenntnissen und Funktionsidee in einer Erfindung auf wenig hinterfragte Annahmen aufgebaut: „Eigenartiger Weise wird ... die Identifizierung technisierbarer Teilfunktionen in den Methodenlehren technischer Teilfunktionen ... meist kaum gewürdigt. Die Ablaufschemata, die dafür vorgeschlagen werden, beginnen im Allgemeinen mit der ‚Analyse der Aufgabenstellung‘, so als fielen diese vom Himmel. Allenfalls werden ein paar unverbindliche Bemerkungen über die Erfordernisse des Marktes eingestreut, doch wird kaum etwas darüber gesagt, dass eine spätere Marktnachfrage besonders dann zu erwarten ist, wenn die Produktidee von einem wirklichen Nutzungsbedürfnis ausgeht.“<sup>11</sup>

*Zweitens:* Die Aufgabe wird zwar genannt, bleibt aber unspezifiziert hinsichtlich ihrer Ausgestaltung. So wird allgemein auf „Lösung praktischer Probleme“ verwiesen<sup>12</sup>, auf „Zweckorientierung“<sup>13</sup> und auf Wirtschaft. Enger: Industrie und Staat als Lieferanten von Zielinformationen.<sup>14</sup> Die Definition der Technikwissenschaft durch das „Accreditation Board for Engineering and Technology“ hat zwar eine Effizienzorientierung aufgenommen, aber nur eine sehr allgemeine Nutzenorientierung. Das „Board“ formuliert: „Engineering is the profession in which knowledge of the mathematical and natural sciences gained by study, experience, and practice is applied with judgment to develop ways to utilize, economically, the materials and forces of the nature for the benefit of mankind“.<sup>15</sup>

Soweit es Technikwissenschaftler sind, die anderen Technikwissenschaftlern in diesem Sinne Aufgaben stellen, werden sie in disziplinspezifischer Sprache formuliert sein. Das eliminiert Sprachprobleme weitgehend. Aber auch solche Aufgabenstellungen sollten die genannten praktischen Probleme oder Zwecke unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten berücksichtigen. Dabei wären neben akzeptabel erscheinenden Niveaus

<sup>10</sup> Vgl. Fontane, Werke, Bd.4, o. J., S. 502. Johann Kunckel war der Wiedererfinder des Rubinglases, das er in größeren Stückzahlen produzieren konnte und dem Hof lieferte, sowie der Entdecker des Phosphors. Vermutlich sollte er aber Gold machen.

<sup>11</sup> Ropohl 2006, S. 112.

<sup>12</sup> König 2006a, S. 39f.

<sup>13</sup> Kornwachs 2006b, S. 71.

<sup>14</sup> König 2006b, S. 88 und 93.

<sup>15</sup> Annual Report of the Accreditation Board for Engineering and Technology 1985, zitiert nach: Wright 1994, S. 21.

von Lebenszeitkosten technischer Lösungen<sup>16</sup> als Entwicklungszielen zugleich die vermittelten wirtschaftlichen Nutzen zu berücksichtigen.

Das leitet sich aus der Feststellung ab: „Technik ist um der Wirtschaft willen da, aber Wirtschaft nur durch Technik vollziehbar.“<sup>17</sup> Dies ist eine Wechselbeziehung. Wirtschaft „verdankt ihr (der Technik, K.B.) den Aufschluß über die Möglichkeiten und das Um und Auf der Produktion, aber auch der letzteren Umsatz in die Wirklichkeit. Daneben hängt gleichfalls im doppelten Sinne die Technik an der Wirtschaft und wird von ihr beeinflusst. Sie dankt ihr – in Gestalt der Probleme – die Grundlage zum eigenen Aufbau, aber auch die Richtschnur, ihn zu vollenden. Denn nicht allein die Probleme stellt die Wirtschaft der Technik, sie beherrscht auch den Geist der Lösung dieser Probleme.“<sup>18</sup> Das geschieht durch die von der Knappheit der Bedürfnisbefriedigungsmittel diktierte Notwendigkeit der Berücksichtigung des Effizienz- oder des Wirtschaftlichkeitsprinzips. „Alles hängt nun daran, daß man dieses Verhalten der Technik nicht als ein gutwilliges Entgegenkommen, als ein ‚Hineinredenlassen‘ in ihre eigenen Angelegenheiten auffasse. Es ist dieses Verhalten Ausfluß zwingender Notwendigkeit.“<sup>19</sup>

Allerdings gewinnt man den Eindruck, dass diese Sichtweise nicht konsequent aufgenommen oder gar durchgehalten wird. Obwohl beispielsweise eine Generation später in einer bedeutenden Konstruktionslehre „die wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Beziehungen als vollkommen gleichberechtigt behandelt“ werden sollen, spitzt sich die statische Betrachtung an derselben Stelle sogleich allein auf die Kostenwirkungen der Technik zu.<sup>20</sup> Die Erlöswirkungen bleiben ganz außer Betracht. Anders gesagt: Die Aufgabe ist implizit gegeben.

*Drittens:* Es darf nicht angenommen werden, dass jede nutzenstiftende technische Lösung auch als solche immer erkennbar ist und Kaufentscheidungen beeinflusst. Einmal kann dafür Prognoseunsicherheit verantwortlich sein. Zum anderen können aber Techniken auch weitgehend unentdeckt bleiben. Allenfalls die bei Kaufentscheidungen unmittelbar beobachteten „Sucheigenschaften“ erfüllen die Bedingung der Wahrnehmbarkeit. Einige Produkteigenschaften, auf die sich eine nutzenstiftende Lösung richtet, können beim Kauf nicht beobachtet werden.<sup>21</sup> Diese „Erfahrungseigenschaften“ erfordern zur Bewertung eine mehr oder weniger lange Nutzung. Erst Testmöglichkeiten, großzügige Garantiegewährung oder Rücknahmeklauseln können durch Reduzierung inhärenter Risiken zu einer Kaufentscheidung führen. Noch schwieriger ist die Situation bei „Vertrauenseigenschaften“. Sie sind zwar kaufentscheidend, können aber nur in Ausnahmesituationen auch beobachtet werden. Hier können beispielsweise die Re-

<sup>16</sup> Dieser Aspekt steht bei den Hinweisen auf notwendige „Wirtschaftlichkeit“ im Vordergrund bei Klaus Kornwachs 2006a, S. 166.

<sup>17</sup> Gottl-Ottlilienfeld 1923, S. 10. (Alle Zitate hier und im Folgenden ohne die Hervorhebungen des Verfassers.)

<sup>18</sup> Ebd., S. 20.

<sup>19</sup> Ebd., S. 18.

<sup>20</sup> Kesselring 1954, S. 161ff.

<sup>21</sup> Nelson 1970.

putation des Anbieters oder Ergebnisse neutraler Testinstitute zum Kauf führen. Diese Differenzierung verdeutlicht, dass auch marktorientierte technische Lösungen zusätzlich besonderer Marketing-Unterstützung bedürfen, um erfolgreich zu sein.

Wenn man Marktorientierung der Technikwissenschaft befürwortet, muss verdeutlicht werden, auf welche Weise Information über Nutzen erkannt und vermittelt werden kann.

## 1.2 BEDÜRFNISORIENTIERUNG ALS ERKENNTNISPROBLEM

Bedürfnisse sind manchmal einfach zu erkennen, weil sie in der Form politisch gewollter Vorgaben formuliert werden. Als Präsident John F. Kennedy am 25. Mai 1961 den Kongress aufforderte, zusätzliche Budgetmittel bereitzustellen, um innerhalb von 10 Jahren einen Menschen auf dem Mond landen zu lassen und ihn sicher zur Erde zurückzuholen, sprach er ausdrücklich von einem nationalen Ziel. Über solche offensichtlichen Zielsetzungen soll hier nicht gesprochen werden.

Erfinder technischer Neuerungen haben die Fähigkeit, Bedürfnisse von Nutzern zu erkennen, auch wenn diese nicht explizit als Auftrag formuliert werden. Das kann auf verschiedene Weise gezeigt werden. Einmal wird dies an der positiven Korrelation von Patentanmeldungen und nutzengetriebenen Investitionen in bestimmten Verwendungsfeldern deutlich.<sup>22</sup> Zum anderen kann man dies durch das Auftreten von Parallelerfindungen bestätigt sehen, die auf die Lösung eines wahrgenommen Problems zielen.<sup>23</sup> Diese Beobachtungen erklären noch nicht den Erkenntnisprozess oder seine möglichen Verbesserungen.

Besonders schwierig ist das Erkennen der Bedürfnisse von individuell entscheidenden Letztnutzern. Ihre Bedürfnisse müssen, um als Nachfrage wirksam werden zu können, noch durch Kaufkraft unterstützt sein. Damit entsteht Bedarf, der zur Nachfrage werden kann. Deshalb sind in Preisen abgebildete Kosten ebenso relevant wie die Nutzungseigenschaften. Bedürfnisse werden nur selten in technisch verwertbarer Form spontan geäußert. Sie müssen erforscht werden. Bei „durchschnittlichen“ oder „repräsentativen“ Marktteilnehmern sind die interessierenden Bedürfnisse oft nur latent vorhanden. Prognosen für Entwicklungsziele sind daraus kaum abzuleiten. Es kann daneben erhebliche Unsicherheit hinsichtlich der Weitergeltung der erhobenen Bedürfnisse bestehen. Insbesondere bei Innovationen, die als radikal bezeichnet werden, ist darüber hinaus oft die Schaffung einer komplementären Güter- oder Dienstleistungsumwelt (Systemumwelt) erforderlich, um ihren Nutzen realisieren zu können.

---

<sup>22</sup> Schmookler 1966.

<sup>23</sup> Lamb, Easton 1984.

Damit sind Themen angesprochen, die durch methodisch gestützte Kommunikationsprozesse zu lösen sind. Die hohe Bedeutung der Entwicklung neuer Produkte rechtfertigt es, diese hervorzuheben. Dabei sind unterschiedliche Neuheitsgrade zu berücksichtigen. Wir beginnen hier mit Instrumenten zur Kommunikation für inkrementelle Neuerungen.

## 2 INKREMENTELLE NEUERUNGEN

Im Folgenden sind drei Teilfragen zu beantworten. Sie betreffen erstens die produktspezifische Kommunikation zwischen Technikwissenschaftlern und Wirtschaftswissenschaftlern, zweitens die Bereitstellung von Bedürfnisinformation unter Berücksichtigung der Knappheit sowie drittens das Problem der Informationen aus der Systemumwelt für Innovationen.

### 2.1 EINFACHE PRODUKTSPEZIFISCHE KOMMUNIKATION

Produkte werden zweckmäßig als Bündel von Eigenschaften betrachtet.<sup>24</sup> Techniker beschreiben Produkte durch Eigenschaften, die objektiv gemessen werden können und deshalb auch ebenso zu kommunizieren sind. Das kann ausreichend sein, wenn der Produktverwender seine Bedürfnisse in derselben (disziplinspezifischen) Sprache formulieren kann. Auf dieser Grundlage kann eine Nachfragetheorie formuliert werden, die Erfolg oder Misserfolg von objektiv charakterisierten Produkten im Vergleich zu bekannten Angeboten von Wettbewerbern voraussagt.<sup>25</sup> Entwicklungsziele für Produkteigenschaften können operational beschrieben und mit zulässigen Kostenzielen verknüpft werden. Letzteres ist in der Zielkostenrechnung oder dem „target costing“ üblich.<sup>26</sup>

Ein wichtiger Schritt liegt darin, dass sich Entwickler die Bedürfnisse der Kunden ihrer Neuerungen vorstellen sollen. Sie müssten sich auf die disziplinspezifische Sprache der Kunden einlassen. Das kann besonderer Anregungen bedürfen.<sup>27</sup>

Insbesondere die Verwender von Konsumgütern beurteilen Produkte auf Grund von Wahrnehmungen. Produkteigenschaften werden subjektiv formuliert. Wenn der Fahrzeuginteressent „mehr Bequemlichkeit“ fordert, ist ungewiss, ob er damit einem Komfortmaß derjenigen Techniker entspricht, das beispielsweise aus der Innenraumdiagonale der Fahrgastzelle eines PKW besteht. Hier tritt also ein Übersetzungsproblem auf. Es könnte theoretisch durch eine Transformationsfunktion oder „Design-Gleichung“ gelöst werden.<sup>28</sup> Dieses Übersetzungsproblem ist aber aus mehreren Gründen nicht trivial. In Abbildung 1 wird das skizziert.

<sup>24</sup> Eine vollständigere Definition lautet: Ein Produkt ist eine „im Hinblick auf eine erwartete Bedürfnisbefriedigung beim bekannten oder unbekanntem Verwender von einem Anbieter gebündelte Menge von Eigenschaften, die zum Gegenstand eines Tauschs werden soll, um mit der im Tausch erlangten Gegenleistung zur Erfüllung der Anbieterziele beizutragen“. Vgl. Brockhoff 1999, S. 13. Alle Definitionselemente werden dort genauer erläutert.

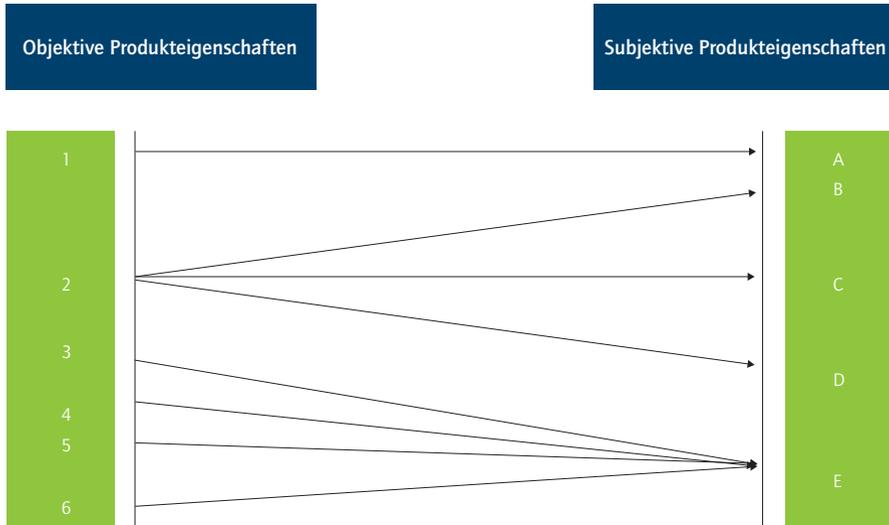
<sup>25</sup> Lancaster 1971.

<sup>26</sup> Coenenberg/Fischer 1996, S. 8-42; Horváth 1993.

<sup>27</sup> Dahl/Chattopaghyay/Gorn 1999.

<sup>28</sup> Ramaswamy/Ulrich 1991; Albers 2007, S. 373f.

Abbildung 1: Schematische Darstellung der möglichen Beziehungen zwischen objektiven und subjektiven Produkteigenschaften



Folgende Schwierigkeiten für eine Design-Gleichung sind zu erwarten: (1) Die Dimensionalität der objektiven Produktcharakteristika kann von derjenigen der subjektiven Charakteristika abweichen. (2) Es gibt selbst bei einer ein-eindeutigen Zuordnung zwischen einer objektiven und einer subjektiven Eigenschaft keine von vornherein bestimmte Funktionalität der Beziehung. (3) Die objektive Eigenschaft 1 steht in einer ein-eindeutigen Beziehung zur subjektiven Eigenschaft A. Dafür wäre festzustellen, welche Grenznutzen monoton steigende Ausprägungen der Produkteigenschaften auslösen. In Vektormodellen werden konstante und steigende Grenznutzen angenommen,<sup>29</sup> in Idealpunktmodellen gilt dies nicht.<sup>30</sup> (4) Die objektiven Eigenschaften B, C und D stehen in einer Beziehung zur subjektiven Eigenschaft 2. Häufig ist zu beobachten, dass eine subjektive Eigenschaft E zu objektiven Eigenschaften 3, 4, 5 und 6 in Beziehung steht.

<sup>29</sup> Vgl. Lancaster 1971, a.a.O.

<sup>30</sup> Brockhoff/Schütt 1981.

Die Wahrnehmung kann also zusätzlich durch unterschiedliche objektive Eigenschaften beeinflusst werden. Faktoranalysen können die Verhältnisse empirisch abbilden. Dann kann die Design-Gleichung aber auch nur mit Faktoren arbeiten, verliert also an Information.

Aus diesen Gründen kann keine allgemeine Transformationsfunktion subjektiver Eigenschaftsbeurteilungen in objektive Produkteigenschaften angenommen werden. Es gibt bei dieser Herangehensweise keinen generell gültigen Weg, um gewünschte subjektive Eigenschaftsausprägungen in die für den Techniewissenschaftler entscheidenden objektiven Eigenschaftsausprägungen zu übersetzen.

Eine pragmatische Lösung dieses Übersetzungsproblems liegt darin, die Kommunikation zwischen den Beteiligten zu systematisieren. Auf der Grundlage individueller Urteile ist es leichter als durch normierte Transformationsfunktionen mit generellem Gültigkeitsanspruch möglich, die Zuordnung subjektiver zu objektiven Eigenschaften vorzunehmen. Damit können auch Ausprägungsideale und Realisierungsaufwand zumindest schätzweise verknüpft werden. Das ist in einem Baustein des „total quality management“, nämlich dem „house of quality“-Ansatz, dargestellt worden.<sup>31</sup> Der Ansatz hat Vorteile, vor allem solche häufigerer und intensiverer Kommunikation zwischen den beteiligten Funktionsbereichen, mit der Möglichkeit früher und kontinuierlicher Abstimmung von Entwicklungszielen und -grenzen. Vorteilhaft ist auch, dass durch Befragung von 20 bis 30 potenziellen Kunden bereits über 90% der Kundenwünsche erfasst werden können.<sup>32</sup> In der Anwendungspraxis wird allerdings auch auf Problemaspekte des House of Quality hingewiesen, von denen hier nur drei angesprochen werden:

1. Es ist unklar, ob der Ansatz von objektiven oder von subjektiven Produkteigenschaften ausgehen sollte. Das ist aus den bereits genannten Gründen nicht eindeutiger Beziehungen bedeutend.
2. Schon Produkte mit geringer Komplexität lassen sich nicht mehr als ein „Haus“ darstellen, sondern nur noch als Ansammlung von Häusern. Unklar ist, wie deren Beziehungen systematisch geordnet und abgestimmt werden können, sozusagen der Bebauungsplan entwickelt wird.<sup>33</sup>

---

<sup>31</sup> Hauser/Clausing 1988. Eine kritische Betrachtung der Vorgehensweise geben: Schmidt/Steffenhagen 2007.

<sup>32</sup> Griffin/Hauser 1993.

<sup>33</sup> Schmidt 1996.

3. Die zu berücksichtigenden Eigenschaften sollten so bestimmt sein, dass sie insgesamt die Nutzenbeurteilung der Produktverwender spiegeln. Sie sollten weiter möglichst unabhängig voneinander, wahrnehmbar und kaufrelevant sein. Sie sollten darüber hinaus zwischen Produkten differenzieren können, also nicht bei allen im potenziellen Wettbewerb stehenden Produkten aus technischen Gründen identisch ausgeprägt sein.<sup>34</sup> Die Bedeutung der Wahrnehmbarkeit wird häufig unterschätzt. Auch eine einzigartige Gerätearchitektur oder Platinenbestückung ist für den potenziellen Nachfrager irrelevant, wenn er sie nicht wahrnimmt. Nur die dadurch ausgelösten Effekte, wie Abmessungen, Gewicht, Leistung, sind für ihn wahrnehmbar und werden erst dadurch entscheidungsrelevant.

Die Gewichtung der erwähnten Anwendungsprobleme gegenüber den Vorteilen mögen dazu geführt haben, dass keine breite Verwendung des Ansatzes bekannt geworden ist.

Dem letzten Problemelement in der Anwendung des „house of quality“ könnte durch multidimensionale Skalierung begegnet werden. Mit diesem Instrument werden kaufrelevante Eigenschaften aufgedeckt, Produktwahrnehmungen in Relation zu Idealvorstellungen über Produkte in einem Eigenschaftsraum dargestellt und Verknüpfungen mit objektiven Eigenschaften in einem solchen Raum durch Vektoren sichtbar. In der Abbildung 2 wird ein zweidimensionales Bild eines Produktmarktraumes gezeigt. Objektive Eigenschaften wären darin als Vektoren zusätzlich abzubilden, die durch den Nullpunkt führen und ebenfalls empirisch bestimmt sind. Eine weitere Darstellungsvereinfachung liegt darin, dass real existierende Produkte durch ihre durchschnittliche Wahrnehmung bei den Befragten abgebildet werden. Idealvorstellungen werden individuell abgebildet. Als Entwicklungsziele kommen nun (gegebenenfalls kaufkraftgewichtete) Positionen in Frage, die sich von Wettbewerberpositionen unterscheiden und den Idealvorstellungen zugleich möglichst nahe kommen. Das ist eine Optimierungsaufgabe, für die Lösungsverfahren bekannt sind.

---

<sup>34</sup> Brockhoff 1999, S. 34.

Abbildung 2: Zweidimensionaler Produktmarktraum subjektiver Produkteigenschaftswahrnehmungen (+ sind Idealpositionen einzelner Befragter; • sind Wahrnehmungen realer Produkte, ausgedrückt durch ihre Eigenschaften als Mittel über alle Befragten).



Quelle: Albers 1989, S. 192.

Bestimmt man in einem solchen Raum Positionen für neue Produkte, so gehen davon Anforderungen an die zu ihrer Realisation erforderlichen Techniken aus. In realistischen Fällen werden höher dimensionierte Räume erforderlich. Dann verlieren die analytischen Lösungsverfahren ihre unmittelbare Anschauung. Das mag dazu beitragen, dass auch die analytischen Lösungen für komplexe Produktentwicklungen bisher kaum Anwendung gefunden zu haben scheinen.

In jüngster Zeit bietet die Nutzung von Foren im Internet ebenfalls Ansätze für die Identifikation von Kundenwünschen. Für technische Produkte ist hier besonders interessant, den Dialog virtueller Berater mit aktuellen oder potenziellen Kunden zu analysieren.<sup>35</sup> Etwas eingeschränkter sind virtuelle Produktbaukästen,<sup>36</sup> weil hiermit keine neuen Komponenten entdeckt werden. Die Beobachtung, dass einige Nutzer solcher virtueller Welten zur Produktgestaltung zu Lösungen finden, die auch für andere Nutzer attraktiv sind,<sup>37</sup> ist vor allem aus wirtschaftlicher Sicht von großem Interesse.

In den bisher dargestellten Lösungsansätzen wird der potenzielle Nachfrager nicht zu einer Eigenschaftsbewertung gezwungen, die seine beschränkten finanziellen Ressourcen berücksichtigt. Das ist auf dem folgenden Wege möglich.

## 2.2 ÜBERWINDUNG DER ANNAHME FREIER GÜTER

Das Problem der Transformationsfunktion kann bei Kenntnis kaufrelevanter Eigenschaften dadurch gelöst werden, dass man sie nicht explizit vorgibt und für alle auskunftgebenden Personen normiert, sondern diesen selbst die Transformation überlässt. Erst das Ergebnis individueller Präferenzurteile wird dann aggregiert. Mit diesem Vorgehen wird ein zweiter Schritt verbunden, nämlich die Überwindung der Annahme freier Güter. Diese Annahme steckt implizit in denjenigen Studien, bei denen für Produkteigenschaften unabhängig voneinander gewünschte Ausprägungsniveaus erhoben werden. So befragt, ist es nicht unverständlich, wenn jeweils möglichst hohe nutzenstiftende Leistungen gefordert werden, die dafür notwendigen Preise aber unbeachtet bleiben.

Die gleichzeitige Berücksichtigung beider Schritte erfolgt in den verschiedenen Verfahrensvarianten der Verbundmessung (conjoint measurement).<sup>38</sup> Hierin werden mögliche Entwicklungsvarianten einer Produktart nach objektiven Kriterien beschrieben, gegebenenfalls auch bildlich oder in Form von Prototypen dargestellt. Holografische Darstellungen bieten dabei neue Möglichkeiten. Die Kriterien schließen auch mögliche Preisforderungen ein. Auf die genaue Auslegung der Experimente soll hier nicht eingegangen werden. Die Einbeziehung der Preise beseitigt die Annahme freier Güter. Potenzielle Kunden beurteilen dann die vorgelegten Varianten und bringen sie in eine Rangordnung ihrer Präferenz. Mit der Präferenzbildung wird individuell die Transformation zwischen objektiven Produkteigenschaften und ihren subjektiven Wahrnehmungen vorgenommen sowie die Preisbereitschaft berücksichtigt. Ergebnisse solcher Untersuchungen erlauben es, jede Veränderung der Ausprägung einer objektiven Eigenschaft mit dem Geldwert des dafür erhobenen individuellen Nutzens zu gewichten. Der

<sup>35</sup> Urban/Hauser 2004.

<sup>36</sup> Hippel 2001.

<sup>37</sup> Prügl/Schreier 2006.

<sup>38</sup> Conjoint measurement ist vermutlich eines der erfolgreichsten Marktforschungsverfahren der letzten drei Jahrzehnte. Inzwischen ist es so weit geklärt, dass es auch als Standard in statistischen Software-Paketen enthalten ist. Vgl.: Backhaus et al. 2006, Kap. 9. Einen frühen Überblick über Verfahrensalternativen bieten: Carroll/Green 1995.

Ausdruck in Geldwerten wiederum erlaubt die Aggregation individueller Urteile, so dass Markteffekte abgeschätzt werden können.

Ergebnisse der Verbundmessung können nicht nur so genutzt werden, dass von allen zur Beurteilung vorgegebenen Entwicklungsalternativen diejenige zur Realisierung vorgeschlagen wird, die von der größten Zahl der Personen, ggf. gewichtet mit ihrer Nachfragemacht, als höchst präferiert ausgewählt wird. Vielmehr können die Daten als Ausgangspunkt für Optimierungsmodelle dienen, aus denen dann diejenige Kombination objektiver Produkteigenschaften bestimmt wird, die die Chance höchster Marktakzeptanz hat.

### 2.3 ÜBERWINDUNG EINES ORIENTIERUNGSPROBLEMS

Manche technischen Neuerungen können für sich allein genommen praktisch nicht genutzt werden. Für die Nutzung sind komplementäre Güter erforderlich oder sogar ein komplementäres System, dessen Aufbau nicht direkt vom Entwickler einer betrachteten technischen Neuheit gesteuert wird. So musste die Musikindustrie genügend CDs eingespielt haben, um dem CD-Abspielgerät eine Erfolgchance einzuräumen. Die potenziellen Nutzer müssen unter Umständen auch Neues erlernen und Verhaltensänderungen vollziehen, vorausgesetzt, dass ein für das Produkt relevanter „Umfeld-Innovationsgrad“<sup>39</sup> erreicht wird. Die Durchsetzung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen erfordert beispielsweise Servicestationen zur Wiederherstellung der für ihren Betrieb erforderlichen Energiepotenziale. Wenn man durch Verbundmessung eine Beurteilung solcher Fahrzeuge lange vor ihrer Markteinführung erreichen möchte, so muss man sich zugleich darum bemühen, den Urteilenden eine Vorstellung von der komplementären technischen Umwelt zu vermitteln. Man spricht von der Bereitstellung von Zukunftsszenarios. Dies kann z.B. durch Druckschriften oder Videos geschehen. Wird sichergestellt, dass die Antwortpersonen diese vor einer Urteilsabgabe wahrnehmen können und die vermittelten Informationen glaubwürdig sind, werden eher valide Informationen über gewünschte Idealprodukte bereitgestellt als ohne solche Vorkehrungen.

Tatsächlich sind entsprechende Verfahren konzipiert, eingesetzt und ausgewertet worden. Sie zeigen überraschend gute prognostische Ergebnisse für den Produkterfolg. "The basic idea is to place the consumer in a virtual buying environment that includes future conditioning ... Full information is attained by using a virtual buying environment with a broad spectrum of information sources available. User experience depends upon a combination of real or virtual prototypes. The customer decides which information sources to visit, when, and for how long. This achieves user control and active search."<sup>40</sup> Ein solches Vorgehen ist auch „technical-market research“ genannt worden, wodurch latente Nutzererwartungen und neue Technologien simultan erkundet werden.<sup>41</sup>

<sup>39</sup> Krieger 2005, S. 18.

<sup>40</sup> Urban et al. 1997, bes. S. 146.

<sup>41</sup> Lauglaug 1993.

Wo hoheitliche Marktregulierungen als Voraussetzung zur Produktnutzung erforderlich scheinen, sind marktorientierte Faktoren weniger bedeutend für die Stimulierung des technischen Fortschritts. Das ist im Hinblick auf die Brennstoffzellen-Technik plausibel gemacht worden.<sup>42</sup> Deshalb müssen auch solche Marktbedingungen in Nutzererhebungen berücksichtigt werden.

## 2.4 WEITGEHEND OFFENE PROBLEME

Trotz schrittweiser Verfeinerung bei der Gewinnung von Kenntnissen über Nutzerbedürfnisse bleiben einige Probleme bisher noch weitgehend ungelöst:

*Erstens:* Hier ist das Problem der Wettbewerbsaktivitäten zu nennen. Um diese nicht allzu offen einzuladen, hat man beispielsweise die Datenerhebung aus den gut beobachtbaren regionalen Testmärkten in weniger gut zu beobachtende Testmarktsimulatoren verlegt. Ob aber der Wettbewerber den eigenen Markterfolg durch eine Parallelentwicklung stören wird oder nicht, kann durch die dargestellten Instrumente der Marktforschung nicht erkannt werden. Immerhin aber kann in mehrdimensionalen Produktmarkträumen, deren Achsen die wahrgenommenen Produkteigenschaften bilden, dargestellt werden, wie sich Kaufwahrscheinlichkeiten eines zu entwickelnden Produkts verändern, wenn bestimmte gleichzeitig eingenommene Wettbewerbspositionen angenommen werden. Je nach der Verteilung der optimalen Eigenschaftsausprägungen aus Sicht der potenziellen Nachfrager ist unter Berücksichtigung der Erlöse und Kosten des Anbieters eine Position zu finden, die dem Ideal möglichst vieler oder möglichst kaufkräftiger Nachfrager nahe kommt und zugleich von Positionen möglicher Wettbewerber abgesetzt ist. Für statische Situationen sind solche Modelle analytisch zu lösen<sup>43</sup>, für dynamische Situationen liegen allenfalls Ansätze zur Lösung vor. Eine der Standardannahmen über Wettbewerberreaktionen ist die Nash-Annahme, die zu entsprechenden spieltheoretischen Lösungen führt. In Experimenten ist gezeigt worden, dass die Teilnehmer sich „aggressiver“ verhalten als nach der Nash-Annahme zu vermuten wäre. Sie versuchen Asymmetrien in den Produktangeboten stärker abzubauen als es aus Sicht der Gewinnmaximierung für jeden von zwei Spielern geboten wäre.<sup>44</sup> Vergleichbarkeit zwischen Wettbewerbsangeboten ist den Akteuren offenbar wichtiger als Differenzierung. Das könnte zu einer Limitierung der Technologieentwicklungen führen.

*Zweitens:* Das Problem der Entwicklungsdauer ist zu berücksichtigen. Innerhalb der Zeitspanne zwischen Datenerhebung und Markteinführung einer Entwicklung können sich – wie erwähnt – die Präferenzen der befragten Personen verändern.<sup>45</sup> Allenfalls regelmäßige Nacherhebungen können diesen Prozess sichtbar machen, nicht aber verhindern. Präferenzänderungen können zum Abbruch von Entwicklungen zwingen.

<sup>42</sup> Hoed 2007.

<sup>43</sup> Albers 1989 und Bauer/Herrmann/Mengen 1995.

<sup>44</sup> Marks 1994 und Marks/Albers 2001.

<sup>45</sup> Brockhoff 1978.

*Drittens:* Es ist bedeutsam, welche Kunden in die Datenerhebung einbezogen werden. Es ist beobachtet worden, dass „wer die Kunden zu genau beobachtet und auf jede ihrer Launen eingeht (möglicherweise) scheitert. Wer seinen Kunden zuhört, hört die Stimmen der Vergangenheit.“<sup>46</sup> Solche Urteile nehmen an, dass die Durchschnittskunden sehr undifferenziert als Ideengeber herangezogen werden. Die Datenerhebung für Zwecke der technischen Entwicklung sollte deshalb aus dem Kreis potenzieller Kunden nur solche auswählen, die Bedürfnisse früher empfinden als der Markt im Allgemeinen. Solche Kunden können auf Grund von Eigeninteressen als Co-Entwickler („launching customers“)<sup>47</sup> auftreten oder als Ideengeber für Technologien, die sich im Markt als disruptiv auswirken.<sup>48</sup> Ähnlich sind die in sehr vielen Märkten identifizierten „lead user“ unter anderem dadurch gekennzeichnet, dass sie Bedürfnisse erkennen, die von der Mehrzahl potenzieller Nachfrager im Markt erst sehr viel später wahrgenommen werden.<sup>49</sup> Die Forschung hat gezeigt, dass solche „lead user“ nicht nur als in den Technikwissenschaften ausgebildete Spezialisten anzusehen sowie in sogenannten „high tech“-Branchen angesiedelt sind, sondern auch unter fachlich ganz anders orientierten Personen in „low tech“-Branchen zu finden sind.

*Viertens:* Wir kommen zurück auf den technischen Neuheitsgrad. Das Problem hat wenigstens zwei Ausprägungen. Einmal ist festzustellen, dass höherer technischer Neuheitsgrad nicht zugleich auch höheren Markterfolg verspricht. Höherer Neuheitsgrad führt zu einem höheren wahrgenommenen Qualitätsrisiko<sup>50</sup> und kann zu höheren Preisen bei vergleichbaren Produkten führen. Beides reduziert die Kaufbereitschaft und so den Markterfolg. Auf diesen Aspekt soll hier nicht weiter eingegangen werden.<sup>51</sup> Zweitens steigt die Prognoseschwierigkeit technisch bedingter Nutzenkomponenten mit zunehmendem Neuheitsgrad. Darauf soll etwas ausführlicher eingegangen werden.

### 3 RADIKALE NEUERUNGEN

Mit der Messung von Neuheitsgraden beschäftigt sich eine ansehnliche Literatur. Sie identifiziert eine Skala von inkrementalen zu radikalen Innovationen. Im Extremfall werden radikale Neuerungen durch eine völlig neue Technik gekennzeichnet, die grundlegende Veränderung der Wertketten, neue Produktionsverfahren, eine neue Nutzung ermöglichende Infrastruktur sowie die Schaffung eines neuen Marktes.<sup>52</sup> Den vorletzten Punkt haben wir bereits oben angesprochen. Hier kommt es nur auf den letzten

<sup>46</sup> Oetinger/Ghyczy/Bassford 2001, S. 46. Eine neuere Zusammenstellung von Literatur zu den gegensätzlichen Positionen hinsichtlich der Fähigkeit von Nutzern zur technologischen Vorhersage bei: Lettl/Herstatt/Gemünden 2006, S. 252.

<sup>47</sup> Brockhoff 2007, S. 27.

<sup>48</sup> Christensen 1997.

<sup>49</sup> Die „lead user“-Forschung wurde begründet durch Eric von Hippel 1986.

<sup>50</sup> Baier 1999.

<sup>51</sup> Dazu: Brockhoff 1999, S. 236 und Kotzbauer 1992, S. 123ff. und Salomo/Weise/Gemünden 2007, bes. Tab. 3.

<sup>52</sup> Vgl. auch die Hinweise bei Krieger 2005, S. 13.

Punkt an. Als Charakteristikum wird festgestellt, dass dabei erstmals bisher unbefriedigte Bedürfnisse erfüllt werden, was zu einem substantiellen Zuwachs an Wert für den Nutzer führe. Verbunden damit sei möglicherweise die Notwendigkeit starker Einstellungs- und Verhaltensänderungen. Die Einführung der minimal invasiven Chirurgie war beispielsweise nicht allein durch Entwicklung und Angebot entsprechender Geräte zu erreichen, sondern erforderte von den Anbietern erhebliche Ausbildungsleistungen für die künftigen Nutzer. Neben hohen Investitionen zum Aufbau des Marktes tragen die notwendigen Einstellungs- und Verhaltensänderungen zu den Risiken radikaler Markterneuerungen bei.<sup>53</sup> Gerade deshalb wird der kreative Beitrag potenzieller Nutzer als Erfinder und Mit-Entwickler gesucht, denn ihre Perspektive kann beim Abbau der Risiken hilfreich sein. Für die Medizintechnik ist gezeigt worden, dass tatsächlich Nutzer zu identifizieren sind, die zu radikalen technologischen Entwicklungen beitragen.<sup>54</sup>

Vorweg gesagt: über die Marktorientierung radikaler Neuerungen weiß man sehr viel weniger zu sagen als über die von technologischen Routineinnovationen. Es tut sich ein Dilemma auf: „Markets that don't exist can't be analyzed.“<sup>55</sup> Das sollte aber nicht überbewertet werden, denn die Routineinnovationen machen nun einmal den wesentlichen Teil aller Produktinnovationen aus. Sie sichern in Unternehmen deren Wachstum ab.<sup>56</sup> Das Fehlen eines identifizierbaren Marktes bedeutet weiterhin nicht das Fehlen von Auskunftspersonen, denen „trend leadership“ zugesprochen wird. Dies sind eher Experten. Das heißt, dass sie zeitlich vor dem Entstehen oder der Entwicklung eines Marktes Bedürfnisse identifizieren können und nützliche Technologien zumindest vorschlagen können. Ihre Urteile können aber mit größeren Unsicherheiten behaftet sein als im Falle der Urteile über die Marktaufnahme von Routineinnovationen. Initiatoren der auf radikale Innovationen zielenden technologischen Neuerungen müssen deshalb ein größeres Ressourcenpotenzial mobilisieren können als solche von Routineinnovationen.

Die Gegenüberstellung erfolgreicher radikaler und inkrementaler Neuerungen legt nahe, dass es bei ersteren in den Entwicklungsprozessen häufiger und intensiver zum Informationsaustausch zwischen den beteiligten Experten kommt.<sup>57</sup> Diese Erkenntnis sollte nicht auf Repräsentanten unterschiedlicher Technikwissenschaften beschränkt sein. Wo dieser Informationsaustausch vernachlässigt wird, ist Erfolg weniger wahrscheinlich. Marktorientierung scheint Unternehmen zu helfen, der optimalen Abstim-

---

<sup>53</sup> Lettl/Herstatt/Gemünden 2006, S. 252.

<sup>54</sup> Ebd. sowie: Lettl 2007.

<sup>55</sup> Christensen 1997, S. xxi.

<sup>56</sup> Utterback 1994.

<sup>57</sup> Schmickl/Kieser 2008, S. 484ff.

mung der Mittelverwendung für inkrementale im Vergleich zu radikalen Innovationen näher zu kommen. Das könnte auf wissenschaftliche Disziplinen übertragen werden.

Zwei Situationen radikaler technischer Neuerungen sind zu unterscheiden. Im ersten Falle wird die Neuerung auch als solche wahrgenommen. Das ist der Fall, der bisher implizit angesprochen wurde.

Im zweiten Fall ist diese Wahrnehmung nicht gegeben. Das kann gewünscht sein, beispielsweise beim Ersatz hochpreisiger Produktionsfaktoren durch andere, ohne dass damit die Wahrnehmung einer Qualitätseinbuße verbunden ist. Das kann unerwünscht sein, wenn die Qualitätswahrnehmung zurückgeht und damit entweder Nachfrageeinbußen verbunden sind oder Preissenkungen zur Kompensation notwendig werden.

#### 4 MARKTORIENTIERUNG ALS AUSSCHLIESSLICHE STRATEGIE FÜR TECHNIKWISSENSCHAFTEN?

Die bisherigen Ausführungen werben für eine Marktorientierung der Technikwissenschaften als Grundlage für Produktinnovationen. Sie weisen auf Instrumente hin, die eine solche Orientierung ermöglichen oder fördern. Diese strategische Prozessoptimierung und Kundenorientierung bei Innovationsprozessen wird als erfolgswirksamer eingeschätzt als die Realisierung gelegentlicher Innovationen mit besonders hohem Neuheitsgrad.<sup>58</sup>

Das bedeutet nicht, dass sich die Technikwissenschaften ausschließlich an Marktinformationen orientieren müssten, um mehr Beiträge zu Produkterfolgen zu erreichen. Erstens ist hier nur zu wiederholen, dass die produktorientierten Technikwissenschaften nicht deren einzige Ausprägung darstellen. Wie weit bei den funktionen- oder berufsbezogenen Technikwissenschaften andere Überlegungen zum Zuge kommen müssten, wird hier nicht untersucht.<sup>59</sup> Es wird vermutet, dass auch dort eine Nutzerorientierung möglich ist. Zweitens ist das eingangs erwähnte „lineare Modell“ der wissenschaftlichen Entwicklung nur hinsichtlich eines von seinen Befürwortern reklamierten Monopolanspruchs auf die Erklärung wissenschaftlicher und technischer Entwicklungen zurückgewiesen worden. Das heißt nicht, dass es keinerlei Bedeutung hätte. Eine bisher nicht gelöste und vielleicht nicht perfekt lösbare Schwierigkeit liegt darin, dass eine rationale Zuweisung von Ressourcen zur Entwicklung von Technologien ohne und mit Nutzerorientierung nicht möglich ist, da die erwarteten Beiträge beider Entwicklungsalternativen im Entscheidungszeitpunkt unvergleichbar sind. Diese Unvergleichbarkeit reicht weiter als bloße Ergebnisunsicherheit. Ähnlich der Entscheidung, eine Haftpflichtversicherung für die Abdeckung völlig unbestimmter künftiger Risiken abzuschließen, müsste nicht marktorientierte Technikwissenschaft, die wissenschaftsimmanenten Kriterien standhält, finanziert werden. Damit wird zwei Risiken vorgebeugt: dem Risiko, vom wissenschaftlichen Tauschprozess ausgeschlossen zu werden, weil man keine eigenen

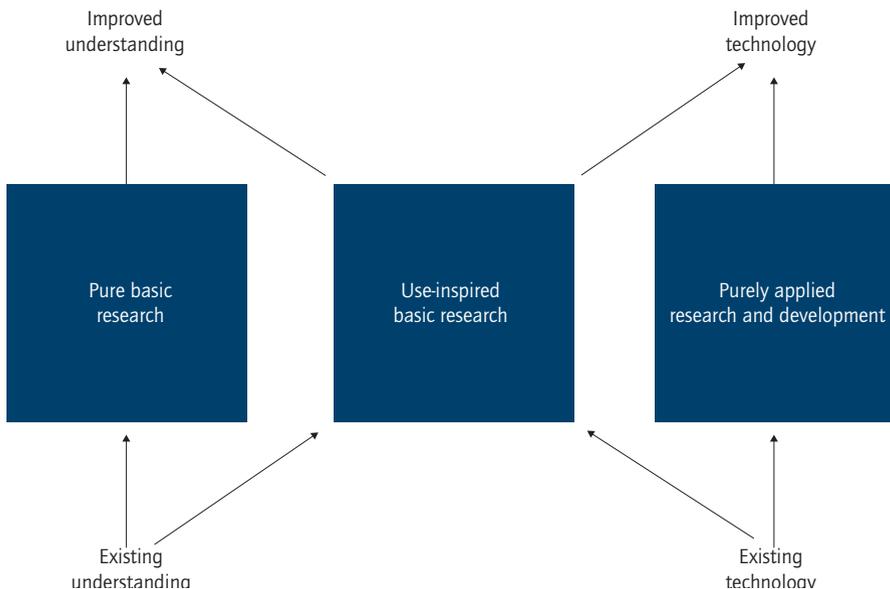
<sup>58</sup> Getz, Robinson 2003.

<sup>59</sup> Zu dieser Typisierung: König 2006a, S. 41.

Tauschgegenstände präsentieren kann, sowie dem Risiko, keine originären radikalen Innovationen anstoßen zu können.

Passen neuere Modelle der wissenschaftlichen Entwicklung zu solchen Überlegungen? Donald Stokes hat zunächst Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten durch Anwendung der Zielkriterien Erkenntnissuche und Anwendungsverbesserung in vier Typen gegliedert. Erkenntnissuche ohne Anwendungsverbesserung liegt in der reinen Grundlagenforschung vor, die Verbesserung von Anwendungen ohne tieferes Verständnis anzustreben kennzeichne Entwicklung, fehlen beide Komponenten liegen reine Datensammlungen vor. Das hier hervortretende Bild der Technikwissenschaften ist das der anwendungsorientierten Forschung, bei der sich Erkenntnissuche mit Anwendungsabsicht verbindet. Darauf aufbauend wird an die Stelle des linearen Modells eine Vorstellung gesetzt, die in Abbildung 3 wiedergegeben ist.

Abbildung 3: Die dynamische Version des Modells von Stokes



Vorhandenes Wissen kann sowohl die Grundlagenforschung als auch die anwendungsorientierte Forschung (use-inspired basic research) stimulieren. Die bekannten Techniken und Technologien, die Begriffe werden im amerikanischen Sprachgebrauch nicht ge-

trennt, wirken in gleichartiger Weise sowohl auf die anwendungsorientierte Forschung als auch auf die reine Anwendungstechnik und Entwicklung. Aus den grundlagenorientierten Forschungsaktivitäten erwächst neues Verständnis, aus der anwendungsorientierten Forschung und der Entwicklung neues technologisches Wissen. Sieht man die Abbildung als auf einen Zeitabschnitt bezogen und die Pfeile als Entwicklungen in der Zeit an, so wird deutlich, dass nach diesem Modell jeder der Forschungstypen jeden anderen anregen und mit Vorwissen versehen kann. Dieses „revidierte dynamische Modell“ ist etwas völlig anderes als das lineare Modell.<sup>60</sup> In ihm finden Marktteilnehmer als Anregende einen Platz, den sie im „linearen Modell“ nicht einnehmen können. Daraus resultieren drei strategische Probleme.

*Erstens:* Sollen in den Technikwissenschaften unterschiedliche Strategien für die Erkenntnis und die Gestaltung verfolgt werden, so fragt es sich, wie dies zu organisieren ist. Einmal könnte man es zur Aufgabe jeder Forschungseinheit machen, ihre Mittel innerhalb vorgegebener Grenzen teils der einen, teils der anderen Strategie zu widmen. Dann werden Projekte mit unterschiedlichen Strategiezielen nebeneinander verfolgt. Das wirft das Problem der Strategiedefinition bei der Finanzierung und in der organisatorischen Umsetzung auf. Diese Organisation hätte den Vorteil kurzer Distanzen zwischen beiden Projekttypen und somit erleichterter potenzieller wechselseitiger Informationsübertragung. Nachteilig ist, dass Spezialisierungsvorteile so weniger gut wahrgenommen werden können und die in- sowie externe Sichtbarkeit des Forschungsprofils schwer herauszuarbeiten ist. Konkret hieße das, von einem an Grundlagenforschung orientierten Institut jeweils auch Anwendungsbezug zu verlangen.

Alternativ könnte daher die Portfoliobildung auf der Ebene der Forschungseinheiten erfolgen. Hier verschiebt sich das Problem der Strategiedefinition auf eine höhere Organisationsebene. Vor- und Nachteile der eben genannten Lösungen kehren sich um.

Es kommt also darauf an, welches Gewicht den Vor- und Nachteilen jeweils zukommt, wenn man eine der Alternativen bevorzugen will. Einer vergleichbaren Frage zur Unternehmensorganisation, die radikale Innovationen ermöglichen soll, wird unter dem Gesichtspunkt des Lernens und des Wissensmanagements viel Aufmerksamkeit gewidmet. Die hier skizzierten Alternativen erscheinen dort als „dual versus binary organizations“.<sup>61</sup> Eine klare Empfehlung, welche dieser Organisationsstrukturen wann vorzuziehen ist, liegt aber auch dafür nicht vor. Wie ein dynamisches Gleichgewicht zwischen den Mitteleinsätzen für diese Alternativen zu bestimmen sei, ist ebenfalls in praktischer Hinsicht ungeklärt, wenn auch theoretische Aussagen dafür vorliegen.

*Zweitens:* Weiterhin ist zu erkennen, dass die hier dargestellten Ansätze zur Unterstützung einer Marktorientierung eher kurz- oder mittelfristig und weniger langfristig orientiert sind, wenn man unter dieser Orientierung Zeiträume von einem oder mehre-

<sup>60</sup> Stokes 1997, S. 88.

<sup>61</sup> Corso/Pellegrini 2007, hier bes. S. 339ff.

ren Jahrzehnten versteht. Es ist schwer vorstellbar, dass Marktteilnehmer bei gleicher Unsicherheit bessere Langfristprognostiker sein sollten als andere, also auch Technikwissenschaftler. Sie können ökonomische Beurteilungen in technische Potenziale einfließen lassen. Das wurde in der Pilotstudie zur Forschungsprospektion versucht, als die Wissenschaftler auch zu künftigen Anwendungsmöglichkeiten und Produktvisionen zu längerfristig zu bearbeitenden Feldern befragt wurden.<sup>62</sup> Die Wirtschaft und der Markt berücksichtigen nur solche Zukunftseignisse, welche die Rangordnung der heutigen Handlungsalternativen verändern. Deren Steuerung erfolgt über Gegenwartswerte von Gewinnerwartungen. Künftige Ereignisse mit hohen Risiken verlangen hohe Diskontierungszinssätze. Das reduziert ihren Einfluss auf gegenwärtige Entscheidungen über Handlungsalternativen. Durch diese werden knappe Ressourcen gesteuert, also über Voraussetzungen für radikale oder inkrementale Neuerungen entschieden. Abweichende Zukunftsvorstellungen könnten zu anderen Ressourcenverteilungen führen, was unter normativen Aspekten in der Konsequenz wieder eine Beurteilung wirtschaftlicher Potenziale in ferner Zukunft erfordert. Wer vermag dies wirklich, selbst wenn die „Verknüpfung von Wissenschaft und Wirtschaft“ für die Forschungsprospektion verbessert würde?<sup>63</sup> Zu einer Institutionalisierung der Prospektion im Sinne des Wissenschaftsrats ist es jedenfalls in Deutschland bisher nicht gekommen. Auch dadurch wäre keine Normierung zukünftiger wissenschaftlich und wirtschaftlich interessanter Arbeitsfelder zu erwarten. Dem Wettbewerb ist die Funktion eines „Entdeckungsverfahrens“ zugeschrieben worden.<sup>64</sup> Das gilt unabhängig von zeitlichen Horizonten.

*Drittens:* Schließlich ist in einer vielfältig angelegten Untersuchung persönlicher Einstellungen gezeigt worden, dass zwischen Betriebswirten und Ingenieuren im Beruf stärker noch als für Studierende in beiden Disziplinen Merkmalsunterschiede dahingehend bestehen, dass Ingenieure bevorzugen: (1) eine inhaltlich-umsetzungsorientierte Tätigkeit statt strategisch-planerischer, (2) faktenorientiert-quantitativ-analytischen Informationsstil statt intuitiv-qualitativ-holistischem, (3) technische Qualitätsziele statt Aufwands- oder Zeitziele, (4) kurzfristige statt langfristige Projekte, (5) weniger riskante statt riskante Projekte bei gleichem Erfolgserwartungswert.<sup>65</sup> Insbesondere die beiden letztgenannten Aspekte sind sicher überraschend. Sollten sie auch für Technikwissenschaftler in Hochschulen zutreffen? Wäre es so, läge darin ein zusätzliches Argument für die Marktorientierung, wenn diese Orientierung nicht im Durchschnitt der Marktteilnehmer gesucht wird.

<sup>62</sup> Arbeitsgruppe „Prospektion der Forschung“ 1998, S. 74.

<sup>63</sup> Ebd., S. 119.

<sup>64</sup> Hayek 1968.

<sup>65</sup> Lühje 2008, S. 282ff.

## LITERATUR

### **Albers 1989**

Albers, S.: Gewinnorientierte Neuproduktpositionierung in einem Eigenschaftsraum. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 41 (1989), S. 186-209.

### **Albers 2007**

Albers, S.: Optimale Auswahl von Produkteigenschaften. In: Ders./Hermann, A.: Handbuch Produktmanagement, Wiesbaden: Gabler, 2007, S. 363-394.

### **Annual Report 1985**

Annual Report of the Accreditation Board for Engineering and Technology, 1985.

### **Arbeitsgruppe Prospektion der Forschung**

Pilotstudie zu einer Prospektion der Forschung anhand ausgewählter Gebiete, Wissenschaftsrat Drucksache 3387/98, Köln, 1998.

### **Backhaus 2006**

Backhaus, K. et al.: Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung, Berlin/Heidelberg/New York: Springer, 2006, Kap. 9.

### **Baier 1999**

Baier, G.: Qualitätsbeurteilung innovativer Softwaresysteme. Auswirkungen des Neuheitsgrades, Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 1999.

### **Baker/Sinkula 2007**

Baker, W. E./Sinkula, J. M.: Does Market Orientation Facilitate Balanced Innovation Programs? An Organizational Learning Perspective. In: Journal of Product Innovation Management 24 (2007), S. 314-334.

### **Baldwin 1995**

Baldwin, N.: Edison: Inventing the Century, New York: Hyperion, 1995.

### **Bauer/Herrmann/Mengen 1995**

Bauer, H. H./Herrmann A./Mengen A.: Eine Methode zur gewinnmaximalen Produktgestaltung auf der Basis des Conjoint Measurement. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 65 (1995), S. 1443-1451.

**Brockhoff 1978**

Brockhoff, K.: Zur optimalen mehrperiodigen Produktpositionierung. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 30 (1978), S. 257-265.

**Brockhoff 1999a**

Brockhoff, K.: Forschung und Entwicklung. Planung und Kontrolle, München/Wien: Oldenbourg, 1999.

**Brockhoff 1999b**

Brockhoff, K.: Produktpolitik, Stuttgart: Lucius & Lucius, 1999.

**Brockhoff 2007**

Brockhoff, K.: Produktinnovation. In: Albers, S./Herrmann, A.: Handbuch Produktmanagement, Wiesbaden: Gabler, 2007, S. 19-48.

**Brockhoff/Schütt 1981**

Brockhoff, K./Schütt, K.-P.: Preis-Absatz-Funktionen bei Idealpunkt-Präferenzen. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 51 (1981), S. 258-273.

**Bush 1945**

Bush, V.: Science - the Endless Frontier. A Report to the President on a Program for Post-war Scientific Research, Washington/D.C.: United States Government Printing Office, 1945 (Nachdruck 1960).

**Call 1997**

Call, G.: Entstehung und Markteinführung von Produktneuheiten, Wiesbaden: Gabler, 1997.

**Carroll/Green 1995**

Carroll, J. D./Green P. E.: Psychometric Methods in Marketing Research: Part I, Conjoint Analysis. In: Journal of Marketing Research 32 (1995), S. 385-391.

**Christensen 1997**

Christensen, C. M.: The Innovator's Dilemma: when new technologies cause great firms to fail, Boston/MA: Harvard Business School Press, 1997.

**Coenberg/Fischer 1996**

Coenberg, A. G./Fischer, T.: Strategisches Kostenmanagement. In: Produktion und Management „Betriebsstätte“, Teil 1, Berlin/Heidelberg: Springer, 1996.

**Corso/Pellegrini 2007**

Corso, M./Pellegrini, L.: Continuous and Discontinuous Innovation: Overcoming the Innovator Dilemma. In: *Creativity and Innovation Management* 16 (2007), S. 333-347.

**Dahl/Chattopaghyay/Gorn 1999**

Dahl, D. W./Chattopaghyay, A./Gorn G. J.: The Use of Mental Imagery in New Product Design. In: *Journal of Marketing Research*, 36 (1999), S. 18-28.

**Fontane**

Fontane, T.: Wanderungen durch die Mark Brandenburg: Pfaueninsel, in: *Werke*, Bd.4, Wiesbaden o. J.

**Getz/Robinson 2003**

Getz, I./Robinson A. G.: Innovate or Die: Is that a Fact? In: *Creativity and Innovation Management*, 12 (2003), S. 130-136.

**Gibbons et al. 1994**

Gibbons, M. et al.: The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies, London: Sage Publ., 1994.

**Gottl-Ottlilienfeld 1923**

Gottl-Ottlilienfeld, F. v.: *Wirtschaft und Technik*, Tübingen: Mohr, 1923

**Griffin/Hauser 1993**

Griffin, A./Hauser, J. R.: The Voice of the Customer. In: *Marketing Science* 12 (1993), S. 1-27.

**Hauser/Clausing 1988**

Hauser, J. R./Clausing, D.: The House of Quality. In: *Harvard Business Review* 66 (1988), Nr. 3, S. 63-73.

**Hayek 1968**

Hayek, F. A. v.: *Der Wettbewerb als Entdeckungsverfahren*, Kieler Vorträge, N.F., 56, Kiel, 1968.

**Hessels/Lente 2008**

Hessels, L. K./Lente, H. v.: Re-thinking new knowledge production : a literature review and a research agenda. In: *Research policy*, 37(2008), Nr. 4, S. 740-760 .

**Hippel 1986**

Hippel, E. v.: Lead users: Source of Novel Product Concepts. In: Management Science 32 (1986), S. 791-805.

**Hippel 2001**

Hippel, E. v.: User Toolkits for Innovation. In: Journal of Product Innovation Management 18 (2001), S. 247-257.

**Hoed 2007**

Hoed, R. v. d.: Sources of radical technological innovation: the emergence of fuel cell technology in the automotive industry. In: Journal of Cleaner Production 15 (2007), S. 1014-1021.

**Horváth 1993**

Horváth, P.: Target Costing. Marktorientierte Zielkosten in der deutschen Praxis, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993.

**Irvine/Martin 1984**

Irvine, J./Martin, B. R.: Foresight in Science: Picking the Winners, London: Pinter, 1984.

**Kesselring 1954**

Kesselring, F.: Technische Kompositionslehre. Anleitung zu technisch-wirtschaftlichem und verantwortungsbewußtem Schaffen, Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer, 1954.

**König 2006a**

König, W.: Struktur der Technikwissenschaften. In: Banse, G. et al. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften, Berlin: Edition Sigma, 2006, S. 37-44.

**König 2006b**

König, W.: Ziele der Technikwissenschaften. In: Banse, G. et al. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften, Berlin: Edition Sigma, 2006, S. 84-98.

**Kornwachs 2006a**

Kornwachs, K.: Rational-systematische Methoden. In: Banse, G. et al. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften, Berlin: Edition Sigma, 2006, S. 145-175.

**Kornwachs 2006b**

Kornwachs, K.: Technisches Wissen. In: Banse, G. et al. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften, Berlin: Edition Sigma, 2006, S. 71-84.

**Kotzbauer 1992**

Kotzbauer, N.: Erfolgsfaktoren neuer Produkte: Der Einfluss der Innovationshöhe auf den Erfolg technischer Produkte, Frankfurt/M.: Lang, 1992.

**Krieger 2005**

Krieger, A.: Erfolgreiches Management radikaler Innovationen. Autonomie als Schlüsselvariable. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 2005.

**Lamb/Easton 1984**

Lamb, D./Easton, S. M.: Multiple Discovery. The pattern of scientific progress, Amersham: Avebury Publ., 1984.

**Lancaster 1971**

Lancaster, K.: Consumer Demand. A New Approach, New York/London: Columbia University Press, 1971.

**Lauglaug 1993**

Lauglaug, A. S.: Technical-Market Research – Get Customers to Collaborate in Developing Products. In: Long Range Planning 26 (1993), Nr. 2, S. 78-82.

**Lettl/Herstatt/Gemünden 2006**

Lettl, C./Herstatt, C./Gemünden, H. G.: Users' contributions to radical innovation: evidence from four cases in the field of medical equipment technology. In: R&D Management 36 (2006), S. 251-272.

**Lettl 2007**

Lettl, C.: User involvement competence for radical innovation. In: Journal of Engineering and Technology Management 24 (2007), S. 53-75.

**Lüthje 2008**

Lüthje, C.: Der Prozess der Innovation. Zum Zusammenwirken von technischen und ökonomischen Akteuren, Tübingen: Mohr Siebeck, 2008.

**Marks 1994**

Marks, U. G.: Neuproduktpositionierung in Wettbewerbsmärkten, Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 1994.

**Marks/Albers 2001**

Marks, U. G./Albers, S.: Experiments in Competitive Product Positioning – Actual Behavior versus Nash Solutions. In: Schmalenbach Business Review, 53 (2001), Nr. 3, S. 150-174.

**Nelson 1970**

Nelson, P.: Information and Consumer Behavior. In: Journal of Political Economy 78 (1970), S. 311-329.

**Oetinger/Ghyczy/Bassford 2001**

Oetinger, B. v./Ghyczy T. v./Bassford, C. (Hrsg.): Clausewitz. Strategie denken, München/Wien: Hanser, 2001.

**Popplow 2003**

Popplow, M.: Motor ohne Lobby? Medienereignis Wankelmotor 1959-1989, Heidelberg: Verlag Regionalkultur, 2003.

**Prügl/Schreier 2006**

Prügl, R./Schreier, M.: Learning from leading-edge customers at The Sims: opening up the innovation process using toolkits. In: R&D Management 36 (2006), S. 237-250.

**Ramaswamy/Ulrich 1991**

Ramaswamy, R./Ulrich, K.: Combining Customer and Engineering Information for Preliminary Design, MIT-Sloan School Working Paper 3302-91-MSA, 1991.

**Ropohl 2006**

Ropohl, G.: Erfindung – Potenzialkenntnis und Funktionsidee. In: Banse, G. et al. (Hrsg.): Erkennen und Gestalten. Eine Theorie der Technikwissenschaften. Berlin: Edition Sigma 2006, S. 105-113.

**Salomo/Gemünden/Billing 2003**

Salomo, S./Gemünden, H.-G./Billing, F.: Dynamisches Schnittstellenmanagement radikaler Innovationsvorhaben. In: Herstatt, C./Verworn, B.: Management der frühen Innovationsphasen: Grundlagen - Methoden - Neue Ansätze, Wiesbaden: Gabler, 2003, S. 161-194.

**Salomo/Weise/Gemünden 2007**

Salomo, S./Weise, J./Gemünden, H. G.: NPD Planning Activities and Innovation Performance: The Mediating Role of Process Management and the Moderating Effect of Product Innovativeness. In: *Journal of Product Innovation Management* 24 (2007), S. 285-302.

**Schmickl/Kieser 2008**

Schmickl, C./Kieser, A.: How much do specialists have to learn from each other when they jointly develop radical product innovations? In: *Research Policy* 337 (2008), S. 473-491.

**Schmidt 1996**

Schmidt, R.: *Marktorientierte Konzeptfindung für langlebige Gebrauchsgüter: Messung und QFD-gestützte Umsetzung von Kundenforderungen und Kundenurteilen*, Wiesbaden: Gabler 1996.

**Schmidt/Steffenhagen 2007**

Schmidt, R./Steffenhagen, H.: *Quality Function Deployment*. In: *Handbuch Produktmanagement*, Wiesbaden: Gabler, 2007, S. 699-715.

**Schmookler 1966**

Schmookler, J.: *Invention and Economic Growth*, Cambridge/Mass: Harvard University Press, 1966.

**Stokes 1997**

Stokes, D. E.: *Pasteur's Quadrant, Basic Science and Technological Innovation*, Washington/D.C.: Brookings Institution Press, 1997.

**Urban 1997**

Urban G. L. et al.: *Information Acceleration: Validation and Lessons from the Field*. In: *Journal of Marketing Research* 34 (1997), S. 143-153.

**Urban/Hauser 2004**

Urban, G. L./Hauser, J. R.: "Listening in" to Find and Explore New Combinations of Customer Needs. In: *Journal of Marketing* 68 (2004), S. 72-87.

**U.S. Department of Defense 1969**

U.S. Department of Defense: *Office of the Director of Defense Research and Engineering. Hrsg. Project Hindsight, Final report AD 495905*, Washington/DC 1969.

**Utterback 1994**

Utterback, J. M.: Mastering the Dynamics of Innovation, Boston: Harvard Business School Press, 1994.

**Weingart 1997**

Weingart, P.: From 'Finalization' to 'Mode 2': Old wine in new bottles? In: Social Science Information 36 (1997), S. 591-613.

**Wissenschaftsrat 1994**

Wissenschaftsrat: Prospektion der Forschung, Drucksache 1645/94, Köln, 1994.

**Wright 1994**

Wright, P. H.: Introduction to Engineering, New York: Wiley, 1994.



## > LEISTUNG UND GRENZEN DER VIRTUALITÄT BEIM WISSENSERWERB<sup>1</sup>

CHRISTOPH HUBIG

Sowohl in den Natur- und Sozialwissenschaften als auch in den Technikwissenschaften werden zunehmend Simulationen als Instrumente der Erkenntnisgewinnung eingesetzt. Komplexe Wechselwirkungen vom molekularen Bereich über Wirkungszusammenhänge in Zellen und Organen bis hin zum Prozessieren komplexer Systeme der Technik, von Geoformationen (z. B. mit Blick auf Endlagerungsoptionen radioaktiver Abfälle oder abgeschiedenen CO<sub>2</sub>'s), von Ökosystemen oder ökonomischen Systemen u.v.a. mehr lassen sich aus erkenntnistheoretischen und methodologischen Gründen, oft aber auch aus Kosten- und Zeitgründen nicht im Rahmen des klassischen Vorgehens als Abgleich von Theoriebildung und experimenteller Überprüfung erschließen. Wechselwirkungen zwischen solchen komplexen Systemen bis hin zur Mensch-System-Interaktion würden, sollten sie in herkömmlicher Weise erfasst werden, schnell zu ihrerseits hochkomplexen Theoriemonstern führen, flankiert von einem unübersehbaren Datenmaterial, das sich einer einfachen Strukturierung und Zuordnung versperrt. Computerbasierte Simulationen ermöglichen dabei nicht nur die Realisierung numerischer Verfahren zur Erzielung von Näherungslösungen in beschreibender Absicht, sondern auch und gerade das Testen des Verhaltens von Weltsegmenten unter bestimmten Interventionen und vermuteten Störungen, wobei der Simulationsaufwand sich auf diejenigen Bereiche bezieht, in denen maßgebliche Effekte erwartet werden, und für die sich die Investition eines entsprechenden Rechenaufwandes lohnt. Ebenso wichtig ist die rechnergestützte Visualisierung des Systemverhaltens, das aufgrund seiner Komplexität oftmals nicht mehr explizit buchstäblich oder numerisch darstellbar ist.

Im technischen Bereich sind in den Entwicklungsprozessen Simulationen nicht mehr wegzudenken; vom Rapid-Prototyping bis zur Prüfung von Tragwerkkonstruktionen, von Crash-Tests bis zur Simulation einer Produktionslinie werden die Eigenschaften der Artefakte simulationsbasiert erfasst. Auch die Folgen von Interventionen im Zuge des Probehandelns und des Bedienertrainings (z. B. im Flugsimulator) lassen sich in vielen Bereichen aus theoretischen und/oder pragmatischen (u.a. auch ökonomischen) Gründen nur noch simulationsbasiert testen.

Was manche, sei es euphorisch-optimistisch oder auch skeptisch-abgetönt als „Paradigmenwechsel“ in Wissenschaft und Technik erachten, bedarf, so evident dieser Paradigmenwechsel auf den ersten Blick erscheint, einer genaueren Betrachtung. Denn so

---

<sup>1</sup> Gregor Betz und Tillmann Pross danke ich für wertvolle Hinweise.

einfach, wie sich dieser Wechsel als Ablösung empirisch-experimentellen Testens von Theorien oder des Funktionierens von Apparaten durch simulationsbasierte Überprüfung darstellt, so unterbestimmt ist diese Charakterisierung. Denn seit die Naturwissenschaften mit Francis Bacon ihr Vorgehen als Intervention in die Natur verstehen, als „*vexatio naturae artis*“, „Verzerrung der Natur durch Technik“<sup>2</sup> oder, um es mit Werner Heisenberg zu formulieren: „Im Labor bleibt die Natur draußen“<sup>3</sup>, „simulieren“ wir in gewisser Weise Prozesse, weil diese bereits technisch induziert sind. Die Naturgesetze als Verhältnisbestimmungen zwischen Zustandsgrößen samt ihrer technischen Nutzung in geeigneten Apparaten liegen bereits in einem künstlichen Horizont, innerhalb dessen nur ausgewählte Parameter zur Geltung kommen. So sehen manche anstelle des erwähnten Paradigmenwechsels hier nur die Radikalisierung eines Prozesses der Simulation, wie er die neuzeitliche Wissenschaft insgesamt kennzeichne. Will man dieser Alles-oder-Nichts-These etwas entgegensetzen, müssen differenzierte Begrifflichkeiten in Anschlag gebracht werden.

## 1 VIRTUALITÄT IM WEITEN UND IM ENGEREN SINNE

Wenn wir unter „virtual“ im generellen Sinne „being in effect, but not in form or appearance“<sup>4</sup> oder „not physically existing as such but made [...] to appear do so [...] in essence or effect although no formally or actuality“<sup>5</sup> verstehen, dann findet in der Tat die gesamte Neuzeitliche Naturwissenschaft und Technik im Virtuellen statt. Denn sie geht mit Effekten um, die innerhalb technisch-experimenteller Systeme realisiert werden und orientiert sich nicht an ursprünglichen Gegebenheiten oder unmittelbaren Erscheinungen. So weit gefasst, führt jeder Einsatz von Technik zur Virtualisierung bzw. zur Vermittlung von Effekten über eine irgendwie gegebene oder angetroffene Realität hinaus. Wir zeitigen Effekte und gehen mit Effekten um, deren real appearance durch eine wie auch immer technisch geprägte virtual appearance ersetzt ist. (Nur so kommen wir über das Stadium bloßen Reagierens bzw. das Ausgeliefertsein an eine unmittelbar gegebene äußere Natur hinaus.)

Eine technisch-experimentelle Anordnung im Sinne von Francis Bacon erfüllt (und dies ist ihre Geltungsbedingung) die Kriterien eines Systems im Sinne der Kybernetik, wie sie Ross W. Ashby allgemein charakterisiert hat, als „ausgearbeitete Gegenaktion“, als „Blockierung des Flusses der Vielheit“ (von Störungen) zu den wesentlichen Variablen des Systems<sup>6</sup>. Der Wahrnehmung dieser Funktion dient die Regelung im weitesten Sinne – ein Begriff der Regelung, der sich von dem engeren Begriff der DIN-Norm unterscheidet. Im Rahmen dieses weiten Konzepts differenziert Ashby zwischen drei Strategien: 1. dem einfachen Konzept einer „statischen Verteidigung“, dem Containment als Abschot-

<sup>2</sup> Bacon 1963, S. 23.

<sup>3</sup> Heisenberg, zit. nach Schiemann 2006, S. 5.

<sup>4</sup> Fink & Wagnalls Standard Dictionary 1965, Bd. 2, S. 1404.

<sup>5</sup> Oxford Dictionary 2003, S. 824.

<sup>6</sup> Ashby 1974, S. 290.

tung von Störgrößen, 2. dem Konzept einer in den Systemen implementierten „Reaktion auf Bedrohung“ und 3. der „Regelung durch Abweichung“<sup>7</sup>. Die zweite der erwähnten Strategien besteht darin, dass eine Störgröße, die auf das System wirkt, zugleich auf einen Regler geleitet wird, der das System dahin gehend steuert, dass die Störung kompensiert wird, so dass sich das gewünschte Ergebnis einstellt bzw. einstellen kann. In der DIN 19226 wird diese von einem Regler vollzogene höherstufige Steuerung der Steuerungsprozesse im System als „Störgrößenaufschaltung“ bezeichnet<sup>8</sup>. Der Architektur des Reglers liegt zugrunde, dass ein Modell potenzieller Störungen gegeben ist, die durch eine entsprechende Sensorik erfasst werden und entsprechend der „Intelligenz“ des Reglers zu einer Einwirkung auf das System führen, die dieses gegenüber der Störung immunisiert. Die dritte Strategie der Regelung – im DIN-Sinne einzig als Regelung (i.e.S.) bezeichnet – besteht darin, dass die infolge der Störung gegebene Abweichung ihrerseits als Steuerungsimpuls genutzt wird, der eine entsprechende Kompensation der Abweichung bewirkt. Wir haben hier also eine (Rück-)Kopplung zwischen zwei Steuerungsprozessen zu einem geschlossenen Wirkungsablauf. Durch solche Regelungen wird das Steuern als Realisierung eines Outputs – eruiert bzw. prognostiziert in den Naturwissenschaften, spezifisch intendiert in der Technik – durch einen entsprechenden Input in seinem Gelingen überhaupt erst möglich, wie Ashby betont.

Wir finden hier die Grundstruktur eines Vorgehens, die erklärt, warum solchermaßen gewonnene naturwissenschaftliche Erkenntnis eine notwendige (nicht aber hinreichende) Bedingung für eine technische „Anwendung“ abgibt: Störungsfrei eruierte Input-Output-Beziehungen, die entsprechend wiederholbar, antizipierbar, prognostizierbar, planbar sind, machen auch und gerade das Wesen der Technik aus, die auf Sicherung, Wiederholbarkeit, Planbarkeit des Mitteleinsatzes abzielt. Jene technische Verfasstheit naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung erlaubt gerade die technische Nutzung dieser Erkenntnisse. Bei durchaus unterschiedlicher Interessenlage, nämlich der Eruiierung regelmäßiger Input-Output-Beziehungen seitens der Naturwissenschaften und der Nutzung entsprechender Beziehungen als wiederholbar und deshalb planbar, haben beide hier ihr gemeinsames Fundament. Deshalb kann – je nach Interessenlage – Naturwissenschaft auch als angewandte Technik und umgekehrt begriffen werden.

Wenn nun ein Weltsegment auf diese Weise technisch gesichert ist, können die isolierten Parameter in ihren Kausalbeziehungen in einem Modell repräsentiert werden, welches als Modell von diesem Weltsegment erscheint. Ferner werden Daten produziert, die den Zustand der Parameter beschreiben und die Auslöse- und Bindungsbedingungen abgeben für das Wirksamwerden der im repräsentierenden Modell erfassten Kausalverhältnisse. Mit Blick auf diese Konstellation kann man nun in einem weiten

<sup>7</sup> Ebd.

<sup>8</sup> DIN 19226, T. 4,5.

Sinne die gesamte „Kulturtendenz“ als diejenige einer immer zunehmenden Virtualisierung erachten, da immer komplexere technische Mittel „zwischengeschoben“ werden zwischen die äußere Realität und unseren Umgang mit dieser Realität, die uns nur als in Modellen repräsentierte und durch Daten beschriebene gegeben ist – „Kausalisierung auf der Basis von Idealisierung“<sup>9</sup>. Wir kommen dann sehr schnell zu einer Alles-oder-Nichts-These im Sinne von „Alles ist Virtualisierung“ bzw. „Alles ist Simulation“.

Es erscheint nun (allzu) einfach, Simulation und Virtualisierung im i.e.S. hiervon abzugrenzen, indem man darauf abhebt, dass die Repräsentation eines Weltsegmentes in einem Modell und das Wirksamwerden der datengestützten Auslöse- und Bindungsbedingungen im Rahmen geeigneter Software realisiert und die gezeitigten Simulationsergebnisse mithin als „virtual reality“ i.e.S. erachtet werden. Auf der Basis von angenommenen Parametern, Kausalmodellen und Daten(mengen) werden mit Hilfe bestimmter Software numerische Lösungen produziert, die differenzierte Einblicke in die Verfasstheit dieses Weltsegments und den von ihr induzierten Wirkungen gewähren. Freilich werden bereits bei der Formulierung und Verifikation des Modells Simulationen des Systemgeschehens eingesetzt, um Auskunft über die Relevanz zu berücksichtigender Parameter zu erhalten, etwa dahin gehend, dass nur diejenigen zu berücksichtigen sind, deren Änderung das Systemverhalten ändert. Ferner findet die Kalibrierung und Validierung der Modelle ebenfalls bereits im Feld des Simulierens selbst statt, wenn getestet wird, unter welcher Kalibrierung und mit welcher Berücksichtigung welcher Datenmengen überhaupt signifikante Effekte auftreten, an denen wir interessiert sind. Solche Simulationsergebnisse sind natürlich keine hinreichenden Bedingungen für die Verifikation und Validierung von Modellen, sie legen jedoch den Rahmen fest, innerhalb dessen experimentell gewonnene Effekte, Sensordaten (fusioniert unter entsprechenden Strategien) eingespeist werden können. Die Abhängigkeit der Modellierung und Simulation von Prozessen vom Simulieren selbst bei ihrer Verifikation und Validierung wird besonders ersichtlich, wenn wir uns die drei Strategien der Sicherung/Regelung i.w.S. im Bereich klassisch experimenteller Praxis in Erinnerung rufen: Experimente im Bereich der Simulation erfordern, dass die Störgrößenaufschaltung ihrerseits simuliert wird. Das Modell der Störgröße, der gegenüber das experimentelle Modell immunisiert werden soll, muss seinerseits den Kriterien der Simulation genügen. Entsprechend schwierig wird es, einen auftretenden Widerstreit realer Effekte auf die in der Simulation vorgesehenen Ursachen im Simulationsgeschehen selbst zurückzuführen (dazu Weiteres unten). Jedenfalls scheint der Versuch, Virtualisierung in einem spezifischen Sinne einzig dadurch zu charakterisieren, dass die Repräsentation rechnergestützt erfolgt, noch allzu unterbestimmt. Daher soll eine erneute Annäherung an die Problemlage unter einer differenzierteren Begrifflichkeit erfolgen.

---

<sup>9</sup> Husserl 1960, S. 184, 334, 449.

## 2 VIRTUELLE REALITÄT UND VIRTUELLE WIRKLICHKEITEN

Üblicherweise unterscheidet man zwischen Realität und virtueller Realität (VR). Diese Unterscheidung ist unterkomplex, wie wir sehen werden, und zwar dann, wenn wir die gegebene Welt als Welt begreifen wollen, die einen allgemeinen Horizont möglicher Interventionen durch die Subjekte abgibt und als ein solcher Horizont, wie wir gesehen haben, selbst nicht anschaulich gegeben, sondern Ergebnis einer Rekonstruktion ist. Wie verhalten sich „Realität“ bzw. „virtuelle Realität“ zu dieser unterstellten Wirklichkeit (von Georg Wilhelm Friedrich Hegel adäquat bestimmt als „Wirken-Können“)? Die Unterscheidung greift nicht recht, wenn wir, wie in zahlreichen philosophischen Ansätzen, „Realität“ und „Wirklichkeit“ äquivok verwenden. Schauen wir daher auf diejenigen Argumentationslinien, die zwischen Realität und Wirklichkeit unterscheiden. „Realität“ umfasst dort die als bestehend begriffenen Sachverhalte, also identifizierte Gegebenheiten einschließlich von behaupteten aktiven und passiven Möglichkeiten, Naturgesetzen als Beziehungen zwischen Zustandsgrößen, desgleichen logische Ordnungen von Ideen etc. Descartes bezeichnet dieses Feld von als gültig erachteten Vorstellungen als „*realitas objectiva*“ im Unterschied von der „*realitas actualis*“ als gegebenem Wirkungsgefüge.<sup>10</sup> Die scholastische *actualitas* (im Unterschied zur *realitas*) hatte Meister Eckhart mit „Wirklichkeit“ übersetzt. Wir können nun zunächst – rein formal – Virtualisierung auf Realität und/oder auf Wirklichkeit beziehen und zwischen virtueller Realität (VR) und virtueller Wirklichkeit/virtual actuality (VA) unterscheiden. Die zahlreichen Definitionen von Virtualität bzw. Virtualisierung heben darauf ab, dass in einer virtuellen Welt Repräsentationen und Effekte gezeitigt werden, die informationstechnisch induziert sind und keine als gegeben unterstellte, sondern eine informationstechnisch hergestellte raumzeitliche kausale Basis haben (nicht: keine Referenzbasis, wie Jean Baudrillard meint)<sup>11</sup>.

Virtual realities – so unsere Unterscheidung im EXC 310 „Simulation Technology“ und im SFB 627 „Nexus“ – wären dann im weitesten Sinne Simulationen (abhängig von den berücksichtigten Parametern, Kausalmodellen und hochgerechneten Datenmengen) ohne direkten Bezug auf eine IT-abstinente Basis (was heißt aber direkt? Siehe dazu unten), z. B. Simulationen zur Klimaentwicklung. Virtuelle Wirklichkeiten wären informationstechnisch induzierte Effekte ohne einen solchen direkten Bezug, z. B. beim Flugsimulator oder bestimmten Angeboten des so genannten Cyber-Sex. Die Grenzen sind in zweierlei Hinsicht fließend und bedürfen einer genaueren Analyse: Zum einen spricht man von „mixed realities“ und „augmented realities“ und meint damit, dass unsere raumzeitliche Handlungsumgebung angereichert, ergänzt und teilweise ersetzt wird durch virtual realities und virtual actualities. Die Beispiele reichen von Navigationssystemen, Assistenzsystemen weiterer Art bis zur virtuellen Kleiderprobe in simulierten Umgebungen oder den Cyber-Brillen für Reparaturteams, die beim Anblick von Artefakten deren Baupläne

<sup>10</sup> Vgl. zur Begriffsgeschichte meine Vorlesung „Realität, Virtualität, Wirklichkeit“, <http://www.uni-stuttgart.de/philo/index.php?id=350>.

<sup>11</sup> Baudrillard 1994, S. 153-162.

in die Brille einspielen, samt ggf. sensorisch registrierten Störquellen, Ausfallpunkten, Füllständen etc. Zum anderen finden wir in den virtuellen Wirklichkeiten (als Teil- oder Ganzwelten z. B. im „second life“) unterschiedliche Anteile an Simulationsbasiertheit der gezeitigten Effekte. Ein Flugsimulator zeitigt Effekte (Angst oder Überraschung in der probenhandelnden Interaktion) auf der Basis von Simulationen der Fluggeräte, Flugsituationen, Wettereinflüsse, Flughäfen etc. Die Interaktion mit einer völlig artifiziellen Person oder einer frei konstruierten Gemengelage von Handlungsvollzügen ist eine Virtualität, die kaum noch etwas Externes simuliert, sondern die konstitutiv ist, sowohl für mögliche Simulationen als auch für mögliche authentische Vollzüge in Echtzeit („second life“). Die Unterscheidung VR/VA ist also idealtypisch.

Man erkennt den Unterschied auch an der unterschiedlichen Art der Fraglichkeit. Bei der Konfrontation mit konkurrierenden virtual realities fragen wir nach der Wahrheit der Erwartbarkeit von Wirkungen: „Was ist/wird wirklich?“ Bei virtual actualities fragen wir nach der Wahrheit der Realitätsgrundlage/Realitätsbasis, so wie bei Träumen, die ja reale Wirkungen zeitigen, die aber dann abqualifiziert werden mit „Es war ja nur ein Traum“, analog zur Rührung beim Umgang mit Fiktionen als Texten i.w.S. „Es ist ja nur ein Film, eine Oper etc.“. Gerade diese Beispiele zeigen aber auch, dass die klassischen Virtualitätsdefinitionen, die auf die Absenz einer äußeren physikalischen Induktionsbasis insistieren, nur objektstufig greifen: Denn Träume, Fiktionen und Simulationen haben ihrerseits eine kausal prozessierende Realitätsbasis, die Messungen, Erklärungen und Deutungen der Wirkungen erlaubt, von den medialen Eigenschaften der materialen Zeichenträger bis zu physikalischen Prozessen der Informationsverknüpfung, -verarbeitung und -übertragung. Das Fehlen eines direkten Bezugs zur physikalischen und praxisabhängig gedeuteten Umwelt wird ersetzt durch informationstechnische Induzierung einer solchen Handlungsumwelt unter bestimmten als relevant erachteten Parametern, als gültig erachteten Kausalmodellen ihrer Verknüpfung sowie Datenmengen, die die Variablen instantiiieren und durch Sensordatenfusion und/oder über Hochrechnungen oder Schätzungen gewonnen werden. Das von Paul Milgram und Fumio Kishino systematisierte Virtualitätsspektrum der mixed realities<sup>12</sup> ist graduiert nach Anteilen von Realität/Wirklichkeit/virtueller Realität/virtueller Wirklichkeit aneinander oder ineinander. So lassen sich VR's konstruieren, die Implementierungen von R aufweisen oder filmischer Wiedergabe von R, es lassen sich VA's konstruieren, die solche Elemente aufweisen und insbesondere für Tests und Probenhandeln eingesetzt werden, und es finden sich VR's und VA's ohne jeden Bezug zu einer Außenwelt, die nach eigenen Gesetzen prozessieren, die auf willkürlicher Setzung basieren oder deren „evolutionäre“ Herausbildung nur noch Gegenstand der Beobachtung ist.

Auf der Basis dieser begrifflichen Differenzierung sind nochmals die beiden unterschiedlichen Fragestellungen bzw. Problemlagen festzuhalten: Die Problematik der virtuell realities angesichts konkurrierender Simulationen lautet: Welche Wirkungen

---

<sup>12</sup> Milgram/Kishino 1984.

werden gezeitigt? Welche Steuerungs- und Regelungsprobleme entstehen beim Übergang von der Simulationsarchitektur in die Wirklichkeit? Die Frage der Anwendung ist also die Frage nach der Wirklichkeit. Demgegenüber ist die Problematik der virtual actualities angesichts einer intransparenten Genese solcher actualities gegeben: Ist die Realitätsmodellierung adäquat, „stimmt“ die Wissensbasis? Sind die Erfahrungen des Probehandelns und der Trainingseffekte „realistisch“? Wir haben also hier die Frage nach der Realität, auf die die virtual actualities bezogen sind.

### 3 VIRTUALISIERUNG DES WISSENSERWERBS

Wenden wir uns nun nochmals zurück auf die bislang noch unterbestimmten Unterscheidungen zwischen klassisch-experimenteller Praxis und simulationsbasierter Wissensakquisition. Mit Hilfe der Unterscheidung zwischen Wirklichkeit und Realität können wir jetzt das unterschiedliche Prozedere schärfer fassen:

Die klassische Naturwissenschaft und die mit ihr verbundene Technik geht von einem Weltsegment als Objekt der Wirklichkeit aus. Bestimmte beobachtete Wirkungen sollen bezüglich der Grundlagen ihres „Wirken-Könnens“ genauer untersucht werden, genauer: auf der Basis einer bestimmten Selektion werden Anforderungen erhoben bezüglich bestimmter interessanter Eigenschaften, deren Zusammenhang besser verstanden werden soll. Hierbei soll auf der Basis experimenteller technischer Anordnungen eruiert werden, was der Fall ist, was als real angenommen werden kann.

Zu diesem Zweck werden in unterschiedlicher Weise Modelle eingesetzt: Zum einen gilt die experimentell-technische Anordnung als Modellobjekt, als Instantiierung der Sachlage im raum-zeitlichen Feld. Diese Redeweise von Modell, nachfolgend „Modell (1)“, entspricht derjenigen im umgangssprachlichen Bereich, aber auch und gerade der in den Naturwissenschaften und der Mathematik verwendeten Redeweise vom Modell als Exempel, Instantiierung, Probe (so sind z. B. die natürlichen Zahlen ein „Modell“ der Peanoaxiome). Daneben hebt der Sprachgebrauch für „Modell“ aber auch auf den Repräsentationscharakter des Modells im Sinne einer schematischen, idealisierten Darstellung ab (so ist ein Stadtplan ein Modell einer Stadt oder eine stilisierte Darstellung ein Struktur- oder Verlaufs„modell“ einer realen Konstellation oder eines realen Prozesses). Solche „Modelle (2)“ stehen im Abgleich zu den Modellen (1); dieser Abgleich findet unter pragmatischen Gesichtspunkten statt. Modelle dieser Art sind Modelle der Realität als Modelle von einer zu erfassenden Wirklichkeit. Unter der Beobachtung der Effekte jener Modelle (1) und ihrer Repräsentation in Modellen (2) werden nun ihrerseits neue Selektionen und Anforderungen zur Untersuchung weiterer Eigenschaften erhoben, die relevant erscheinen für einen Einsatz, eine Nutzung, eine Anwendung jener Modelle (1) und (2) für eine zu konstruierende bzw. zu gestaltende Wirklichkeit als technisches Objekt. Im Zuge der technischen Anwendung werden also Modelle von ... zu Modellen für ... Sie werden dabei angereichert durch zusätzliche erwünschte Eigenschaften oder

purifiziert durch eine möglichst weite Ausklammerung unerwünschter Eigenschaften, die allenfalls als zu minimierende Nebenfolgen noch in Kauf genommen werden, vorausgesetzt, sie sind überhaupt repräsentierbar. Auf dem Wege von der unbearbeiteten Wirklichkeit zur wissenschaftlich erfassten Realität haben wir also eine Simulation i.w.S. von ... und im Übergang von der wissenschaftlich-technisch erfassten Realität zur technischen Nutzung und Gestaltung haben wir eine Simulation i.w.S. für ..., die eingesetzt wird, um die Planungsprozesse zu orientieren. Das ist nun das weite Konzept der Simulation in etwas detaillierter Sicht.

Welchen Herausforderungen die Modellierung sich stellen muss, erkennt man daran, dass unsere Forderungen an die zu repräsentierenden Naturgesetze, nämlich (1) wahr, (2) strikt und (3) empirisch gehaltvoll zu sein, nicht in Gänze erfüllbar sind. Sollen Naturgesetze wahr sein und strikt gelten, führt die notwendige Idealisierung dazu, dass die Forderung nach empirischem Gehalt relativiert werden muss, da die Wirklichkeit niemals störungsfrei prozessiert – „Modellplatonismus“. Sollen Naturgesetze wahr und empirisch gehaltvoll sein, muss die Forderung nach Striktheit relativiert werden; Theorien erheben dann Geltungsanspruch lediglich unter *ceteris paribus*-Bedingungen. Wird schließlich die Forderung nach Striktheit und empirischem Gehalt beibehalten, muss der Wahrheitsanspruch im Darstellungsinne relativiert werden: Entsprechende instrumentalistische oder pragmatistische Theorien heben dann einzig darauf ab, dass im Rahmen einer technischen Anordnung empirische Regelmäßigkeiten zu beobachten sind, deren regelmäßige Zielführung auf die intendierten Effekte hin das einzige „Wahrheits“kriterium ist.

In simulationsbasierter Naturwissenschaft und Technik wird nun das Modell (1) ersetzt durch eine Simulation i.e.S. als virtueller Realität, deren Verifikation und Validierung ebenfalls simulationstechnisch „kontaminiert“ ist, und das als Abgleichinstanz zu einem Modell (2) eingesetzt wird. Dieses Modell (2) als Schema, Struktur- oder Prozessrepräsentation in idealisierter Form wird aber selbst oftmals nur über simulationsbasierte Visualisierung überhaupt zugänglich. Diese simulierte Realität gilt als Simulation von ..., deren Effekte nun mit Blick auf eine technische Anwendung selber beobachtet werden (im Rahmen simulationsbasierter Visualisierung) unter bestimmten Anforderungen, auf deren Basis nun ein technisches Objekt, ein Apparat, eine Anlage als virtuelle Wirklichkeit konstruiert wird. Das Simulationsmodell ist also ein Modell für eine virtuelle Wirklichkeit z. B. einen Flugsimulator, eine sich unter Wind- und Wasserdruck bewegende Brückenkonstruktion, einen Crash-Test etc. Diese gelten aber nun ihrerseits als Modelle für die „wirkliche“ Wirklichkeit bzw. (s. o. die *mixed realities*) werden direkt als eine solche wirkliche Wirklichkeit erachtet.

So erfolgreich diese Strategie rechnergestützter Simulation in verschiedenster Hinsicht ist, sollte doch nicht unterschlagen werden, dass sich unsere klassischen Vorstellungen von Wissen, welches akquiriert wird, unter der Hand ändern: „Klassisch“ versteht man unter Wissen wahre, begründete Überzeugungen, wobei die Begründungen die Wahrheit garantieren sollen. Der klassische Wissensskeptizismus setzte daran an, dass auch die wahrheitsgarantierenden Gründe in Frage gestellt werden können und müssen, wodurch wir in einem unlösbaren Begründungsregress gerieten. Diesen Begründungsregress zu limitieren, ist das Anliegen der klassischen Alternativen zum Skeptizismus seitens der „Kontextualisten“, die die „Einbettung“ in einen jeweiligen Wissenskontext zur Instanz des Ausschlusses bestimmter Infragestellungen seitens der Skeptizisten machen, ferner der „Lebensformtheoretiker“, die auf gemeinsam geteilte Wertungen der Wahrheitsgaranten qua Einübung in tradierte erfolgreiche Praxen verweisen, und schließlich der Pragmatisten, die die Begründung von Wissen auf eine selbstbewusste Disposition, etwas zu können, also auf das Vorliegen von Kompetenzen, zurückführen.<sup>13</sup> Wenn wir nun von virtualitäts- oder simulationsbasierten Wissenskonzepten zu sprechen haben, ist zunächst darauf zu verweisen, dass ein solches Wissen gefasst werden muss als wahre simulationsbasierte Überzeugung, wobei die Simulationsbasierung den Wahrheitsgaranten abgeben soll. Der Skeptizist wird gleich darauf verweisen, dass die Begründung für die Parameterauswahl, die eingesetzten Kausalmodelle und die Validität der Datenmengen ihrerseits in Frage gestellt werden kann, also auf den geläufigen Begründungsregress. Da die Kontexte ihrerseits simuliert werden, hätten die klassischen Kontextualisten hier nichts entgegenzusetzen. Die Lebensformtheoretiker wären darauf verwiesen, dass die Validität der Simulation von Expertenpanels beurteilt wird, die jedoch schwerlich auf Traditionen einzuübender erfolgreicher Simulationspraxis verweisen können, da sich die Validität der virtuell realities erst in der Zukunft zeigt (Beispiel Klimasimulationen). Die Pragmatisten müssen ihre Rechtfertigungen auf diejenigen Felder beschränken, in denen bereits simulationsbasierte Handlungserfolge zu verzeichnen sind, z. B. Trainingseffekte oder gelungene Eingriffe in reale Systeme, einschließlich der Präventionen. Bei steigender Globalität von Simulationen, z. B. wenn es darum geht, „Weltmodelle“ oder Modelle von Organismen zu entwickeln, greifen die Alternativen zum Skeptizismus zunehmend weniger, und die Debatten fokussieren sich auf die Unsicherheiten, die man sich bei simulationsbasierter Wissensakquisition einhandelt.

Aus einem anderen Blickwinkel wird eine solche Unsicherheitshypothek (die keineswegs als Killerargument einsetzbar ist) auch ersichtlich, wenn man klassische Gedankenexperimente mit Simulationen vergleicht. Gedankenexperimente beziehen sich auf mögliche Welten, die zur wirklichen Welt in einer „Erreichbarkeitsrelation“ stehen.<sup>14</sup> Gedankenexperimente sind charakterisiert durch das Fortlassen störender Eigenschaften, die gedankliche Variation von Eigenschaften und/oder die Idealisierung von

<sup>13</sup> Vgl. hierzu die übersichtliche Darstellung bei Kern 2006 und Kern 2007.

<sup>14</sup> Rehder 1980, S. 121 f.

Eigenschaften (ein Beispiel wäre die ideale Wärmemaschine, der Carnot-Prozess)<sup>15</sup>. Im Unterschied hierzu modellieren Simulationen virtuelle Realität und erzeugen virtuelle Wirklichkeiten durch Integration möglichst vieler Eigenschaften, durch Variation von Eigenschaften als Relevanztests oder beim Probedandeln sowie eine probeweise Idealisierung von Eigenschaften bei degradierter Information oder zu komplex werdenden Berechnungsverfahren (durch entsprechende Skalierung und Kalibrierung). Die „Erreichbarkeitsrelation“ kann dann nur noch unterstellt oder durch eine entsprechende technische Überformung der äußeren Welt hergestellt werden (in diese Richtung gehen die Utopien von einem künstlich geregelten Weltklima, die hin und wieder tatsächlich vertreten werden).

#### 4 UNSICHERHEIT SIMULATIONSBASIERTER WISSENSAKQUISITION

Simulationen können in dreierlei Weise imperfekt sein: Auf einer ersten Ebene können strukturell imperfekte Simulationen zu Missrepräsentationen führen. Diese können entweder quantitativer Art (bei den Klimasimulationen z. B. bezüglich des Temperaturanstiegs) oder qualitativer Art sein, indem bestimmte Phänomene nicht verstanden bzw. (noch) nicht adäquat parametrisiert sind (bei den Klimasimulationen z. B. die Wolkenbildung in ihren Konsequenzen). Auf einer zweiten Ebene können Simulationen beobachtungsmäßig imperfekt sein, und zwar dann, wenn wir nur über unscharfe, unvollständige oder falsche Daten verfügen. Auf einer dritten Ebene können Simulationen komputational imperfekt sein, u.a. dann, wenn Approximationen zu Fehlern und zur Fehlerfortpflanzung führen.

Generell unterscheidet man, der klassischen Einteilung von Frank H. Knight<sup>16</sup> folgend, Sicherheit, Risiko, Chance und Unsicherheit. Sicherheit ist gegeben, wenn definitive Statements über dasjenige, was ist oder der Fall sein wird, vorliegen, z. B. im Kontext deterministischer Prognosen. Ein solcher Anspruch kann jedoch leicht zurückgewiesen werden mit Blick auf die untereinander konkurrierenden Simulationsergebnisse auf der Basis konfligierender Modellierungen. Unter Risiko/Chance verstehen wir probabilistische Behauptungen über dasjenige, was gegeben ist oder der Fall sein wird als wahrscheinlicher Nutzen oder Schaden, wobei aber höherstufig die Wahrscheinlichkeit des Zutreffens der zugrunde liegenden Modellierungen selbst zu thematisieren wäre, wie es z. B. im Rahmen der Statements der IPCC-Klimadiskussion geschieht. Unsicherheit im strengen Sinne besteht dann, wenn nicht die Probabilität, sondern die Possibilität in Feststellungen über dasjenige, was der Fall ist oder der Fall sein wird, behauptet wird, wir also mit Szenarien umgehen, deren Validität zur Diskussion steht. Von den Wortfüh-

<sup>15</sup> Mach 1920, S. 188 ff., 192.

<sup>16</sup> Knight 1921, S. 233.

ren der Diskussion zum Thema Unsicherheit wird unsere Drei-Ebenen-Unterscheidung in verschiedenen Varianten durchgehalten: Funtowicz/Ravetz unterscheiden zwischen messtechnisch bestimmten Unsicherheiten, epistemischen Unsicherheiten bezüglich der Modelle und Theorien sowie methodologischen Unsicherheiten bezüglich der Berechnungsverfahren<sup>17</sup>; der IPCC unterscheidet zwischen Problemen mit Daten, Problemen mit Modellen sowie unangemessenen räumlichen und zeitlichen Einheiten für die Berechnungsverfahren, ferner und zusätzlich Unsicherheiten bezüglich der Projektionen menschlichen Verhaltens in und zu den Sachlagen<sup>18</sup>; van Asselt verweist bezüglich der Datenlage auf Unexaktheit, Datenlücken und (noch) nicht messbare Größen, ferner auf „strukturelle“ Unsicherheiten mit Blick auf konfigrierende Modellierungen, Unwissen über unser Unwissen sowie objektive Unbestimmtheit<sup>19</sup>; Schröder/Claussen strukturieren das Unsicherheitsfeld bezüglich der Modellstrukturen und der Modellvollständigkeit, der Modellgrößen, des komputationalen Modellbetriebs sowie der Abgrenzung der Modelle in den systemischen Zusammenhängen<sup>20</sup>.

Wie man es auch fasst, die theoretischen Möglichkeiten zum Abbau der Unsicherheit sind begrenzt: Über Kohärenz- und Konsistenztests kann man immanent die Parameterauswahl und die Modellierung verbessern; die beobachtungsmäßige Imperfektion, die Degradierung der Daten kann kompensiert werden, indem man die Datenqualität ihrerseits metrisiert und insbesondere in den Visualisierungen der Simulationsergebnisse zum Ausdruck bringt, also Transparenz herstellt. Die komputationale Imperfektion wird durch eine ständige Verbesserung der Algorithmen weiter gemindert.

Eric Winsberg wies darauf hin, dass ein Simulationsmodell durch ein Konstruktionsverfahren, mit dem es gewonnen wurde, gerechtfertigt ist, wenn sich dieses Verfahren in der Vergangenheit bewährt hat, d. h. empirisch adäquate Simulationsmodelle geliefert hat<sup>21</sup>. Sein Beispiel ist die Strömungslehre, in der die kontrafaktische Annahme, dass sich die Viskosität des Mediums in der Umgebung einer sich mit Überschallgeschwindigkeit ausbreitenden Schockwelle extrem erhöhe („artificial viscosity“, vgl. Caramana<sup>22</sup>), zur Konstruktion von Simulationsmodellen seit über 50 Jahren erfolgreich verwendet wurde. Dadurch, dass sich die Konstruktionsmethode bewährt hat, seien Modelle, die anhand dieser Methode gewonnen wurden, eo ipso gerechtfertigt. Das Konstruktionsverfahren wird zu einem unabhängigen Erfolgsgaranten von Simulationsmodellen. Ähnliche Verfahren haben sich im medizinischen Bereich, z. B. bei der Simulation der Leistungsfähigkeit bestimmter Verfahren der Nierensteinertrümmerung als bewährt erwiesen, wenn z. B. Gewebeeigenschaften als diejenigen von Wasser mit einem bestimmten Dämpfungsfaktor modelliert werden. Die forscherguppenübergreifende Aufgabe liegt dann

<sup>17</sup> Funtowicz/Ravetz 1993.

<sup>18</sup> IPCC 2001, Bd. 2, S. 127.

<sup>19</sup> van Asselt 2000, S. 89 f.

<sup>20</sup> Schröder/Claussen 2002, S. 310.

<sup>21</sup> Winsberg 2006, S. 1-19.

<sup>22</sup> Caramana 1998.

darin, bewährte Simulationskonstruktionsverfahren zu identifizieren. Freilich gerät man, gerade wenn es um Neuland geht, hier schnell an die Grenzen. Ein typisches Beispiel ist die maschinelle Sprachsynthese, deren Modellierung ein vereinfachtes Modell auf der Basis von 48 Parametern zugrunde liegt. Die Suche nach den relevanten Parametern für ein synthetisches Sprechen, welches dem natürlichen Sprechen nahe kommt, scheitert bislang daran, dass eine hohe Zahl der 48 Parameter des Klatt-Synthesizers gekoppelt ist, so dass die Tests sehr aufwändig sind und sich über Jahre hinziehen. Der Suchraum für die entsprechenden Inputs ist höchstdimensional: Für eine Sekunde natürlicher Sprache ergeben sich – dem Sampling und der Diskretisierung entsprechend – 10100 Möglichkeiten.<sup>23</sup> Analog verhält sich die Problemlage in hoch komplexen Simulationen etwa zum Klimawandel, zur Emission von Nanopartikeln etc.

Angesichts einer solchen Problematik der Unsicherheit sollten praktische Erwägungen das Simulationsgeschehen leiten, und zwar solche, die die Kosten eines simulationsbasierten Irrtums gegenüber entsprechenden Alternativen abwägen. Dies betrifft insbesondere die Kosten sogenannter „induktiver“ Simulationen, die die Möglichkeit einer „storyline“, einer bestimmten Entwicklung als kalkulierbar behaupten, gegenüber den Kosten einer sogenannten „kreativen“ Simulation, die bestimmte Möglichkeiten (auf dem Hintergrund unseres bisherigen Wissens) nicht ausschließt. Dabei sind die jeweiligen ökonomischen und moralischen Kosten falsch positiver Befunde (z. B. der Behauptung oder dem Nichtausschluss von Schäden, die nicht eintreten) oder falsch negativer Befunde (z. B. dem Übersehen von Schäden oder dem Ausschluss von Schäden, die dennoch auftreten), zu berücksichtigen. In zweifacher Kreuzklassifikation wären unter der Unterscheidung zwischen induktiver und kreativer Simulation die jeweiligen falsch positiven und die jeweiligen falsch negativen Befunde auf hohe Irrtumskosten bzw. niedrige Irrtumskosten zu untersuchen und dann eine entsprechende Favorisierung einer Simulationsstrategie vorzunehmen<sup>24</sup>.

Die Virtualisierung des Wissenserwerbs in Wissenschaft und Technik eröffnet beeindruckende und vielversprechende Optionen für Theoriebildung, Anwendung und Entwicklungsprozesse. Ohne ihre Leistungen wären die wissenschaftlichen Fortschritte und die Gestaltung unserer komplexen technischen Systeme nicht realisierbar. Freilich sollte man die Grenzen der Virtualisierung des Wissenserwerbs im Auge behalten: theoretisch nicht abbaubare Unsicherheiten, die nicht vorschnell als Risiken zu erachten sind, und über die nur unter praktischen Gesichtspunkten entschieden werden kann. Die verhängnisvolle Hoffnung, Unsicherheit als Possibilität auf Probabilität reduzieren zu können, also Unsicherheit auf Risiken „herunterzurechnen“, entspricht zwar der Mentalität des optimistischen Technikers, widerspricht aber dem Ethos des Naturwissenschaftlers, der jederzeit bereit sein muss, seine Theoriekonstruktionen aufzugeben. Die enge Verzah-

<sup>23</sup> Dutoit 2001 (s. auch den Bericht von Tales Imbiriba vom LaPS der UFPA Brasilien und Edward Brucker von der Fonix Corporation auf dem 4th Workshop in Information and Human Language Technology 2006, die Hoffnung in evolutionären Algorithmen setzen).

<sup>24</sup> Vgl. hierzu die Arbeiten von Gregor Betz im Rahmen des EXC 310 „Simtech“.

nung von Wissenschaft und Technik, die in der systemischen Anlage experimentell-empirischen Vorgehens klassischer Prägung und seiner Transformation in simulationsbasiertes Experimentieren gegeben ist, verbietet, die beiden Haltungen voneinander zu separieren. Wissenschaftlicher Skeptizismus sollte den Gestaltungsoptimismus der Technikwissenschaften relativieren. Gleichwohl sollten Technikwissenschaften bezüglich ihrer Domäne darauf beharren, dass ein theoretischer Skeptizismus durch pragmatisch legitimierte Entscheidungen aufgefangen werden kann, sofern diese sich offen mit Unsicherheit auseinandersetzen und die Kosten möglicher Irrtümer in Rechnung ziehen. Diese Kosten betreffen neben Realwertverlusten insbesondere und gerade den Verlust von sogenannten Optionswerten, unter denen wir den Erhalt weiteren Entscheiden-, Wählen-, Handelnkönnens erfassen, also den Erhalt der Möglichkeit, flexibel und situationsadäquat in Zukunft, entsprechend möglicherweise veränderten Interessenlagen, unter möglichst geringen „Sachzwängen“, Amortisationslasten und Verzichtsoptionen weiter handeln zu können. Dies ist Thema einer „provisorischen Moral“ für die Technik, deren pragmatische Strategien ich andernorts skizziert habe<sup>25</sup>.

## LITERATUR

### Ashby 1974

Ashby, R. W.: Einführung in die Kybernetik, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1974.

### van Asselt 2000

van Asselt, M. B. A.: Perspectives on Uncertainty and Risk. The PRIMA Approach to Decision Support, Boston/Dordrecht/London: Kluwer/Springer, 2000.

### Bacon 1963

Bacon, F.: *Distributio operis*. In: *The Works of Francis Bacon*, herausgegeben von Spelding, J., IV, Nachdr. Stuttgart: Frommann-Holzboog, 1983.

### Baudrillard 1994

Baudrillard, J.: *Die Simulation*. In: Welsch, W. (Hrsg.): *Wege aus der Moderne. Schlüsseltexte der Postmoderne – Diskussion*, Berlin: Akademie-Verlag, 1994, S. 153-162.

### Caramana 1998

Caramana, E. et al: *Formulations of Artificial Viscosity for Multi-Dimensional Shock Wave Computations*. In: *Journal of Computational Physics* 144 (1998), S. 70-97.

---

<sup>25</sup> Vgl. Hubig 2007.

**Dutoit 2001**

Dutoit, H.: An Introduction to Text-to-Speech Synthesis, Bosten/Dordrecht/London: Kluwer, 2001.

**Fink & Wagnalls Standard Dictionary 1965**

Fink & Wagnalls Standard Dictionary, Int. Edition, 2. Bd., New York: Fink & Wagnalls, 1965.

**Funtowicz/Ravetz 1993**

Funtowicz, S. O./Ravetz, J. R.: The Emergence of Post-normal Science. In: Schomberg, R. v. (Hrsg.): Science, Politics and Morality, Boston/Dordrecht/London: Kluwer, 1993, S. 85-123.

**Hubig 2007**

Hubig, C.: Die Kunst des Möglichen II. Ethik der Technik als provisorische Moral, Bielefeld: Transcript, 2007.

**Husserl 1960**

Husserl, E.: Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendente Phänomenologie (Ges. Werke VI), herausgegeben von Biemel, W., Den Haag: Marius Nijhoff, 1960.

**IPCC 2001**

IPCC: Third Assessment Report, Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

**Kern 2006**

Kern, A.: Quellen des Wissens. Zum Begriff vernünftiger Erkenntnisfähigkeiten, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 2006.

**Kern 2007**

Kern, A.: Lebensformen und epistemische Fähigkeiten. In: DZPhil 55 (2007), H. 2, S. 245-260.

**Knight 1921**

Knight, F. H.: Risk, Uncertainty, and Profit, Chicago: University of Chicago Press, 1921.

**Mach 1920**

Mach, E.: Erkenntnis und Irrtum, Leipzig: Teubner, 1920.

**Milgram/Kishino 1984**

Milgram, P./Kishino, F.: A Taxonomy of Mixed Reality Virtual Displays. In: IEICE Transactions of Information Systems. Vol E 77-D, No 12, Dec. 1984.

**Oxford Dictionary 2003**

Oxford Dictionary, Oxford: Oxford University Press, 2003.

**Rehder 1980.**

Rehder, W.: Versuche zu einer Theorie von Gedankenexperimenten. In: Grazer Phil. Studien 11 (1980), S. 105-123.

**Schiemann/Köchy 2006**

Schiemann, G./Köchy, K. (Hrsg.): Natur im Labor. In: Philosophia naturalis 43 (2006), H. 1.

**Schröder/Claussen 2002**

Schröder, M./Claussen, M. et al: Klimavorhersage und Klimavorsorge, Berlin: Springer, 2002.

**Winsberg 2006**

Winsberg, E.: Models of Success versus Success of Models: Reliability without Truth. In: Synthese (2006), 152, S. 1-19.



## > WAS IST GESELLSCHAFTLICH RELEVANTE WISSENSCHAFT?<sup>1</sup>

NICO STEHR

### WAS IST GESELLSCHAFTLICH RELEVANTE WISSENSCHAFT?

Das Interesse an der gesellschaftlichen Wirkung wissenschaftlicher Erkenntnisse lässt sich bis in die Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaften zurückverfolgen. Es liegt auf der Hand, dass dieses Thema schon aus Gründen der Legitimation der Wissenschaft nicht nur die Wissenschaftler interessierte. Zustimmungende Antworten auf die Frage nach den praktischen Tugenden der Wissenschaft verhalfen den Wissenschaftlern der ersten Stunde und verhalfen natürlich auch den heutigen Wissenschaftlern zu gesellschaftlicher Anerkennung und nicht zuletzt zu den Ressourcen, die eine immer teurer werdende, hochrangig arbeitsteilige, wissenschaftliche Praxis gegenwärtig verlangt.<sup>2</sup>

Es gibt andererseits immer wieder Stimmen, die gerade die Humanwissenschaften nicht nur wegen ihrer mangelnden Nützlichkeit rügen, sondern gar als Gefahr für die Gesellschaft einstufen. Man denke in diesem Zusammenhang etwa an die weltweite Furcht vor den Ideen des Marxismus, den vielfach kritisierten Einfluss der Frankfurter Schule auf die Politik der siebziger Jahre in Deutschland<sup>3</sup> oder den von Vielen beklagten Einfluss neo-liberaler ökonomischer Modelle auf die Wirtschaftsordnung insbesondere der sich entwickelnden Gesellschaften.<sup>4</sup>

Bedenken und Ängste über die sozialen Folgen neuer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und Technologien werden nicht erst heute laut. Dies gilt auch für die Versprechungen der Art, die Menschheit werde durch Wissenschaft und Technik in den Genuss enormer Fortschritte kommen. Es lassen sich aber überzeugende Argumente vorbringen, dass in der öffentlichen Auseinandersetzung über die gesellschaftliche Rolle der Wissenschaften eine neue moderne Phase erreicht ist. Das erste kontrollierte gentechnische Laborexperiment fand 1972 statt, der erste außerhalb des Körpers einer Frau gezeugte Mensch wurde 1978 geboren und in jüngster Zeit wurde im April 2008 der erste von Wissenschaftlern – in einem Labor der Newcastle University in England – produzierte menschlich-tierische Embryo, von den Medien sofort als Chimäre bezeichnet, erzeugt. Aber auch die gegenwärtige, kontroverse Diskussion um embryonale Stammzellen, Neurogenetik, Xenotransplantationen, reproduktives Klonen und die Konvergenz

---

<sup>1</sup> Ich danke Gotthard Bechmann für seine konstruktiven Hinweise.

<sup>2</sup> Vgl. Weingart 2001.

<sup>3</sup> vgl. Schelsky [1961] 1965 und 1975; Wiggershaus 1986.

<sup>4</sup> Vgl. Stiglitz 2002; Mitchell 2005.

von Nanotechnologien, Informationstechnologien, Biotechnologien und Kognitionswissenschaften<sup>5</sup> macht deutlich, dass die Frage nach den sozialen Voraussetzungen und Folgen ungebremst expandierender (natur)wissenschaftlicher Erkenntnisse unter neuartigen Voraussetzungen dringend auf die Tagesordnung des gesellschaftlichen und politischen Alltags gehört. Und nicht selten mündet diese Diskussion in den Ruf nach einer Überwachung und bewussten Steuerung des Wissens. Die Frage ist nicht mehr, ob wir nicht genug wissen, sondern ob wir zuviel wissen und ob wir denn auch alle Erkenntnisse praktisch umsetzen wollen.<sup>6</sup>

Vor einem halben Jahrhundert stellte C.P. Snow<sup>7</sup> in einer der klassischen Dichotomien der Wissenschaftsbetrachtung den Trägern des literarischen oder traditionellen Wissens als Inbegriff der modernen Luddites ebenfalls ein äußerst schlechtes Zeugnis aus. Für Snow geht es aber in erster Linie nicht darum, traditionelles, literarisches Wissen zu trivialisieren, was er selbstverständlich dann doch tut, sondern seine These versteht sich als ein dringender Handlungsauftrag an die Gesellschaft, endlich naturwissenschaftliches und technisches Wissen und damit diejenigen Wissenschaftler in das Zentrum der Gesellschaft zu rücken, die, wie C.P. Snow dies sieht, die Zukunft in den Knochen haben.

Snows These vom Dilemma der beiden Wissenschaftskulturen als Variante des verbreiteten und oft mit Ressentiments behafteten Kontrastes von Erkenntnis und Unwissen erfährt durch Erich Fromm Mitte der siebziger Jahre eine radikale Umkehr. Er stellt in seinem Handlungsauftrag an die modernen Gesellschaften – endlich dem Sein und nicht dem Haben in der Gesellschaft den Vorrang einzuräumen – die These auf, es sei die systematische Unterbewertung der Menschenwissenschaften, die unser gegenwärtiges Zeitalter als verhängnisvolle historische Epoche kennzeichne. Fromm unterstreicht in seinem Essay *Haben und Sein* mit Nachdruck, solange „die Wissenschaft vom Menschen nicht die Anziehung hat, die der Naturwissenschaft und Technik bisher vorbehalten war, werden Kraft und Vision mangeln, neue und reale Alternativen zu sehen.“<sup>8</sup>

Wer auch immer von den zitierten kritischen Beobachtern der Wissenschaftslandschaft und der Rolle der modernen Wissenschaft in der Gesellschaft Recht haben mag, eins ist anscheinend unausweichlich, man kann die Frage nach der gesellschaftlichen Relevanz der Wissenschaft wohl nur in zweifacher, voneinander strikt getrennter Weise problematisieren, einmal für den Fall der Menschenwissenschaften und andererseits für Naturwissenschaft und Technik.

<sup>5</sup> Vgl. Roco/Brainbridge 2002.

<sup>6</sup> Stehr 2003.

<sup>7</sup> Snow [1959] 1964.

<sup>8</sup> Fromm [1976] 2007, S. 25.

Die klassischen wissenschaftstheoretischen Debatten über die Besonderheiten unterschiedlicher wissenschaftlicher Erkenntnisse, insbesondere über die Dichotomie von Geistes- und Naturwissenschaft, führen dazu, dass unsere Reflexionen wie in einer Art Dauerfrost eingeschlossen sind (oder erstarren). Und damit ist unsere Fähigkeit eingeschränkt, das Zusammenspiel von intellektuellen, moralischen und gesellschaftlichen Aspekten der Problematik gesellschaftlich relevanter Wissensstrukturen neu zu denken.

Ich sehe mich in dieser Fragekonstellation daher als Revisionist. Ich halte die Trennung zwischen Geistes- und Naturwissenschaften für fragwürdig und werde später ausführlicher begründen, warum ich diese Position vertrete. Im Folgenden möchte ich deshalb die Frage „was ist gesellschaftlich relevante Wissenschaft“ in Bezug auf wissenschaftliche Erkenntnisse insgesamt und nicht nach sozial- und geisteswissenschaftlichem und technisch-naturwissenschaftlichem Wissen getrennt beantworten.

Ich werde meine Antwort in einer Reihe von Gedankenschritten voranbringen: Erstens gilt es, den Wissensbegriff näher zu bestimmen; dies ist, wie man sehen wird, mehr als nur eine reine Definitionsarbeit. Es folgt der Versuch, die mir gestellte Frage unter der Überschrift „Die Anwendung einer Theorie ist nie die der strikten Ähnlichkeit“ zu beantworten. Noch einmal auf die These von den beiden Wissenschaftskulturen eingehend versuche ich zu zeigen, dass ihre praktischen Verwendungschancen ähnlichen Konditionen unterliegen. Schließlich möchte ich in einem anschließenden Abschnitt auf eine Reihe von widersprüchlichen Schlussfolgerungen aufmerksam machen. Diese Schlussfolgerungen stelle ich in den Kontext der modernen Gesellschaft als Wissensgesellschaft.

## WISSEN ÜBER WISSEN

Ich möchte Wissen als Fähigkeit zum Handeln (oder Handlungsvermögen)<sup>9</sup> definieren, als die Möglichkeit, etwas in "Gang zu setzen". Wissen ist ein Modell für die Wirklichkeit. So sind beispielsweise Sozialstatistiken nicht unbedingt (nur) ein Abbild der gesellschaftlichen Realität, sondern ihre Problematisierung. Sie verweisen darauf, was sein könnte, und sind in diesem Sinn Handlungsvermögen.<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Erkenntnisse haben im gesellschaftlichen Kontext kein Monopol auf menschliches Handlungsvermögen. Ähnliche Funktionen können zum Beispiel von Akteuren internalisierte soziale Normen oder auch Bedürfnisse und Neigungen haben. Vgl. Loyal/Barnes 2001.

<sup>10</sup> Dass Wissen ein Modell für die Realität ist, dass es illuminiert und die Realität verändern kann, ist auch mit der Definition von Informationen durch Albert Borgmann (1999, S. 1) verwandt. Ich würde allerdings zwischen Information und Wissen unterscheiden. Wissen bezieht sich auf die Kenntnisse von Prozessen, während Information die Kenntnis von Produkten umfasst. Max Scheler ([1924] 1960, S. 204-205) sieht in seiner Abhandlung Erkenntnis und Arbeit den „finalen ontischen“ Sinn, den pragmatischen Wert oder das Ziel des Wissens in einem „Werden, - ein Anderswerden“. Fragt man genauer, welchem Werden das Wissen dient, so kommt Scheler auf Grund der „drei obersten Werdenziele“ zur bekannten Differenzierung von Bildungs-, Erlösungs- und Herrschafts- bzw. Leistungswissen.

Erkenntnisse sind nicht nur passives Wissen. Wissen sollte als erster Schritt zum Handeln verstanden werden. Wissen ist in der Lage, die Realität zu verändern. Wissen bereichert menschliches Können. Und damit hebe ich, wenn auch nur analytisch, zeitweise und vorläufig, die Verbindung von sozialem Handeln und Wissen auf. In der praktischen Verschränkung von Erkenntnissen und Handeln trifft dann die unkritisch-optimistische Beobachtung von C.P. Snow aus den fünfziger Jahren zweifellos zu, dass Wissenschaftler „die Zukunft in den Knochen haben“.

Meine Begriffswahl stützt sich unmittelbar auf Francis Bacons berühmte und faszinierende These des "scientia est potentia" oder wie diese Formulierung häufig, aber irreführend, übersetzt wurde: Wissen ist Macht. Bacon behauptet, dass sich der besondere Nutzen des Wissens von seiner Fähigkeit ableitet, etwas in Gang zu setzen. Der Begriff *potentia*, die Fähigkeit, umschreibt hier die "Macht" des Wissens. Wissen ist Entstehen. Menschliche Erkenntnis ist die Kenntnis der Handlungsregeln und damit das Vermögen, den fraglichen Prozess in Gang zu setzen oder etwas zu erzeugen. Erfolge oder Folgen menschlichen Handelns lassen sich demnach an der Veränderung der Realität ablesen. Daraus folgt wiederum, zumindest für die moderne Welt, dass ihre Realität zunehmend auf Wissen basiert und Wissen beinhaltet. Wissen ist nicht Macht (im üblichen Sinn des Wortes Macht), sondern allenfalls potentielle Macht.<sup>11</sup> Wir müssen infolgedessen zwischen Handlungsmöglichkeiten und der Ausübung von Handlungsmöglichkeiten trennen.

Die Wissenschaft ist nicht nur Zugangsmöglichkeit und Schlüssel zu den Geheimnissen der Welt, sondern das Werden einer Welt. Die Konzeption eines realitätsverändernden oder sogar realitätsproduzierenden Wissens (Handlungsmöglichkeit) überzeugt im Fall sozialwissenschaftlicher Erkenntnisse wahrscheinlich fast unmittelbar. Man denke etwa an den Begriff des Gedankenexperiments oder Modells, das einer prak-

---

<sup>11</sup> Allerdings bezieht sich in der Etymologie Macht auf Fähigkeit; und eine der grundlegendsten Definitionen von Fähigkeit wäre, unterscheiden zu können. In diesem Sinn und nicht in dem Sinn, in dem Macht üblicherweise in Zusammenhang mit sozialen Beziehungen diskutiert wird, nämlich als Macht, die zum Erreichen einer Sache oder über einen Menschen ausgeübt wird, klingt in der Definition von Macht als Fähigkeit die Vorstellung von Wissen als Befähigung an. Vgl. Dyrberg 1997, S. 88-99.

tischen Umsetzung bedarf. Geht man dagegen von einer in herkömmlichen Kategorien des Wissens als realitätskonform geltenden Beobachtung aus, so bereitet die Idee der Erkenntnis als potentiell realitätsveränderndes Phänomen Schwierigkeiten und möglicherweise gilt dies besonders für naturwissenschaftliche Erkenntnisse.

Allerdings kann man am Beispiel der modernen Biologie überzeugend zeigen, dass dies nicht unbedingt zutrifft. Die moderne Biologie umfasst die Fabrikation von neuen Lebensformen. Sie untersucht nicht einfach die Natur, sondern transformiert und produziert neues Leben. Biologie und Biotechnologie sind eng verzahnt.

Wissen erfüllt allerdings nur dort eine "aktive" Funktion im gesellschaftlichen Handlungsablauf, wo Handeln nicht nach im wesentlichen stereotypisierten Mustern (Max Weber) abläuft oder ansonsten weitgehend reguliert ist.<sup>12</sup> Wissen spielt nur dort eine aktive Rolle, wo es, aus welchen Gründen auch immer, Entscheidungsspielräume oder -notwendigkeiten gibt.<sup>13</sup> Für Karl Mannheim<sup>14</sup> beginnt soziales Handeln deshalb auch erst dort, "wo der noch nicht rationalisierte Spielraum anfängt, wo nicht regulierte Situationen zu Entscheidungen zwingen". Konkreter formuliert:

Es ist kein Handeln, wenn ein Bürokrat ein Aktenbündel nach vorgegebenen Vorschriften erledigt. Es liegt auch kein Handeln vor, wenn ein Richter einen Fall unter einen Paragraphen subsumiert, wenn ein Fabrikarbeiter eine Schraube nach vorgeschriebenen Handgriffen herstellt, aber eigentlich auch dann nicht, wenn ein Techniker generelle Gesetze des Naturablaufs zu irgendeinem Zweck kombiniert. Alle diese Verhaltensweisen sollen als reproduktiv bezeichnet werden, weil diese Handlungen in einem rationalisierten Gefüge nach Vorschriften ohne persönliche Entscheidung vollzogen werden.<sup>15</sup>

Infolgedessen beschränkt sich für Mannheim etwa das Problem des Verhältnisses von Theorie und Praxis auf Situationen genau dieser Art. Allerdings sind selbst weitgehend regulierte und durchrationalisierte Situationen, die sich beständig wiederho-

<sup>12</sup> Auf der Prämisse aufbauend, dass Wissen eine Handlungsmöglichkeit konstituiert, kann man zwischen Wissensformen unterscheiden, d.h. je nachdem, welche Handlungskapazität Wissen verkörpert. Lyotards ([1979] 1984, S. 6.) Versuch, in Analogie zur Unterscheidung zwischen Investiv- und Konsumausgaben, zwischen "Verbrauchswissen" und "Investivwissen" zu differenzieren, kann als ein Beispiel einer solchen funktionalen Separation von Wissensformen gelten.

<sup>13</sup> Niklas Luhmanns (1992, S. 136) Beobachtungen über die Bedingungen für die Möglichkeit, eine Entscheidung zu treffen, lassen vielleicht eine noch breitere Anwendung von Wissen zu. Entscheiden „kann man nur,“ wie er sehr einleuchtend unterstreicht, „wenn und soweit nicht feststeht, was geschehen wird.“ Unter der Voraussetzung, dass die Zukunft höchst ungewiss ist, kann sich der Einsatz von Wissen im Entscheidungsprozeß auf sehr viel mehr soziale Kontexte erstrecken, auch auf jene, die normalerweise nur von Routine und Gewohnheitsverhalten geprägt sind.

<sup>14</sup> Vgl. Mannheim [1929] 1965, S. 74.

<sup>15</sup> Ähnliche Konzepte sind in Friedrich Hayeks Essay über "Die Verwertung des Wissens in der Gesellschaft" aus dem Jahr 1945 zu finden, bei dem es sich eigentlich um eine Lobrede auf die Dezentralisierung, die Bedeutung von Lokalwissen für das Handeln und auf das Preissystem als Mittler handelt, der Information vermittelt und die Frage der Koordinierung des situativen Wissens löst. Hayek ([1945] 1976, S. 82) weist darauf hin, dass wirtschaftliche Probleme immer „nur in Folge von Veränderungen auftreten. So lange die Dinge bleiben, wie sie sind, oder zumindest sich nicht anders entwickeln, als man erwartete, treten keine neuen Probleme auf, die eine Entscheidung verlangen, und entsteht keine Notwendigkeit, einen neuen Plan zu machen.“

len, nicht frei von "irrationalen" (d.h. "offenen") Momenten. Gleichzeitig weist diese Perspektive auf die Bedingungen von Wissen hin, und zwar als Ergebnis menschlicher Betätigung. Wissen kann zu sozialem Handeln führen und ist gleichzeitig Ergebnis von sozialem Handeln. Hierin deutet sich bereits an, dass das Vermögen zum Handeln keineswegs identisch sein muss mit tatsächlichem Handeln, d.h. Wissen ist nicht selbst schon Handeln.<sup>16</sup>

Die gesellschaftliche Bedeutung von wissenschaftlichen Erkenntnissen liegt also primär in der Fähigkeit, über Wissen als Handlungsvermögen verfügen zu können. Oder anders formuliert: Erkenntnis gewinnt an Distinktion aufgrund ihrer Fähigkeit, die Wirklichkeit zu verändern.

Nach diesen vorbereitenden Bemerkungen über den Begriff und die Rolle des Wissens in Handlungszusammenhängen sind wir in der Lage, die offene Frage nach den Eigenschaften einer gesellschaftlich relevanten Wissenschaft zu beantworten. Ich stelle diese Beobachtungen unter die Überschrift: Die Anwendung einer Theorie ist nie die einer strikten Ähnlichkeit.

#### **"APPLICATION OF A THEORY IS NEVER ONE OF RESEMBLANCE"<sup>17</sup>**

Eine sinnvolle Theorie der pragmatischen Transformation von wissenschaftlichem Wissen in Handlungsvermögen ist ganz entscheidend von der elementaren Einsicht bestimmt, dass gesellschaftliches Handeln situationsgebunden ist, und von der Tatsache, dass die von Kontext zu Kontext variierenden Eigenschaften oder Randbedingungen einer bestimmten Handlungssituation entweder relativ offen oder unveränderlich sind.

Menschliches Handeln ist zwar, wie auch von Mannheim betont, in vielfältiger Weise Resultat eines relativ festen Repertoires fixierter Handlungskomplexe oder Verhaltensweisen, die bei gegebener Auslösesituation abrollen. Allerdings sind damit die Situationen, mit denen wir uns im Alltag oder auch in weniger routinehaften Handlungskontexten konfrontiert sehen, keineswegs erschöpft. Wie Friedrich Tenbruck<sup>18</sup> zum Beispiel unterstreicht, befindet sich der Mensch von innen oder außen her in immer wieder neuen Situationen, auf die hochgradig automatisierte und abgeschlossene Verhaltensweisen und Gewohnheiten nicht passen. Dabei macht es einen gewichtigen Unterschied, „welche Elemente der Situation gegeben und welche offen sind“<sup>19</sup>. Selbst die

<sup>16</sup> Eine neuere Studie eines Ökonomen, in der es vor allem um verschiedene begriffliche Probleme beim Versuch geht, Wissen zu quantifizieren und Wissen in die ökonomische Theorie zu integrieren, erinnert zumindest in einigen Passagen an die Definition von Wissen als Handlungsvermögen: "I define knowledge in terms of potentially observable behavior, as the ability of an individual or group of individuals to undertake, or to instruct or otherwise induce others to undertake, procedures resulting in predictable transformations of material objects". Vgl. Howitt [1996] 1998, S. 99. Sieht man einmal von dem etwas schwerfälligen Definitionsformat ab, so ist die Begrenzung des Begriffs auf die Manipulation von materiellen Objekten ein Rückschritt in die *black box* von "procedures" und "observable behavior". Schließlich kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, dass Howitt Wissen mit Handeln gleichsetzt.

<sup>17</sup> Deleuze [1972] 1977, S. 205-206.

<sup>18</sup> Tenbruck 1986, S. 95.

<sup>19</sup> Herv. d. d. A.

Gegebenheit gesellschaftlicher Verhältnisse oder, wie dies von vielen Beobachtern auch ausgedrückt wird, das Vorhandensein "struktureller" Handlungsattribute, die sich als externer "Zwang" auf das soziale Handeln auswirken, kann man als Satz denkbarer oder möglicher Handlungsoptionen begreifen, die für bestimmte Individuen oder Gruppen offen sind.

Die Eigenschaften, die Erkenntnisse haben sollten, die eine Nachfrage nach Wissen stimulieren, die Einschätzung des Wissensangebots beeinflussen und die Praktikabilität der Erkenntnisse mitbestimmen, sind demnach in entscheidendem Maß eine Funktion der angenommenen Offenheit der Lebenssituation. Die Wahrscheinlichkeit der Umsetzung von Wissen als Handlungsvermögen in ein bestimmtes soziales Handeln ist eine wesentliche Folge der – im weitesten Sinn – Korrespondenz zwischen Art und Inhalt des Wissens und derjenigen Elemente der Situation, die als offen, d.h. von Akteuren als kontrollierbar oder manipulierbar, begriffen werden und tatsächlich beeinflusst werden können.<sup>20</sup>

Es ist deshalb wahrscheinlich hilfreich, zwischen "Wissen für die Praxis" und "praktischem Wissen" zu differenzieren, zumal die pragmatische Relevanz von Wissen keineswegs a priori sichergestellt ist, sodass aus Wissen Handlungswissen oder wie selbstverständlich praktisches Wissen wird. Folgt man in diesem Zusammenhang zunächst einmal den strategischen Einsichten Karl Mannheims<sup>21</sup>, der in seiner Studie *Ideologie und Utopie* den Versuch unternahm, die Problematik einer "Wissenschaft von der Politik" zu formulieren, so wird deutlich, dass der erfolgreiche "Einsatz" von Erkenntnissen in konkreten Handlungssituationen erfordert, dass es für solche Kontexte zu einer Verknüpfung von Handlungsmöglichkeiten sowie einem Verständnis der Handlungsspielräume der Akteure und ihrer Gestaltungsmöglichkeiten kommen muss, damit Wissen zu praktischem Wissen wird.

Die für ein Verständnis von praktischem Wissen notwendigen Eigenschaften, die eine Realisierung von Wissen ermöglichen, sind einerseits bestimmte Erkenntnisse und andererseits, d.h. auf der Seite der Handelnden, die Kontrolle situationsspezifischer Bedingungen. Diese Fähigkeiten, die eine Umsetzung von Erkenntnissen erst möglich macht, nenne ich Gestaltungsfähigkeit im Unterschied zu Wissen als Handlungsfähigkeit.

---

<sup>20</sup> Eine ausführliche wissenschaftstheoretische und soziologische Darstellung dieser Position findet sich in Stehr 1991.

<sup>21</sup> Mannheims [1929] 1965, S. 143.

In der modernen Gesellschaft findet an der Schnittstelle von Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten die schnell wachsende Berufsgruppe der Experten, Ratgeber und Berater als Vermittler von Wissen ihre Aufgabe und ihren Einfluss.<sup>22</sup> Diese Berufe sind nötig, um zwischen der Komplexität wechselnder und schnell wachsender (wissenschaftlicher) Wissensinhalte und denen, die diese Erkenntnisse als Handlungshilfe bemühen wollen, zu vermitteln, denn "Ideen wandern" nicht wie ein "Gepäckstück" von Mensch zu Mensch, das Können ist an den Einzelnen und an "Netzwerke" von Personen gebunden. Unterschiedliche Interpretationen müssen zu einem "Schluss" kommen, erst dann werden sie als Handlungsfähigkeit wirksam (Wittgenstein) und endlich auch als praktisches Wissen.

Und genau diese Funktion, die Reflexion abzuschließen bzw. die oft mangelnde, unmittelbare Praktikabilität wissenschaftlicher Erkenntnis zu "heilen," damit danach gehandelt werden kann, üben in der modernen Wissensgesellschaft die Experten oder wissensbasierten Berufe aus. Das Sozialprestige und der Einfluss von Beratern, Fachleuten und Ratgebern ist schließlich immer dann besonders prägnant, wenn sich ihre Expertise auf den Zugang und die Kontrolle von zusätzlichen Erkenntnissen erstreckt.<sup>23</sup>

## NOCHMALS DIE BEIDEN WISSENSCHAFTSKULTUREN

Aus dem bisher Gesagten lässt sich trotz meiner ursprünglichen Einlassung womöglich leicht der Eindruck gewinnen, meine Antwort auf die Frage nach den Eigenschaften gesellschaftlich relevanter wissenschaftlicher Erkenntnisse müsse auf geistes- und sozialwissenschaftliches Wissen begrenzt sein. Dies ist nicht der Fall. Deshalb will ich an dieser Stelle nochmals auf die These von den beiden Wissenschaftskulturen eingehen. Meine These lautet, dass die Verwendbarkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse eine Funktion der Wissensproduktion im Hinblick auf offene Situationsbedingungen ist. Ein Gedankenexperiment als exemplarische Wissensform der Humanwissenschaften, das sich auf die konkreten Gestaltungsbedingungen von bestimmten Akteuren einlässt und sie reflexiv in das Experiment einbaut, hat deshalb eine größere Chance realisiert zu werden. Inwieweit gilt dieser Zusammenhang auch für naturwissenschaftliche Erkenntnisse?

Die praktische Verwendbarkeit sozialwissenschaftlichen Wissens ist, anders formuliert, eine Sache der Bedingungen der "Wissensproduktion", in die relevante Gestaltungsspielräume Eingang in Struktur und Inhalt des Wissens finden. Gibt es auch für

<sup>22</sup> Stehr 1992.

<sup>23</sup> Der besondere, ja geradezu herausragende Stellenwert des wissenschaftlichen und technischen Wissens in der modernen Gesellschaft resultiert nicht primär aus der Tatsache, dass wissenschaftliche Erkenntnis immer noch weitgehend als ein wahrhaftiger, objektiver, das heißt realitätskonformer Maßstab oder als eine unstrittige Instanz wahrgenommen oder behandelt wird – angesichts dessen Rufs viele Gruppen und Individuen in unzähligen alltäglichen Situationen bereit sind, ihre Zweifel und Bedenken zurückzustellen. Der besondere soziale, aber vor allem ökonomische Stellenwert ergibt sich daraus, dass wissenschaftliches Wissen mehr als jede andere Wissensform kein statisches Wissen repräsentiert und permanent zusätzliche Handlungsmöglichkeiten fabriziert und konstituiert. Damit ergibt sich zwischen wissenschaftlichen und ökonomischen Systemen eine interessante Analogie in der Funktion zusätzlichen Wissens; in beiden Systemen wird für zusätzliches Wissen eine "Prämie" entweder in Form von Anerkennung und Prestige oder monetären Erträgen ausgelobt.

naturwissenschaftliches Wissen vergleichbare Bedingungen, die seine Anwendung außerhalb des (wissenschaftlichen) Produktionskontextes steuern?

Dies ist der Fall und zwar sind es zum Beispiel die besonderen materiellen Rahmenbedingungen von Laborwissen, die in die Struktur solchen Wissens Eingang finden. Gemeint sind damit Effekte, die sich nur unter spezifischen Bedingungen beobachten und dann reproduzieren lassen, und zwar unter den "ursprünglichen" Bedingungen, die im Labor herrschten.<sup>24</sup> Ein Transfer dieses Wissens in andere Kontexte verlangt demnach zumindest partiell auch einen Transfer dieser Produktionsbedingungen, es sei denn, man ist bereit, in Kauf zu nehmen, "nur" lokales, "unpraktisches" Wissen produziert zu haben. Die praktische Reproduktion naturwissenschaftlich-technischen Wissens erfordert, wie auch im Fall der Realisierung eines Gedankenexperiments, Gestaltungsfähigkeiten, die den Transfer von Laborwissen in die Praxis erst möglich machen.

Um im Labor ein bestimmtes Resultat erzielen zu können, muss man den (komplexen) Einfluss der natürlichen Umwelt auf einen Prozess grundlegend simplifizieren oder reduzieren, denn nur dann ist man in der Lage, einen bestimmten Zusammenhang eindeutig identifizieren oder bestimmen zu können. Die Umsetzung dieses Ergebnisses in die Praxis steht natürlich vor größten Schwierigkeiten, einschließlich der Risiken, die mit einer Transformation der Gesellschaft in ein Labor verbunden sein können und die Relation oder den Effekt kontaminieren und sogar verhindern können.

Schließlich, sei noch erwähnt, geht es etwa um die Frage, warum die Naturwissenschaften in der Praxis so viel erfolgreicher sind, sodass ihre Erkenntnisse im Gegensatz zu den Geisteswissenschaften aus historischen und gesellschaftlichen Gründen auf sehr viel "günstigere" Verwertungschancen treffen.

## SCHLUSSFOLGERUNG

Als Schlussfolgerung dieser Beobachtungen über gesellschaftlich relevante wissenschaftliche Erkenntnisse kann man eine widersprüchliche Einsicht festhalten. Die wachsende Bedeutung der Wissenschaft und ihre vielfältige gesellschaftliche Anwendung hat dazu geführt, dass sie in entwickelten Gesellschaften ein weitgehendes Monopol auf die Produktion gesellschaftsrelevanten Wissens besitzt, das ihr weder durch die Religion, noch durch die Politik und schon gar nicht durch die Alltagserfahrung streitig gemacht werden kann.

---

<sup>24</sup> Krohn/Weyer 1989.

Wissenschaft ist in ihrer Funktion, Neues zu erforschen und dadurch den Entscheidungs- und Handlungsspielraum in der Gesellschaft zu erweitern, durch nichts ersetzbar. Sofern man gesichertes und akzeptiertes Wissen erhalten möchte, gibt es in der Gesellschaft keine andere Adresse als die des Wissenschaftssystems. Gleichzeitig muss sie dieses Wissen als hypothetisch präsentieren, das in Zukunft auch anders aussehen könnte. Sie erzeugt eine eigene Art der Unsicherheit, indem jedes neue wissenschaftlich gewonnene Wissen auch neue Bereiche des mangelnden Wissens markiert, ohne das ein Fortschreiten der Wissenschaft nicht möglich wäre.

Gerade die Risikodiskurse in der Gesellschaft zeigen die systematische Beziehung zwischen Wissen und mangelnder Erkenntnis. Alles was wir heute über mögliche ökologische, klimatische oder technische Gefährdungen wissen, wissen wir nur aufgrund wissenschaftlicher Untersuchungen. Da wir aber auch wissen, wie dieses Wissen produziert wurde, sehen wir auch das damit verbundene begrenzte Wissen, sehen die Ausblendungen und die Vorläufigkeit dieses Wissens.

Die Wissenschaft hat gerade aufgrund dieses Mechanismus insofern ihre traditionelle Legitimation verloren als sie nicht mehr als Vertreterin des gesellschaftlichen Fortschritts oder als Sprecherin der Vernunft auftreten kann. Sie ist nicht die Instanz, bei der man das Richtige oder Wahre einfordern kann.<sup>25</sup> Der zentrale Punkt dürfte sein, dass die Kontingenz des wissenschaftlich gewonnenen Wissens bewusst geworden ist und in der Gesellschaft als mangelndes Wissen kommuniziert wird.

Mit der Auflösung der Fiktion, dass die Wissenschaft sicheres Wissen produziert, droht ein Verlust an Glaubwürdigkeit und Autorität in der Öffentlichkeit. Das durchaus Neue der gegenwärtigen Situation kann man darin sehen, dass die Kritik an der Wissenschaft von außen nicht mehr vorrangig als Moral, Religion oder Ideologiekritik daher kommt, sondern als Wissenschaft formuliert wird. Die Wissenschaft spricht über sich selbst wie über etwas Drittes. Und dieses Wissen wird wieder in Entscheidungen eingespeist als Wissen über Bedingungen, Kontexte und Folgen des Handelns, das auch hätte anders ausfallen können. Genau aus diesem Grunde wird man durch mehr Forschung nicht mehr Sicherheit erwarten können, sondern mehr Unsicherheit, da der Alternativenreichtum des Entscheiders reflexiv gesteigert wird.

Hinzu kommt, dass der nachgefragte Wissensbedarf nicht mehr allein in Richtung technisch zu realisierender Zwecke liegt, sondern auf dem Gebiet der unerwünschten Nebenfolgen. Damit wird die Zukunft zu einem entscheidenden Parameter des Wissens (Vorsorgeprinzip). Offensichtlich besteht eine direkte Beziehung zwischen den vorhergesehenen und den nichtvorhergesehenen Folgen des Handelns. Je weiter sich der Zeithorizont des Entscheiders in die Zukunft hinausschiebt, desto wahrscheinlicher nehmen

<sup>25</sup> Myanna Larson (2008, S. 208) macht darauf aufmerksam, dass die wachsende Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit und in der Wissenschaft an Umweltfragen die „Demonopolisierung“ der Wissenschaft als zuverlässiger Garant von wahrhaftigen Erkenntnissen mit verursacht hat: „In the face of new environmental problems, science plays an important yet insufficient role in establishing social binding definitions of truth in this context, attitudes towards the issues and technologies involved guide interpretations of the science.“

die unvorhergesehenen Folgen zu (etwa Anpassung an die Folgen des Klimawandels). Sachlich und sozial nimmt damit die Bedeutung des Nichtwissens für die Handelnden zu. Der Anteil des Handelns, von dem nur noch im Modus des Wahrscheinlichen bzw. Unwahrscheinlichen gewusst werden kann, wächst, und die Entscheidung selbst enthält als Basis eine nur fiktiv gesicherte Realität.

Eine Reflexion auf diese Sachverhalte muss nicht auf Relativismus oder Beliebigkeit des Wissens hinauslaufen, sie macht aber bewusst, in welchem Maß die Wissenschaft selbst riskant geworden ist und zunehmend zum Lieferanten politischer Probleme wird, wie Wissensgesellschaften mit dem neuen Politikfeld Wissenspolitik reagieren werden und wie Wissenschaft dadurch zu immer komplexeren Konstruktionen getrieben wird.<sup>26</sup> Und dies in einer Gesellschaft, die gar nicht anders kann, als sich Risiken zu leisten.

Das Entscheidende dieser Erkenntnis ist darin zu sehen, dass trotz aller Unsicherheit der Wissensproduktion die Wissenschaft der einzig legitime Weg ist, Wissen in der modernen Gesellschaft zu erzeugen. Nicht die Verkündung gesicherten Wissens ist ihre Aufgabe, sondern Management von Unsicherheit. Kern dieser Sichtweise ist die Kommunikation über die Unsicherheit und die Revidierbarkeit der eigenen Wissensproduktion im Austausch mit Öffentlichkeit und Politik.

## LITERATUR

### **Borgmann 1999**

Borgmann, A.: Holding on to Reality. The Nature of Information at the Turn of the Millennium, Chicago: University of Chicago Press, 1999.

### **Deleuze [1972] 1977**

Deleuze, G.: Intellectuals & Power: A conversation between Michel Foucault and Gilles Deleuze. In: Foucault, M.: Language, Counter-memory, Practice: Selected Essays and Interviews, Oxford: Blackwell, [1972] 1977.

### **Dyrberg 1997**

The Circular Structure of Power, Politics and Identity, London: Verso, 1997.

### **Fromm [1976] 2007**

Fromm E.: Haben oder Sein, Hamburg: Spiegel Verlag, [1976] 2007.

---

<sup>26</sup> Stehr 2003.

**Hayek [1945] 1976**

Hayek, F. A.: Die Verbreitung des Wissens in der Gesellschaft. In: Ders. Individualismus und wirtschaftliche Ordnung, Salzburg: Wolfgang Neugebauer, [1945] 1976, S. 103-121.

**Howitt [1996] 1998**

Howitt, P.: On some problems in measuring knowledge-based growth. In: Neef, D. (Hrsg.): The Knowledge Economy, Boston: Butterworth-Heinemann, [1996] 1998, S. 97-117.

**Krohn/Weyer 1989**

Krohn, W./Weyer, J.: Gesellschaft als Labor. Die Erzeugung sozialer Risiken durch experimentelle Forschung. In: Soziale Welt 40 (1989), S. 349-373.

**Lahsen 2008**

Lahsen, M.: Experiences of modernity in the greenhouse: A cultural analysis of a physicist 'trio' supporting the backlash against global warming. In: Global Environmental Change 18 (2008), S. 204-219.

**Loyal 2001**

Loyal, S./Barnes, B.: Agency' as a red herring in social theory. In: Philosophy of the Social Sciences 31 (2001), S. 507-524.

**Luhmann 1992**

Luhmann, N.: Beobachtungen der Moderne, Opladen: Westdeutscher Verlag, 1992.

**Lyotard [1979] 1984**

Lyotard, J.-F.: The Postmodern Condition: A Report on Knowledge, Minnesota: University of Minnesota Press, [1979] 1984.

**Mannheim [1929] 1965**

Mannheim, K.: Ideologie und Utopie, Frankfurt a. M.: G. Schulte-Bulmke, [1929] 1965.

**Mitchell 2005**

Mitchell, T.: The work of economics: how a discipline makes its world. In: European Journal of Sociology 46 (2005), S. 297-320.

**Schelsky 1975**

Schelsky, H.: Die Arbeit tun die anderen. Klassenkampf und Priesterherrschaft der Intellektuellen, 2. Auflage, Opladen: Westdeutscher Verlag, 1975.

**Schelsky [1961] 1965:**

Schelsky, H.: Der Mensch in der wissenschaftlichen Zivilisation. In: Schelsky, H.: Auf der Suche nach der Wirklichkeit. Gesammelte Aufsätze, Düsseldorf: Diederichs, [1961] 1965, S. 439-480.

**Roco/Bainbridge 2002**

Roco, M. C./Bainbridge, W. S.: Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science, Washington, D.C.: National Science Foundation and U.S. Department of Commerce, 2002.

**Scheler [1925] 1960**

Scheler, M.: The forms of knowledge and culture. In: Scheler, M.: Philosophical Perspectives, Boston: Beacon Press, [1925] 1960, S. 13-49.

**Snow [1959] 1964**

Snow, C. P.: The Two Cultures A Second Look. An Expanded Version of the Two Cultures and the Scientific Revolution, Cambridge: Cambridge University Press, [1959] 1964.

**Stehr 2003**

Stehr, N.: Wissenspolitik. Die Überwachung des Wissens, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 2003.

**Stehr 1992**

Stehr, N.: Experts, counselors and advisers. In Stehr, N./Ericson, R. V. (Eds.): The Culture and Power of Knowledge. Inquiries into Contemporary Societies, Berlin/New York: de Gruyter, 1992, S. 107-155.

**Stehr 1991**

Stehr, N.: Praktische Erkenntnis, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1991.

**Stiglitz 2002**

Stiglitz, J.: Globalization and its Discontents, New York: W.W. Norton, 2002.

**Tenbruck 1986**

Tenbruck, F. H.: Geschichte und Gesellschaft, Berlin: Duncker & Humblot, 1986.

**Weingart 2001**

Weingart, P.: Die Stunde der Wahrheit. Zum Verhältnis der Wissenschaft zu Politik, Wirtschaft und Medien in der Wissensgesellschaft, Weilerswist: Velbrück Wissenschaft, 2001.

**Wiggershaus 1986**

Wiggershaus, R.: Die Frankfurter Schule. Geschichte – Theoretische Entwicklung – Politische Bedeutung, München: Hanser, 1986.

# > TECHNISCHES WISSEN ALS HANDLUNGSANLEITUNG – EIN PARADIGMA FÜR EINE WISSENSCHAFTSTHEORIE TECHNISCHEN WISSENS?

SANDRO GAYCKEN

## 1 EINLEITUNG

Technisches Wissen ist vor allem eins: praktisch. Es will in technischen Handlungen benutzt werden und dieser Aspekt praktischer Nutzbarkeit durchdringt alle Formen technischen Wissens. Beim Wissen, das zum Gebrauch benötigt wird, ist das unmittelbar klar. Aber auch für das Wissen, das zum Bau, zur Entwicklung oder zur technikwissenschaftlichen Rekonstruktion von Technologien gehört, steht Praktikabilität im Vordergrund. Es ist Wissen aus einem Gebrauch von Technik für einen (weiteren) Gebrauch von Technik. Es ist also ein Wissen, das Handlungen anleiten soll.

Der epistemische Reflex ist dabei nur eine Zwischenebene für die praktischen Schritte. Erkenntnis findet nur eng funktional in Hinsicht der weiteren und besseren Ermöglichung des Handelns Eingang. Und es wird im Vergleich zu einem Erkennen, das auf den Gewinn einer reinen Wahrheit der Außenwelt fokussiert ist, auch auf diese praktische Funktionalität hin besonders strukturiert.<sup>1</sup> Das wird im weiteren noch demonstriert, zeigt sich aber auch schon an einer Anleitung für eine Kaffeemaschine, in der keine Exkurse über thermische Physik stehen, für deren experimentelle Verifikation die Kaffeemaschine erhalten kann, oder im Autobau, in dem anstelle der physikalisch „richtigen“ Quantenmechanik die physikalisch „falsche“ Newtonmechanik genutzt wird (und auch das noch in erheblichen heuristischen Abwandlungen).

Für eine wissenschaftstheoretische Exploration technischen Wissens ist dieser Umstand bedeutsam. Denn mit der besonderen pragmatischen Rolle technischen Wissens als Handlungsanleitung und nicht als reiner Welterkenntnisproduzent wird der Kern der Sache verfehlt, wenn man mit klassisch epistemologischen Fragestellungen beginnt, die eben an jenem letzteren Punkt entstanden sind. Sie werden keine oder wenig Probleme am technischen Wissen finden, die nicht bereits in anderer Weise geklärt sind. Und sie werden die Besonderheiten des technischen Wissens gar nicht sehen oder rekon-

---

<sup>1</sup> Der neue Experimentalismus (vgl. Hacking 1983 und Giere 1988) behauptet zwar ähnliches für das rein erkenntnisorientierte, naturwissenschaftliche Wissen mit dessen Anhängigkeit am Experiment. Allerdings geht es trotz dieser strukturellen Analogie für unser Verständnis und die theoretische Rekonstruktion doch wesentlich um die funktionale Einbettung des Ganzen. Der gleiche technische Prozess kann einmal in der Funktion der Erkenntnisgewinnung ein wissenschaftlicher (Teil-)Prozess sein und dann in der Funktion der Handlungsermöglichung ein (sozio-)technischer (Teil-)Prozess. Der damit verbundene perspektivische Wandel ist allerdings alles andere als trivial. Um ihn soll es hier gehen.

struieren können, zumindest nicht systematisch. Das macht also einen methodischen Paradigmenwechsel nötig. „Wie kann ich etwas wissen“ soll für die Beschäftigung mit technischem Wissen als lediglich sekundäre Etappenfrage betrachtet werden. Neue Grundfragen und die davon ausstrahlenden Themen müssen gefunden werden. Dabei darf und sollte man von einem bereits bestehenden Grundwissen ausgehen, das Problem der Erkenntnis also wenigstens vorläufig ausblenden. Die Fragen, die zumindest mir dann unmittelbar in den Sinn kommen, sind diese: Wie wird bestehendes Wissen in Handlungen genutzt? Wie wird es dafür strukturiert und vorbereitet? Und was ist für die Nutzung in Handlungen „gutes“ Wissen, was nicht?

Diesen Fragekomplex will ich im Folgenden ansatzweise bearbeiten.<sup>2</sup> Zuerst soll etwas dazu gesagt werden, wie der Einsatz von Wissen im Handeln grundlegend konzipiert werden kann und was bei bestehendem Wissen das zentrale Problem dieses Einsatzes ist. Dann sollen ausgehend von diesem charakteristischen Problem Strategien der Bearbeitung technischen Wissens für dessen Nutzung im Handeln beschrieben werden, wobei sich im Rahmen dieser Strategien einige der spezifischen und in der Technikphilosophie bereits mehrfach adressierten Probleme des technischen Wissens dabei im systematischen Zusammenhang erschließen lassen. Und schließlich wird angesichts der Erfordernisse eines Handlungswissens auf Leistungskriterien eingegangen werden können.

## 2 DIE TECHNIZITÄT TECHNISCHEN WISSENS UND IHR FORMATIVES PROBLEM

Wie kann also zuerst der Einsatz von Wissen im Handeln als dessen Anleitung konzipiert werden? Zunächst kann hierbei auf die Handlungstheorie zurückgegriffen werden. Sie benennt bereits den Umstand, dass jede Handlung einer Anleitung bedarf. Denn damit eine Handlung als Handlung bezeichnet werden kann, muss vor allem die Handlungsabsicht bestehen<sup>3</sup>, die ihrerseits notwendig einen Handlungsplan involviert, der die Handlung vor dem Handlungsvollzug gedanklich vorweg nimmt und ein „inneres Modell“<sup>4</sup> der Handlung entwirft. So wird eine Situations- und eine Zielanalyse durchgeführt, die im Wesentlichen die Ausgangssituation „durch Ablesen dessen, was gegeben ist und durch die Spezifikation enthaltener Implikationen“<sup>5</sup> erfasst und mit der zielmäßig erwünschten Endsituation auf handlungsmäßig manipulierbare Parameter vergleicht. Darauf folgend „findet eine kognitive Umwandlung der gegebenen Situation und Sachverhalte in die angestrebte Situation statt und Aktionen zur Umwandlung der Sachverhalte werden kognitiv vorweggenommen“.<sup>6</sup> Die Handlung wird also entlang des Handlungsmodells in enger Interaktion mit diesem vollzogen, so dass also das handlungsanleitende Wissen integrierter Teil jedes Handlungsschrittes ist. Durch diese

<sup>2</sup> Für die detaillierte Bearbeitung sei an dieser Stelle auf meine Dissertation „Technisches Wissen“ verwiesen, die sich ausführlich mit der Thematik beschäftigt. Vgl. Gaycken 2009.

<sup>3</sup> Anscombe 1957 und Davidson 1985.

<sup>4</sup> Vgl. Hacker 1986.

<sup>5</sup> Vgl. Duncker 1935, S. 53.

<sup>6</sup> Zempel 2002, S. 18.

Teilhaftigkeit wird es selbst ein operativer Teil der Handlung. Der Wissensumgang wird eine praktische Einzelhandlung in einer Kette anderer praktischer Einzelhandlungen. Und damit lässt sich bereits ein Leitgedanke für die gesuchte Frage nach der Sichtweise auf die Verbindung von Wissen und Handeln formulieren: handlungsanleitendes Denken ist selbst praktisches Handeln und das entsprechend genutzte Wissen wird nach Maßstäben praktischen Handelns benutzt und bewertet. Oder kürzer, bezogen auf den Fall der Technik: technisches Wissen ist selbst technisch. Es ist „technizitär“, selbst ein Werkzeug. So wie das technische Handeln die Manipulation der Umwelt ermöglicht, ermöglicht technisches Wissen untrennbar das technische Handeln und hat so transitiv seine eigene Funktionalität im Kontext der Manipulation der Umwelt. Das begründet maßgeblich seine Existenz, bestimmt seine Gestalt und grenzt es darüber hinaus strukturell deutlich von Wissen in der Rolle der reinen Welterkenntnisproduktion ab.

Der Gestalt kommt man nun mit einer weiteren als zentral zu erachtenden und paradigmatisch neuen Grundfrage auf die Spur: Was ist denn bei einem Handeln mit einem bereits vorhandenen Wissen so besonders schwierig? Die einfache Antwort darauf lautet: das Richtige zum richtigen Zeitpunkt in möglichst handlicher Weise zu wissen. Als neues Problem erscheint also die dynamische Organisation der Strukturen des bereits als vorhanden vorgestellten Wissens in einem typischerweise zeitlich begrenzten Prozess des Denkens.<sup>7</sup> Die für dieses Arbeitsdenken besonders formativen Bedingungen können aus dem Grundproblem aller Organisation erkannt werden. Denn wenn das vorhandene Wissen bereits ausreichend ist, um die Handlungsumgebung zu erkennen und um aus ihren Parametern diverse Handlungsoptionen abzuleiten, so besteht das Folgeproblem – vor und begleitend zum Handlungsvollzug – darin, dass die insgesamt möglichen Wahrnehmungen der Handlungsumgebung und die insgesamt möglichen, korrespondierenden Handlungsoptionen nicht eindeutig, sondern im Gegenteil in der Regel sehr zahlreich sind. Viele Wege führen nach Rom. Und ohne Zweifel wäre es in vielen Situationen wie etwa bei risikoreichen Handlungen auch wünschenswert, diese komplexen Ausdehnungen umfassend zu kennen und einzubinden. Wäre man – als technisch interessierter laplacescher Dämon – in der Lage, alle Faktoren seiner Umgebung restlos in allen kausalen Verbindungen zu kennen, könnte man sein Handeln auf maximale Weise optimieren. Vor diesem hypothetischen Handlungs dämon fällt nun aber auf, dass das praktische Arbeitsdenken im Angesicht von Komplexität gerade stark simplifizierend verfährt. Komplexe Zusammenhänge werden in Heuristiken und Gesetzen zusammengefasst, die Welt wird unzulässig und häufig genug auch unzuverlässig vereinfacht. Das hat einen einfachen Grund, der nun als Grundproblem und zentrale Bedingung auftritt: Das menschliche Arbeitsdenken kann komplexe Mengen

---

<sup>7</sup> Über den Unterschied von Wissen und Denken müsste natürlich viel mehr gesagt werden, hier soll allerdings nur die nicht besonders trennscharfe Unterscheidung von Wissen als statischer Struktur und Denken als dynamischem Prozess grundlegend sein.

von Informationen nicht bearbeiten. Das ist der Ursprung ihrer Organisation. Mit dem möglichen Wissen muss denkökonomisch effizient verfahren werden. Die für die Handlungsabsicht je relevantesten Wissensbestände müssen ausgewählt werden und mögliche Störungen der wissensmäßigen Handlungsbegleitung müssen ausgeblendet werden, unter begrenztem zeitlichem Rahmen. Das „richtigste“ Wissen muss in der „richtigsten“ Folge angebracht werden.<sup>8</sup> Dafür müssen gezielte Strategien ausgebildet werden, die schnell und zuverlässig auf Wissen zugreifen und es praktikabel machen können.<sup>9</sup>

### 3 ARBEITSDENKEN UND KOMPLEXITÄT

Um das nun genauer zu fassen, soll zunächst das Grundproblem des Arbeitsdenkens mit der Komplexität festgemacht werden, um dann spezifische Strategien zu erkennen. Was genau sind also die problematischen Punkte des Arbeitsdenkens beim Umgang mit Komplexität? Die Antwort darauf kann direkt den Komplexitätsbegriff als Demarkation nutzen.<sup>10</sup> Denn seine diversen Definitionen beinhalten im Kern immer zwei Begrenzungen menschlichen Denkens als besonders signifikant: den Umgang mit zahlenmäßig vielen Fakten und den Umgang mit akasalen Fakten. Das Arbeitsdenken ist also quantitativ und kausal begrenzt.

#### 3.1 BEGRENZUNGEN DES ARBEITSDENKENS

Die quantitative Begrenzung erschließt sich kognitiv als Begrenzung der Kapazität des menschlichen Arbeitsgedächtnisses. Im Schnitt wird hier angenommen, dass das Arbeitsgedächtnis im Normalfall sieben plus-minus zwei Informationen gleichzeitig behalten kann.<sup>11</sup> Das stellt die Menge der verfügbaren Informationen. Und so ist mit der kapazitiven Begrenzung eine generelle Grenze simultaner Speicherung, Prozessierung und Koordination von Informationen formuliert. Für das wissensbegleitete Handeln in Situationen unter quantitativ komplexen Bedingungen muss also die Menge des Wissens mithilfe bestimmter Strategien und dieser Strategien entsprechenden wissensmäßigen Schemata auf ein streng reduziertes, lokales Gebiet simplifiziert werden.

<sup>8</sup> Schlagwortartig könnte man hier einen zentralen Kontrast zum welterkennenden Denken so nachzeichnen: Beim welterkennenden Denken geht es darum, die Dinge richtig zu wissen. Beim weltbenutzenden Denken dagegen geht es darum, die richtigen Dinge zu wissen.

<sup>9</sup> Außerdem ist anzunehmen, dass die Strategien des dynamisch verstandenen Denkens auch die Struktur des statisch verstandenen Wissens zumindest teilweise bestimmen. Zum einen werden die Strategien bei der Wissensaufnahme eine strukturierende Rolle spielen, zum anderen sollte das Wissen auch strukturell für die Modalitäten der Strategien vorbereitet sein, um einen schnellen und validen Zugriff zu erlauben. Das Wissen wird also in bestimmten schematischen Formen und Zusammenhängen angelegt sein, die sich zum Teil aus den Erfordernissen der Denkstrategien erschließen könnten. Dieser Frage wird allerdings hier nicht nachgegangen. Der interessierte Leser sei erneut auf meine Dissertation hingewiesen, vgl. Gaycken 2009.

<sup>10</sup> Diese Möglichkeit ist im Übrigen noch dahingehend interessant, dass sie ein anderes Licht auf den Komplexitätsbegriff selbst wirft. Komplexität ist gewissermaßen nie ein exogenes Naturphänomen, sondern immer nur eine Begrenzung unserer Möglichkeiten. Diese Frage wird auch in der Komplexitätstheorie auch diskutiert, vgl. Simon 1996 oder für einen technischen Fall Yassine/Joglekar/Braha/Eppinger 2003.

<sup>11</sup> Vgl. Miller 1956. Für neuere Untersuchungen: Ericsson/Kintsch 1995 und Miyake/Shah 1999.

Die kausale Begrenzung des Arbeitsdenkens ergibt sich aus den philosophischen Konzepten des Verstehens in Konfrontation mit der komplexen Eigenschaft der Akausalität. Die philosophischen Konzepte benennen nämlich gerade als Bedingung der Möglichkeit des Verstehens von Einzelphänomenen die Möglichkeit ihrer kausalen Einbettung<sup>12</sup>: Phänomene müssen anhand ihrer Eigenschaften kausal als Wirkungen bestimmter, an diesen Eigenschaften festgemachter Gesetze erkannt und so als bestimmte Fälle kategorisch eingeordnet werden können. Genuiner Zufall ist dagegen für das menschliche Denken nicht vorstellbar und nicht akzeptabel. Mit dem Auftreten akausaler Phänomene wird das Denken mit einem Umstand konfrontiert, der kausalhierarchisch nicht verarbeitbar ist. In Handlungszusammenhängen wird dies besonders relevant. Wichtige kausale Faktoren müssen in die Handlungsentwürfe unbedingt eingearbeitet werden. Nicht nur werden nur dann, wie eingangs skizziert, die Einzelphänomene im Handeln absehbar. Ein vollkommen unbekannter kausaler Zusammenhang kann auch ein erhebliches Risiko bergen. Akausale Phänomene werden also in der Regel selten einfach hingenommen, sondern meist auf unterschiedliche Weisen wieder „kausalisiert“. Ist das nicht unmittelbar durch den partikularen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang möglich, tritt dafür eine zweite Strategie ein, ein ad-hoc Verfahren.

### 3.2 KOMPLEXITÄTSBEGRENZENDE STRATEGIEN DES ARBEITSDENKENS

Damit also zu den Strategien des Arbeitsdenkens, welche die quantitative und akausale Komplexität wieder möglichst sinnvoll eingrenzen sollen. In der ersten und fundamentaleren Strategie wird die global mögliche Komplexität der Umgebung quantitativ dekomplexiert, indem sequentiell eine mehrstufige Eingrenzung auf eine als relevant empfundene lokale Spezifik unternommen wird. Da dies vor allem entlang der Relevanz der Parameter der Umgebung für die Erfüllung der Handlungsabsicht und in nach dieser Relevanz konstellierte Hierarchien geschieht, soll die Strategie als „Relevanzhierarchisierung“ beschrieben werden. Als erster Teil des sequentiellen Vorgehens der Relevanzhierarchisierung ist die Lokalisierung als Festsetzung auf einen prinzipiellen

---

<sup>12</sup> Vgl. Kitcher 1989, Schurz 1994, 1995, 1996, Salmon 1998.

Gegenstandsbereich festzustellen. Ein grundlegendes Lokal wird bestimmt, indem je nach Intention eine bestimmte Ontologie (oder Kombination verschiedener Ontologien, je nach Differenzierung) mit bestimmten Gegenständen und Verbindungen und eine bestimmte Epistemologie mit spezifisch zulässigen epistemischen Perspektiven, Kausalverbindungen, Qualitätsmaßstäben und Begründungsmustern umrissen werden. So empfiehlt etwa die Intention des Kochens als Lokal eine Küche, einen Herd, Nahrungsmittel, verschiedene kausale Verbindungen im Rahmen spezifischer Modi kausalen Denkens, eigene Gütekriterien etc., das insgesamt sehr deutlich von einem Lokal, etwa der Intention des militärischen Stürmens eines Vorpostens, unterschieden werden kann. Weiter ist nun pro Intention eine bestimmte kleine und besonders typische Menge dieser erst einmal nur möglichen Zusammenhänge als Standardgestalt der zu erwartenden Situation angenommen. Eine antizipativ angenommene „Normalhierarchie“ ist zusammengestellt. Hierarchisch ist die Normalhierarchie gleich dreifach. Einmal ist sie als Handlungsfolge hierarchisch, weil sie als Standardablauf von Handlungen aufgestellt wird, der so also die grundlegende Struktur der Umgebungssituation entlang des intentional projizierbaren Umgangs in einer Folgehierarchie organisiert. Dann ist sie dimensional kreuzend als Wirkfolge hierarchisch, weil sie innerhalb des Standardablaufs der Handlung für die einzelnen Komponenten der Struktur Standardwirkfolgen als deren eigengesetzliche Kausalitäten einbezieht und so eine Wirkungshierarchie an der Folgehierarchie parallelisiert anhängt (die sich teilweise mit dieser überschneidet, wenn ein Ablauf entlang zusammenhängender Wirkungsketten erfolgt). Und letztlich und für das Arbeitsdenken primär ist sie erneut dimensional kreuzend auch als Problemfolge hierarchisch, indem gerade nicht alle kausal möglichen Parameter des Handlungsablaufs und der Wirkungen auch explizit problematisiert sind, sondern nur diejenigen, die im Kontext der Intention als Ausrichtung auf ein Ziel besonders relevant sind, da sie gerade für Erreichen und Struktur des intentionalen Ziels auf besonders starke Weise wirkmächtig sind. Diese starke Wirkmächtigkeit gibt dabei entweder besonders stark kausal variierbare, das heißt: für die Struktur der Zielsituation kausal besonders konstitutive Parameter wieder, oder besonders stark konsequentiell risikoreiche, also für den Erfolg oder die Struktur des Scheiterns der Handlung besonders konstitutive Parameter. So bildet sich also eine zusätzliche Relevanzhierarchie über der gemischten Handlungsfolgen-Wirkungs-Hierarchie als Auswahl der besonders „wichtigen“ Faktoren. Schließlich wird die so nach Handlungsfolge, Wirkung und Relevanz mehrfach stratifizierte Normalhierarchie in der Verfolgung der Handlung durch fortwährend aktualisierenden Vergleich mit der realen Situation näher auf die spezifischen lokalen Gegebenheiten in eine Lokalhierarchie umgesetzt, wobei entsprechend auch Variationen und Spezifikationen der leitenden Intention korrelativ folgen können. So können also große Komplexe für das Arbeitsdenken handhabbar gemacht werden.

Die Systemkausalisierung bildet nun die zweite große Strategie des Arbeitsdenkens, die auf die kausalen Beschränkungen des Arbeitsdenkens abhebt. Sie wird meist als Folgestrategie auftreten, indem nämlich nach einer Relevanzhierarchisierung immer noch problematische Komplexität auftreten kann. Denn Wirkungen können als relevant auftreten, die nicht innerhalb der Wirkhierarchie mit ihren antizipierten Wirkungsfolgen verortbar sind. Durch die Unmöglichkeit einer kausalen Einbindung werden diese spezifischen Wirkungen aus dem Kontext der Normalhierarchien heraus als „akausal“ wahrgenommen. Das verstößt gegen die kausale Komplexitätsbegrenzung des Denkens, und so müssen die akasalen Phänomene zumindest oberflächlich wieder epistemisch kausalisiert werden. Dabei wird meist ein Wechsel auf die nächstgrößere aber noch kleinstmögliche systemische Entität vorgenommen, in deren Kontext die emergente Eigenschaft regulär auftritt. Dieser systemischen Entität wird die normalhierarchisch nicht festzumachende Wirkung als „Systemeigenschaft“ in einer systemspezifizierten Kausalität zugeschrieben und in diesem Kausalzusammenhang additiv zu den Beschreibungen der Normalhierarchie zugesetzt. Die kausale Form: „Wenn System A, dann Systemeigenschaft p“ wird also gebildet, die jetzt als Systemkausalisierung gefasst werden soll. Mit dieser kausalen Neuordnung werden akasale Faktoren wieder epistemisch verarbeitbar gemacht. Die damit erfolgte epistemische Bereinigung der kausalen Probleme ist dabei zwar auf gewisse Weise nur Makulatur. Sie befriedigt aber dennoch das Bedürfnis nach Kausalität, wenn eben die intentional stark relevanten Zusammenhänge damit wieder handhabbar werden.

### 3.3 HILFSSTRATEGIEN

Nach der Darstellung dieser beiden Grundstrategien der Dekomplexierung können nun noch einige „Hilfsstrategien“ vorgestellt werden, die diesen Strategien zuarbeiten. Sie sind im handlungsanleitenden Denken und technischen Wissen auch oft auffällig und können hier nun systematisch erschlossen werden. Zuerst soll die Hilfsstrategie der Implizierung betrachtet werden. Implizierung als Prozess beschreibt die Verlagerung expliziten Wissens in implizites Wissen. Im Kontext der Strategie der Relevanzhierarchisierung kann das dann so definiert werden, dass es exakt das Wissen der nicht als steuerungs- und risikomäßig besonders relevant hervorgehobenen Teile der Folge-Wirkungs-Hierarchie ist. Es begleitet das Handeln automatisch und unbemerkt und erlaubt so den entproblematisierten, intuitiven Umgang mit den meisten Teilen der Folge-Wirkungs-Hierarchie. Das Arbeitsdenken wird erheblich entlastet und kann sich bei komplexeren Handlungen auf die wichtigsten Teile konzentrieren. Die Implizierung ist also klar eine die Relevanzhierarchisierung stützende Hilfsstrategie. Für den Kontext des technischen Wissens ist dies besonders interessant, da dort die Diskussion um das implizite Wissen einen prominenten Platz einnimmt. In Polanyis Urversion als „tacit knowledge“ wird es

häufig aufgegriffen<sup>13</sup>, aber auch als diffuser Einfluss sozialer Normen und Werte<sup>14</sup>, als „Bildhaftigkeit“ des technischen Entwickelns<sup>15</sup> oder als Corpus von diffusem Glauben und Vorwissen in der Aufstellung von wissenschaftlichen und technischen Problemen, Agenden und Kriterien.<sup>16</sup> Implizierung funktioniert nun allerdings nur in Umgebungen, die keine substantiell neuartigen Variationen aufweisen. Dann müssten die entsprechenden Komplexe wieder problematisiert werden, würden ins Arbeitsdenken gelangen und so definiert sich ja gerade die Relevanz der Relevanzhierarchisierung. Um also Implizierung als zuverlässige Strategie durchgehend zu erlauben, müssen die Umgebungen aus „normalisierten Standardparametern“ bestehen (und auch auf diese reduziert wahrgenommen werden). Deren Handhabung ist dann eingeübt und kann implizit und risikofrei unternommen werden. Dies spielt nun für die Technik erneut eine wichtige Rolle. Denn die Normierungen und Standardisierungen technischer Oberflächen, der Interfaces der gesamten technischen Umwelt und der Verhaltensweisen der Technik sind aus dieser Perspektive gerade Hilfsstrategien der Normalisierung der technisch-materialen Umgebung zum besseren wissensmäßigen Handeln. Sie ermöglichen die Strategien der Relevanzhierarchisierung und der Implizierung. Auch die vieldiskutierte Normativität des technischen Wissens<sup>17</sup> wird im Kontext mit der Strategie der Relevanzhierarchisierung als Ausprägung epistemischer Strategien zur Handlungsanleitung benennbar. Modularisierung ist schließlich eine weitere Hilfsstrategie. Sie liegt vor, wenn bestimmte Stellen einer Relevanzhierarchie eigenständig problematisiert werden müssen. Dazu werden dann an den entsprechenden Stellen partiale, kleine Sub-Normalhierarchien ausgebildet. Eine partielle Intention kann dann entlang einer eigenen Folge-Wirkungs-Hierarchie als Modul innerhalb der Haupthandlung formiert und verfolgt werden – etwa bei Problemen, bis eben der Wiederanschluss an die Haupthandlung ermöglicht wird. Dass diese Modularisierung problemfrei verlaufen kann, ist eine Konsequenz der durchgängigen wissensmäßigen Hierarchisierungen. Modularisierung erlaubt also eine „Rekomplexierung“ von Umgebungen, wobei aber trotzdem stets eine kleinformatige und vollkausale Oberfläche gewahrt werden kann. Der Zusammenhang zum technischen Wissen ergibt sich für die Modularisierung mehrfach. Zum einen in der Organisation des Wissens selbst, das eben stets modular seine Einzelbereiche ausbaut und sich stets auch um Anschluss an Hierarchien im Hinblick auf die Möglichkeit der Modularisierung bemüht. Es gibt sogar spezielle Disziplinen im Kanon der technischen Wissenschaften, die sich nur mit diesen Anschlussproblemen beschäftigen. Dann findet sich Modularisierung aber auch in der Organisation der materialen Technik selbst wieder. Diese ist aus zueinander fügbaren Modulen zusammengesetzt, die bei entsprechend steigender Komplexität der Gesamttechnologie getrennt voneinander bedient und verarbeitet wer-

<sup>13</sup> Vgl. Polanyi 1966, 1985, Hubig 2000, Irrgang 2001, Zoglauer 2005.

<sup>14</sup> Vgl. Bijker/Bonig/van Oost 1984, Bijker/Pinch 1987.

<sup>15</sup> Vgl. Ferguson 1992.

<sup>16</sup> Shapere 1998.

<sup>17</sup> Vor allem Franssen 2006, Vermaas/Houkes 2006, Scheele 2006, de Ridder 2006.

den können. So wird erkennbar, dass technische Module also entlang der begrenzten Möglichkeiten des Arbeitsdenkens organisiert sind. Das gilt auch für die modularisierte technische Entwicklung. Im Zusammenhang mit Modularisierungen und ebenfalls relevant für Technik und technisches Wissen sind letztlich auch Externalisierungen von Komplexität als eine weitere Form von Hilfsstrategien beobachtbar. Etwa können im Rahmen des Flugzeugbaus komplexe Rechnungen oder Simulationen externalisiert werden, indem sie (modular) von Rechnern übernommen werden oder Wissen kann modular in Büchern externalisiert sein. Auf diese Strategie soll allerdings nicht noch näher eingegangen werden.

#### 4 LEISTUNGSKRITERIEN TECHNISCHEN HANDLUNGSWISSENS

Technisches Wissen wird also soweit als grundlegend handlungsanleitender Natur und als strukturell determiniert durch die Bedingungen des Arbeitsdenkens und die darauf hinarbeitenden Strategien verstanden. Dazu lassen sich nun noch einige Leistungskriterien angeben. Konkret soll hier der Frage nachgespürt werden, was denn also anhand der spezifischen Ausrichtung und den gezeigten Modalitäten jetzt „gutes“ technisches Wissen von „schlechtem“ unterscheidet. Die „Technizität“ des technischen Wissens wird dabei leitend sein. Von ihr aus soll die Möglichkeit der Sinnhaftigkeit der Anwendung technischer Leistungskriterien auf das technische Wissen untersucht werden. Genauer soll betrachtet werden, ob technisches Wissen funktional, zuverlässig und effizient sein muss und wie sich das ausformulieren lässt.

##### 4.1 FUNKTIONALITÄT

Zuerst zur Funktionalität technischen Wissens. Sie ergibt sich unmittelbar als Teilfunktionalität der gesamten technischen Handlung. Technisches Wissen leitet den Gebrauch an, begleitet ihn, seine Entwicklung oder Komposition und ist so stets teilfunktional an der Erhaltung oder Herstellung der übergreifenden Funktionalität der technischen Handlung und der Technik beteiligt. Dies gilt, da alle kausalen Prozesse, die partial der Erreichung einer Funktionswirkung dienen, selbst von der Hauptfunktion aus kausal rückblickend funktional interpretiert werden können.<sup>18</sup> Wie genau ist technisches Wissen aber kausal an der Erreichung technischer Handlungsziele beteiligt? Hier hilft zunächst die Charakterisierung des Zusammenspiels von Handlung und kognitiver Handlungsantizipation weiter. Dazu wurde gesagt, dass eine Handlungsüberlegung zunächst ein inneres Handlungsmodell entwirft, nach dem dann praktisch verfahren werden kann. Ein situativ gebildetes technisches Wissen ist also folglich dann grundlegend funktional, wenn es ein prinzipiell kohärentes soziotechnisches inneres Handlungsmodell entwor-

---

<sup>18</sup> Zu den dabei eingetragenen Funktionsbegriffen vgl. Cummins 1972 und Kitcher 1993.

fen hat. Dazu gehören zwei iterative Schritte, die sich relevanzhierarchisch formulieren lassen. Erst muss die aktual problematische Situation in ihren für den Handlungstyp relevanten Bestandteilen konzipiert und spezifiziert werden. Dann muss eine Handlungsfolge durch die sukzessive Verbindung der als prinzipiell relevant festgestellten und spezifizierten Umgebungsparameter mit typischen handlungsmäßigen Aktionen in typischen Abfolgen entworfen werden. Das technische Wissen wird also einem Kompositionsprozess unterworfen, der intentions- und situationspezifisch das Handlungsmodell entlang der realen Umgebung als kohärente Folge-Wirkungshierarchie entwirft und fortlaufend aktualisiert. Damit kann nun Funktionalität für technisches Wissen definiert werden: „Ein situatives technisches Wissen ist funktional, wenn es die relevantesten Umgebungsparameter erfasst, für die Situation spezifiziert und folgend an ihnen fortlaufend aktualisierend ein kohärentes relevanzhierarchisches Handlungsmodell entwirft“.

#### 4.2 ZUVERLÄSSIGKEIT

Die in der Funktionalität gefassten Bedingungen sind nun allerdings noch nicht ausreichend, um ein technisches Wissen als vollends praktikabel zu erfassen. So wäre etwa ein technisches Wissens denkbar, das zwar minimal formal als funktional empfunden werden kann, indem es den iterativen Bildungsprozess durchlaufen hat und alle konstitutiven Teile in einem kohärenten Modell vereinigt hat, dies aber unvollständig oder falsch gemacht hat. So wäre also eine Handlungsanleitung konstruiert, die trotz theoretisch möglicher Funktionalität nicht auch faktisch funktional ist, da sie gerade die Handlung nicht zum Erfolg führt. Es muss also ein weiteres Kriterium hinzutreten, dass die faktische Funktionalität von der möglichen Funktionalität unterscheidet. Es muss bestimmen, wann nicht nur eine theoretisch vollständige und kohärente, sondern auch eine korrekte und im praktischen Sinne verwendbare Bildung eines soziotechnischen Handlungsmodells erfolgt ist. Das soll jetzt das Kriterium der Zuverlässigkeit leisten. Es soll die Bewertung eines technischen Wissens als hinreichend funktional erlauben. Zu Beginn soll die Bedeutung des Begriffs betrachtet werden, wobei zweckmäßig die Verwendung in der Technik herangezogen werden kann. Dort spricht man von Zuverlässigkeit als einem Maß der Beanspruchungsfähigkeit einer Technik<sup>19</sup> als Funktion von Beanspruchungsintensität und Widerstandsfähigkeit über die Zeit.<sup>20</sup> Diese Verwendung des Begriffs würde allerdings in direkter Übertragung für das handlungsanleitend genutzte, technische Wissen keinen Sinn machen. Wissen nutzt sich nicht durch hohe Beanspruchung in der Zeit ab. Was aber im Hintergrund der Formulierung der Zuverlässigkeit mitschwingt, ist die Anwendbarkeit über eine gewisse Zahl von Fällen. Ist eine Technologie in fast allen konkreten Fällen, für die sie eine oder mehrere Funktionen anbietet, funktional anwendbar und ist sie zuverlässig. Ist sie es nicht oder nur selten, ist sie unzuverlässig. Und in diesem letzten und breiten Sinne lässt sich das handlungsanleitend genutzte,

<sup>19</sup> Preuß 1978 und Birolini 2003.

<sup>20</sup> Rakowsky 2002 und Bertsche/Lechner 2004.

technische Wissen in seiner Funktionalität als zuverlässig oder unzuverlässig verorten: Es ist zuverlässig, wenn es in möglichst vielen Fällen, für die es handlungsleitend funktionieren soll, auch erfolgreich so funktioniert.<sup>21</sup> Dabei ist eingeschlossen, dass es nicht in allen Fällen funktionieren muss und trotzdem noch zuverlässig sein kann. Das ergibt sich aus einer nativen Eigenschaft der Technik: ihrer latenten Verhaltensungenauigkeit durch realweltliche Komplexität, die eine notwendige latente Vagheit allen handlungsanleitend genutzten, technischen Wissens nach sich zieht. Sie kommt zustande, indem komplexe Effekte wie emergente Eigenschaften in der realweltlichen Anwendung der Technik irreduzibel auftauchen und daher das Verhalten einer Technologie immer von antizipierten Normalfällen abweichen kann. Gelegentliche Abweichungen technischen Verhaltens vom wissensmäßig antizipierten Verhalten sind also folglich normal und damit kein Indiz der Unzuverlässigkeit des Wissens. Indem Zuverlässigkeit so die Gültigkeit eines Wissens funktional, pragmatisch-situativ und unter Einschluss normaler Abweichungen beschreiben kann, entspricht sie gerade dem realen Fall der Gültigkeit des technischen Wissens.

Mit der Zuverlässigkeit als „Zahl der realen Funktionalität“ wird für das technische Wissen auch eine empirische Relation hergestellt. Hier findet sich also die Möglichkeit einer „Falsifikation“ technischen Wissens, allerdings mit einem graduellen Bewertungsverhältnis. Denn nachdem wie erwähnt immer mit Abweichungen durch komplexe Effekte gerechnet werden muss, gilt Zuverlässigkeit immer nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit unter Eins. Es muss also pragmatisch vom Nutzer, vom Zuschreiber der Zuverlässigkeit, bestimmt werden, welcher Wahrscheinlichkeitswert noch als „zuverlässig“ gilt und welcher nicht. Das geschieht meist in deutlicher Relation zum Risiko. Zuverlässigkeit ist also ein graduelles und pragmatisches Kriterium, kein kategoriales wie die erkenntnisproduktive Wahrheit.

#### 4.3 EFFIZIENZ

Als letztes Bewertungskriterium handlungsanleitend genutzten, technischen Wissens soll noch die Effizienz technischen Wissens beschrieben werden. Effizienz ergibt sich ebenfalls aus den Möglichkeiten der Beurteilungen der Technik selbst. Ihre epistemische Bedeutung erkennt man, wenn bedacht wird, dass auch ein grundlegend korrekt funktionales, praktisch zuverlässiges Wissen auch „mehr“ oder „weniger“ praktikabel sein kann. Denn es kann die Funktion der Handlungsanleitung besonders „kurz und klar“ oder „lang und kompliziert“ erfüllen. Man kann etwa die Gebrauchsanweisung eines Autos in der Spezifikation der Umgebungsparameter und Handlungsanweisungen auch mit quantenmechanischer Terminologie und Präzision in ein mehrbändig enzyklopädisches Werk extendieren. Dies wäre immer noch epistemisch korrekt, funktional komponiert und sicher auch praktisch zuverlässig nutzbar. Allerdings würde es trotzdem kaum noch

<sup>21</sup> Eine ähnliche, technikhistorische Betrachtung zur Zuverlässigkeit technischen Wissens wurde übrigens von Constant unternommen. Vgl. Constant 1980, 1999.

als funktional beurteilt werden, indem Funktionalität gerade auch eine bestmögliche Funktionalität im Sinne mehrerer, sich überkreuzender Ökonomien bedeutet. Diese Ökonomien sind natürlich sehr zahlreich formierbar. Betrachtet man sie mit einiger Detail-schärfe, ließe sich ein großes Spektrum aufspannen. Hier allerdings soll dieses Spektrum möglicher Ökonomien auf zwei reduziert werden, die sich zwar auch überkreuzen, dennoch aber sinnvoll getrennt behauptet werden können: technisches Wissen wird von einer kognitiven und einer physischen Ökonomie durchzogen. Bei beiden kommt nun wieder Komplexität ins Spiel. Zunächst zur kognitiven Ökonomie. In den Betrachtungen des vorangegangenen Kapitels zum epistemischen Umgang mit Komplexität hat sich gezeigt, dass die komplexitätsspezifisch charakteristischen Grenzen des Denkens in Kapazität und Kausalität Relevanzhierarchisierungen und Systemkausalisierungen als epistemische Strategien nach sich gezogen haben. Darin ist an sich schon ein grundlegend ökonomisierendes Verhalten festgestellt. Dann ist auch sofort weiter klar, dass die Prozesse des Denkens noch umso besser kognitiv gehandhabt werden können, je kleiner, je übersichtlicher und je besser geordnet Problemkomplexe relevanzhierarchisiert werden und je weniger Möglichkeiten für relevante modulare Anbindungen und hierarchische Variationen bestehen. Das ist natürlich auch für nicht handlungsanleitendes, sondern erkenntnisproduzierendes Wissen in höherem Maß relevant. Man denke nur an Ockhams Rasiermesser. Aber im handlungsanleitend genutzten, technischen Wissen ist kognitive Einfachheit in vielen Fällen geradezu überlebenswichtig, indem der Gebrauch umso besser und risikofreier zu vollziehen ist, je quantitativ und kausal einfacher und klarer das innere Modell dieses Gebrauchs ist. Ein handlungsanleitend genutztes, technisches Wissen ist (in Anlehnung an Ockham) also gerade so zu organisieren, dass es in Ausdehnungen und Anbindungen einfach ist, aber dennoch zuverlässig zum Handlungserfolg leitet. Die physische Ökonomie erschließt sich folgend wieder aus der grundlegenden physischen Ökonomie allen Handelns. Handeln will zumeist aufgrund der notwendigen Aufwendung von natürlich begrenzten Mitteln im Vollzug einen größtmöglichen Erfolg unter geringstmöglichen Kosten erzielen. Als Kosten können physische Ressourcen wie etwa Energie, Materialien und Arbeitskraft adressiert werden. Leitet nun technisches Wissen technisches Handeln als immer um Einsparung von Ressourcen bemühtes Handeln an, so ist eine Anleitung, die den Erfolg unter Aufwendung von wenigen Ressourcen ermöglicht, einer Anleitung vorzuziehen, die entsprechend höhere Aufwendungen für den gleichen Erfolg hat. Das alles lässt sich nun zusammenführen: Ein technisches Wissen ist dann besonders effizient, wenn es das innere Handlungsmodell so organisiert, dass kognitiver und physischer Aufwand in der korrekten Befolgung zur zuverlässigen Erreichung des soziotechnischen Handlungsziels minimal sind.

#### 4.4 WAHRHEIT

Handlungsanleitend genutztes Wissen wird also nach den folgenden Merkmalen beurteilt: Funktionalität, Zuverlässigkeit und Effizienz, alles im Kontext des praktischen Handlungserfolgs. Dabei kann es nun als auffällig bezeichnet werden, dass die „exakte Wahrheit“ nicht als Bewertungsmerkmal handlungsanleitend genutzten, technischen Wissens mit aufgenommen wurde. Sie ist natürlich nicht völlig irrelevant, tritt aber als Qualitätsmerkmal in den Hintergrund. Sie ist der Funktionalität untergeordnet. Das Beispiel der quantenmechanischen Beschreibung der Gebrauchsanweisung eines Autos macht dies bereits deutlich. Während die quantenmechanische, eigentlich sogar die quantenfeldtheoretische Beschreibung sicherer die „wahre“ wäre, ist gerade diese nicht anwesend, nicht einmal auf dem hohen theoretischen Niveau der Entwicklung von Autos. Im Gegenteil wird sogar die „falsche“ newtonsche Physik verwendet, da ihre Beschreibungen weniger komplex und näher am handlungspraktisch beobachtbaren Verhalten sind. Das hat zwei Konsequenzen. Zum einen ist der genaue Einfluss von exakter Wahrheit auf das handlungsanleitend genutzte, technische Wissen zu klären. Zumindest für den Fall der technischen Theorie und theoretisch gestützten Entwicklung ist nämlich ein gewisser Anteil exakten Wissens durchaus als wünschenswert vorstellbar. Das soll hier allerdings nicht weiter verfolgt werden. Außerdem kann aber auch die der Epistemologie häufig zugrunde liegende Formulierung von Wissen als gerechtfertigtem, wahren Glauben einer kritischen Revision unterzogen werden müssen. Dass diese Frage nach einer neuen Einschätzung für den Fall der Technik nicht ungerechtfertigt ist, wurde bereits an anderen Stellen betont. So hat Davis Baird (2002) in seinen Überlegungen zur „thing-y-ness“ des „thing knowledge“ bereits erwähnt, dass das Modell des „justified true beliefs“ unter Revision geraten könnte. Und auch Randall Dipert (1995) und Marc de Vries (2003, 2005) teilen diese Einschätzung. Alle drei Autoren haben einen möglichen Unterschied allerdings nur indiziert und nicht genauer ausgearbeitet. Hier kann nun allerdings eine genauere Fassung dieser Intuition versucht werden. Als Ausgangspunkt soll Randall Diperts Einstellung genommen werden. Sie wird von de Vries zusammengefasst: „Our attitude towards artifacts is less a matter of having true beliefs by the most reliable criterion available than a certain usefulness in regarding them to be a certain way“.<sup>22</sup> Das als fundamental und unumstößlich betrachtete Kriterium exakter Wahrheit durch zuverlässige Prozesse der Glaubensformation wird also als dem Aspekt der Funktionalität untergeordnet empfunden. Exakt diese Intuition kann nun im Kontext der Bewertungen von handlungsanleitendem Wissen als zuverlässig und effizient präziser gemacht werden. Nicht wahrer Glaube ist nämlich für das technische Handeln sinnvoll. Im Bezug auf die Ziele des Handelns wird eher zuverlässiger und effizienter Glaube benötigt. Die Handlung wird also hier essentieller Sinnstifter. Die Rolle der Handlungsanleitung schafft einen wichtigen Unterschied. Für handlungsanleitendes Wissen ist Erkenntnis kein „Zweck an sich“ wie im erkenntnisproduzierenden Wissen. Es ist kein Ziel,

<sup>22</sup> de Vries 2003, S. 4.

sondern Mittel auf dem Weg zum Handeln, und es erhält seine Gültigkeit als "Wissen" aus dem Erfolg der Handlung. Wissen in der Rolle der Handlungsanleitung ist also mit dem Kriterium der „Wahrheit“ nicht unbedingt getroffen. In der Beschreibung von Wissen sollte es besser durch „Funktionalität“ ersetzt werden. Vor der Neuformulierung soll aber auch noch die Formulierung des "gerechtfertigt" variiert werden. Denn während die epistemologisch-klassische Formulierung hier vor allem auf die Intersubjektivität der klassisch durch unfalsifizierte Beobachtung gestützte Genese des Wissens abhebt, liegt die Rechtfertigung praktischen Wissen gerade in der Intersubjektivität der praktischen Anwendbarkeit<sup>23</sup>, also im Kriterium der Zuverlässigkeit. Handlungsanleitend genutztes (technisches) Wissen lässt sich also als „im Hinblick auf die Ermöglichung einer (soziotechnischen) Handlung zuverlässiger und effizienter Glaube“ formulieren. Außerdem lässt sich zusätzlich auch noch gutes handlungsanleitendes (technisches) Wissen beschreiben: als „im Hinblick auf die Ermöglichung einer (soziotechnischen) Handlung besonders zuverlässiger und besonders effizienter Glaube“. Diese Beschreibungen scheinen die Intuitionen zu Wissen in der Rolle der Handlungsanleitung im Allgemeinen und zu technischem Wissen in den meisten Fällen besser zu fassen.

## 5 ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN

Technisches Wissen wurde also als grundlegend handlungsanleitender Natur und als strukturell determiniert durch die Bedingungen des Arbeitsdenkens und die darauf hinarbeitenden Strategien verstanden. Dieser paradigmatisch neue Ansatz hat die Erarbeitung einiger im technischen Bereich deutlich sichtbarer epistemischer Strategien und die Aufstellung von technikhnen Leistungskriterien erlaubt.<sup>24</sup> Für eine wissenschaftstheoretische Exploration scheint der Zugang daher geeignet. Allerdings ist der Ansatz dahingehend kritikfähig, dass die meisten der Ergebnisse allgemein für handlungsanleitendes Wissen gelten werden und eine Spezifität technischen Wissens erst in nachgeordneten Bezügen hergestellt wurde. Der Ansatz könnte also auch als eine allgemeine „Theorie handlungsanleitenden Wissens“ geführt werden. Mir scheint aber die Exploration technischen Wissens in seiner Spezifität anders schwer erreichbar. Das kann letztlich auch damit zusammenhängen, dass technisches Wissen zu handlungsanleitendem Wissen durch dessen Technizität ohnehin immer äquivalent ist. Eine philosophische Argumentation unter Einbezug des Sprachgebrauchs der „technique“ würde diese These erlauben.

<sup>23</sup> Grunwald 2000.

<sup>24</sup> Einige konkrete Anwendungen auf wissenschaftstheoretische Themen ließen sich aufgrund des begrenzten Raumes leider nicht zeigen. In meiner Dissertation wurden allerdings Erklärung und Kausalität in Zusammenhang mit Relevanzhierarchisierung und Systemkausalisierung gebracht, womit sich Intuitionen zu technischer Erklärung und technischer Kausalität explizieren ließen.

## LITERATUR

**Anscombe 1957**

Anscombe, G. E. M.: Intention, Oxford: Basil Blackwell, 1957.

**Baird 2002**

Baird, D.: Thing Knowledge – Function and Truth. In: Techné - Journal of the Society for Philosophy and Technology 2 (2002), Nr. 6, p. 363-364.

**Bertsche/Lechner 2004**

Bertsche, B./Lechner, G.: Zuverlässigkeit in Maschinenbau und Fahrzeugtechnik. Ermittlung von Bauteil- und System-Zuverlässigkeiten, Berlin: Springer, 2004.

**Bijker/Bonig/van Oost 1984**

Bijker W. E./Bonig, J./van Oost, E.C.J.: The social construction of technological artefacts. In: Zeitschrift für Wissenschaftsforschung 2 (1984), Nr. 3, S. 39-52.

**Bijker/Pinch 1987**

Bijker W. E./Pinch, T.: The Social Construction of Facts and Artifacts. In: Bijker, W. E./Pinch, T./Hughes, T. P.: The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology, Cambridge/ME: MIT Press, 1987.

**Birolini 2003**

Birolini, A.: Reliability Engineering. Theory and Practice, Berlin: Springer, 2003.

**Constant 1980**

Constant, E. W. II.: The Origins of the Turbojet Revolution, Baltimore: Hopkins, 1980.

**Contant 1999**

Constant, E. W. II.: Reliable Knowledge and Unreliable Stuf. In: Technology and Culture (1999), Nr. 40, p. 224- 257.

**Cummins 1972**

Cummins, R.: Functional Analysis. In: Journal of Philosophy (1972), Nr. 72, p. 741-764.

**Davidson 1985**

Davidson, D.: Handlung und Ereignis, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1985.

**De Ridder 2006**

De Ridder, J.: The (Alleged) Inherent Normativity of Technological Explanations. In: *Techné - Journal of the Society for Philosophy and Technology* 1 (2006), Nr. 10, p. 97-116.

**De Vries 2003**

De Vries, M. J.: The Nature of Technological Knowledge: Extending Empirically Informed Studies into What Engineers Know. In: *Techné - Journal of the Society for Philosophy and Technology* 3 (2003), Nr. 6, p. 1-21.

**Dipert 1995**

Dipert, R. R.: Some Issues in the Theory of Artifacts. Defining 'Artifact' and Related Notions. In: *The Monist* (1995), Nr. 78, p. 119-135.

**Duncker 1935**

Duncker, K.: *Zur Psychologie des produktiven Denkens*, Berlin: Springer, 1935.

**Ericsson 1995**

Ericsson, K. A./Kintsch, W.: Long-term working memory. In: *Psychological Review* (1995), Nr. 102, p. 211-245.

**Ferguson 1992**

Ferguson, E.: *Engineering and the Mind's Eye*, Cambridge/MA: MIT Press, 1992.

**Franssen 2006**

Franssen, M.: The normativity of artefacts. In: *Studies in History and Philosophy of Science* (2006), Nr. 37, p. 42-57.

**Gaycken 2009**

Gaycken, S.: *Technisches Wissen – Denken im Dienste des Handelns*, Reihe Technikphilosophie, Berlin: LIT, 2009.

**Giere 1998**

Giere, R. N.: *Explaining Science. A Cognitive Approach*, Chicago u. a.: University of Chicago Press, 1998.

**Grunwald 2000**

Grunwald, A.: Wissenschaftstheoretische Perspektiven auf die Technikwissenschaften. In: Banse, G./Ropohl, G. (Hrsg): *Wissenskonzepte für die Ingenieurspraxis*. VDI Report Nr. 35, Düsseldorf, 2000, S. 7-24.

**Hacker 1986**

Hacker, W.: Arbeitspsychologie - Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. In: Schriften zur Arbeitspsychologie, Bern/Stuttgart/Toronto: Huber, 1986.

**Hacking 1983**

Hacking, I.: Representing and Intervening, Cambridge u. a.: Cambridge University Press, 1983.

**Hubig 2000**

Hubig, C.: Nicht-explizites Wissen. Noch mehr von der Natur lernen, Stuttgart, 2000, Studie BMBF.

**Irrgang 2001**

Irrgang, B.: Technische Kultur. Instrumentelles Verstehen und technisches Handeln, Paderborn: Schöningh, 2001.

**Kitcher 1989**

Kitcher, P.: Explanatory unification and the causal structure of the world. In: Kitcher, P./Salmon, W. (Hrsg): Scientific Explanation, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1989, p. 410-505.

**Kitcher 1993**

Kitcher, P.: Function and Design. In: Midwest Studies in Philosophy (1993), Nr. 18, p. 379-397.

**Miller 1956**

Miller, G. A.: The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. Some Limits on our Capacity for Processing Information. In: Psychological Review (1956), Nr. 63, p. 81-97.

**Miyake/Shah 1999**

Miyake, A./Shah, P. (Hrsg): Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control, Cambridge u. a.: Cambridge University Press, 1999.

**Polanyi 1966**

Polanyi, M.: The Tacit Dimension. In Prusak, L. (Hrsg): Knowledge in Organizations, Newton/MA: o. V. 1966, p. 135-146.

**Polanyi 1985**

Polanyi, M.: Implizites Wissen, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1985.

**Preuß 1978**

Preuß, H.: Die Zuverlässigkeit elektronischer Einrichtungen, Berlin: Verlag Technik, 1978.

**Rakowsky 2002**

Rakowsky, U. K.: System-Zuverlässigkeit. Terminologie, Methoden, Konzepte, Hagen, LiLoLe-Verlag, 2002.

**Salmon 1998**

Salmon, W. C.: Causality and Explanation, Oxford u. a.: Oxford University Press, 1998.

**Scheele 2006**

Scheele, M.: Social Norms in Artefact Use: proper functions 60 and action theory. In: Techné - Journal of the Society for Philosophy and Technology 1 (2006), Nr. 10, o. S.

**Schurz/Lambert 1994**

Schurz, G./Lambert, K.: Outline of a Theory of Scientific Understanding. In: Synthese (1994), Nr. 101, p. 65-120.

**Schurz 1995**

Schurz, G.: Scientific Explanation: A Critical Survey. In: Foundations of Science 1 (1995), Nr. 3, p. 429 - 465.

**Schurz 1996**

Schurz, G.: Unification, Understanding, and Scientific Progress. In: Meggle, G./Steinacker, P. (Hrsg): Proceedings of Analyomen II, Berlin: de Gruyter, 1996.

**Shapere 1998**

Shapere, D.: Building on What We Have Learned: The Relations between Science and Technology. In: Techné - Journal of the Society for Philosophy and Technology 2 (1998), Nr. 4, o. S.

**Simon 1996**

Simon, H. A.: Sciences of the Artificial, Cambridge/MA: MIT Press, 1996.

**Vermaas 2006**

Vermaas, P. E./Houkes, W. N.: Technical functions. A Drawbridge between the intentional and structural nature of technical artefacts. In: *Studies in History and Philosophy of Science* (2006), Nr. 37, p. 5-18.

**Yassine/Joglekar/Eppinger/Whitney 2003**

Yassine, A./Joglekar, N./Eppinger, S./Whitney, D.: Information Hiding in Product Development: The Design Churn Effect. In: *Research in Engineering Design* 3 (2003), Nr. 14, p. 131-144.

**Zempel 2002**

Zempel, J.: *Strategien der Handlungsregulation*, 2002. [<http://psydok.sulb.unisaarland.de/volltexte/2006/841/pdf/ZempelJeannette-2003-02-12.pdf>] (Abruf: 5. Mai 2006).

**Zoglauer 2006**

Zoglauer, T.: Implicit and Explicit Knowledge in Technology. In: *Paper des 14th Meeting of the Society for Philosophy and Technology*, (2005). [<http://www.tu-cottbus.de/tech-phil/Publikation/zoglauer-implicit.pdf>] (Abruf: 12. Juni 2006).



## > DANKSAGUNG

Dem Präsidium und seinen beiden Vorsitzenden, Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Dr. h. c. Reinhard Hüttl und Herrn Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. E. h. Henning Kagermann sowie den zur Zeit der Konferenzvorbereitung amtierenden Präsidenten Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. mult. Joachim Milberg sei für die wohlwollende Unterstützung und die Finanzierung des Workshops sowie des vorliegenden Ergebnisbandes gedankt. In gleicher Weise gilt der Dank des Herausgebers den Mitarbeitern der Geschäftsstelle der acatech Berlin, Herrn Dr. Andreas Möller und Herrn Dr. Ulrich Glotzbach, für die umsichtige Organisation des Workshops, trotz krankheitsbedingter Abwesenheit des Initiators, und für die Betreuung der Editionsarbeiten. Mein Dank gilt nicht zuletzt allen Teilnehmern des Workshops und den Autoren der Beiträge dieses Bandes für ihr Engagement und für die Geduld, mit der sie den Wünschen des Herausgebers entgegengekommen sind.

Cottbus, Berlin im Juli 2010

Klaus Kornwachs



## > TEILNEHMER DER KONFERENZ

Prof. Dr.-Ing. Dieter Ameling, Wirtschaftsvereinigung Stahl  
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck, TU Clausthal  
Dr. Jörg Bold, TU Berlin  
Dr. Volker Brennecke, VDI Düsseldorf  
Prof. Dr. Dr. h. c. Klaus Brockhoff, WHU Valendar  
Frau Maria Curter, TELI Journalistenvereinigung  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. H. Heinz Duddeck, TU Braunschweig  
Dr. Klaus Erlach, Fraunhofer IPA  
Dr. Ruth Federspiel, acatech  
Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann, Universität Erlangen-Nürnberg  
Herr Yetvart Ficiyian ZWF, Fraunhofer IPK  
Dr. Sandro Gaycken, Universität Stuttgart  
Prof. Dr. Thomas Gil, TU Berlin  
Dr. Ulrich Glotzbach, acatech  
Prof. Dr. Armin Grunwald, Forschungszentrum Karlsruhe  
Herr Christopher Hayes, Fraunhofer IPK  
Prof. Dr. Fred-Robert Heiker, Wuppertal  
Dr. Dirk Hillebrandt, IPN Kiel  
Prof. Dr.-Ing. Bernd Hillemeier, TU Berlin  
Herr Martin Hoffmann, Büro für Kommunikation, Berlin  
Prof. Dr.-Ing. Bernd-Robert Höhn, TU München  
Prof. Dr. Christoph Hubig, Universität Stuttgart  
Prof. Antonia Kesel, Hochschule Bremen  
Herr Steffen Koch, Fraunhofer IAO  
Prof. Dr. Wolfgang König, TU Berlin  
Dr.-Ing. Irene Krebs, BTU Cottbus  
Dr.-Ing. Christian Langenbach, DLR  
Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann, TU München  
Herr Joachim Lund, WFS Berlin  
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang H. Merker, Berlin  
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Walter Michaeli, RWTH Aachen  
Dr. Andreas Möller, acatech

Uni.-Prof. em. Dr. Jörg F. W. Negendank, GFZ Potsdam  
Herr Wolfgang Neuhaus, Freier Journalist, Berlin  
Prof. Dr. Hans Poser, TU Berlin  
Dr. Stefan Poser, HSU Hamburg  
Prof. Dr. Werner Rammert, TU Berlin  
Prof. Dr. Ortwin Renn, Universität Stuttgart  
Dr. Martina Röbbcke, acatech  
Herr Manfred Ronzheimer, BerliNews  
Frau Samia Salem, acatech  
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Eckehard Schnieder, TU Braunschweig  
Dr.-Ing. Carsten Schröder, acatech  
Prof. Dipl.-Ing. Hartmut Seeger, Universität Stuttgart  
Prof. em. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. Günter Spur, TU Berlin  
Prof. Dr.-Ing. Hans-Günther Wagemann, TU Berlin  
Prof. Dr.-Ing. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Engelbert Westkämper, Fraunhofer IPA  
Prof. Dr.-Ing. habil. Petra Winzer, Bergische Universität Wuppertal  
Prof. Dr. Dr. h. c. Walther Zimmerli, BTU Cottbus

## > AUTORENVERZEICHNIS

Prof. Dr. Dr. h. c. **Klaus Brockhoff**, geboren 1939, schloss 1962 sein Studium der Volkswirtschaftslehre an der Universität Bonn ab, 1965 Promotion, 1966 legte er sein Examen als Diplom-Kaufmann an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster ab. 1967-68 ging er mit einem Habilitationsstipendium der Deutschen Forschungsgemeinschaft als Visiting Scholar an die University of California in Berkeley. Nach seiner Habilitation wurde er zunächst Mitarbeiter des Forschungs- und Beratungsinstituts Battelle, wo er nach kurzer Zeit Leiter einer größeren Einheit wurde. 1970-1999 besetzte er den Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, später für Absatzwirtschaft und ab 1989 für Technologie- und Innovationsmanagement an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. 1999-2004 war er Rektor der WHU - Otto Beisheim School of Management. Seit 2004 wirkt er hier als Honorarprofessor.

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e. h. mult. Dr. h. c. mult. **Hans-Jörg Bullinger**, geboren 1944, Lehre als Betriebsschlosser bei der Daimler-Benz AG in Stuttgart-Untertürkheim, 1966 Beginn eines Maschinenbaustudiums an der Universität Stuttgart, Promotion 1974, Habilitation 1978. Er war von 1982 bis 2002 ordentlicher Professor für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement an der Universität Stuttgart sowie ab 1981 Leiter des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) in Stuttgart. Zu Beginn des Jahres 1991 wurde er Leiter des an der Universität Stuttgart neu eingerichteten Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement. 1998 erhielt er das Bundesverdienstkreuz am Bande für seine herausragenden Verdienste um Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft der Bundesrepublik Deutschland. Seit 2002 ist er Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft mit 58 Instituten in Deutschland und Sitz in München.

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. **Heinz Duddeck**, geb. 1928, studiert Bauingenieurwesen an der TH Hannover, forscht nach der Promotion von 1959 – 61 an der Stanford University, arbeitet von 1961 – 65 in der Baupraxis in Bern und Düsseldorf, habilitiert 1963 und ist seit 1966 Professor für Statik an der TU Braunschweig. Forschungsgebiete: Schalentheorie, Statik der Baukonstruktionen, Tunnel- und Felsberechnungen, komplexe Stoffmodelle, Ingenieur und Gesellschaft. Emeritierung 1996. Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften seit 1993 und in acatech seit 2002.

Dr. **Sandro Gaycken**, geboren 1973, Studium der Philosophie, der Physik und der In-dologie an der Humboldt-Universität in Berlin und am City College New York. Orga-nisatorisch und initiativ tätig in diversen Kulturprojekten sowie politische Aktivitäten im Chaos Computer Club. Schwerpunkte legte er in den Bereichen formale Logik, Kau-salität und Wissenschaftstheorie, später auch Grundlagen der Quantenmechanik und Philosophie der Physik. Promotion mit einer technikphilosophisch-wissenschaftstheore-tischen Arbeit als DFG-Stipendiat im Graduiertenkolleg des Instituts für Wissenschafts- und Technikforschung (IWT) in Bielefeld mit dem Thema "Technisches Wissen". Derzeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Stuttgart, Institut für Philosophie. Begonnene Habilitation zum Thema „Sicherheit“.

Dipl.-Ing., Dr. phil. **Ulrich Glotzbach**, Studium der Elektrotechnik und der Philosophie in Würzburg, Berlin und Kapstadt. Tätigkeit in verschiedenen Technologiebereichen: Solarenergie (Frankreich), Produkt- und produktionsintegrierter Umweltschutz (Witten), Wearable Computing/Smart Textiles (Bremen). Mehrere Patentanmeldungen. Promoti-on mit einer grundlagenphilosophischen Untersuchung zur Entstehung von Technik und dem Verhältnis von Technik und Ethik 2005 an der TU Braunschweig. Von 2004-2008 Geschäftsführer eines auf dem Gebiet mobiler Informations- und Kommunikationstechno-logie tätigen Forschungsverbundes des Landes Bremen. Seit Juni 2008 Referent im Projektzentrum der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech), seit Ja-nuar 2010 stellvertretender Leiter des Projektzentrums. Arbeitsschwerpunkte: Informa-tions- und Kommunikationstechnik, Grundfragen der Technikwissenschaften.

Prof. Dr. phil. habil. **Christoph Hubig**, geb. 1952; Studium der Philosophie und Kultur-wissenschaften in Saarbrücken und an der Technischen Universität Berlin, Promotion 1976, Habilitation 1983. Professuren für Praktische Philosophie/Technikphilosophie in Berlin, Karlsruhe und Leipzig. Von 1997 bis 2009 Professor für Wissenschaftstheo-rie und Technikphilosophie an der Universität Stuttgart; u.a. Kurator der Alcatel SEL-Stiftung „Zusammen-wirken von Mensch und Technik in Kommunikationssystemen“; Vorstandsmitglied der Deutschen Gesellschaft für Philosophie (1993-2003); Prorektor für „Struktur/Controlling“ der Universität Stuttgart. Projektleiter im SFB 627 „NEXUS“ und Principal Investigator im EXC 310 „Simulation Technology“. Seit 2010 Professur für Philosophie der wissenschaftlich-technischen Kultur an der Technischen Universität Darmstadt und Honorarprofessor an der Dalian University of Technology/VR China. Zahlreiche Veröffentlichungen mit den Schwerpunkten Technik- und Kulturphilosophie, Wissenschaftstheorie, Sozialphilosophie und anwendungsbezogene Ethik.

Prof. Dr.-Ing. **Matthias Kleiner**, geboren 1955, Maschinenbaustudium an der Universität Dortmund 1976-1982, Promotion 1987, Habilitation 1991. Von 1994-1998 hatte er den Lehrstuhl für Konstruktion und Fertigung der neugegründeten Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus inne. 1995-1996 Prorektor Planung und Finanzen im Gründungsrektorat der BTU Cottbus, 1997-2000 Vorsitzender der Wiss. Arbeitsgemeinschaft Umformtechnik (AGU), seit 1998 Universitätsprofessur für Umformtechnik an der Universität Dortmund, 2000-2002 Dekan der Fakultät Maschinenbau, anschließend bis 2005 Prodekan. Er war geschäftsführender Institutsleiter des neu gegründeten Instituts für Umformtechnik und Leichtbau (IUL) der Universität Dortmund. Dem geschäftsführenden Vorstand von acatech gehörte er von April 2005 bis Dezember 2006 an. Von 2005 bis 2006 war er DFG-Vizepräsident, seit Januar 2007 ist er DFG-Präsident.

Prof. Dr. **Wolfgang König**, geb. 1949, hat Geschichte, Geographie, Soziologie und Politik studiert. Beim Verein Deutscher Ingenieure war er von 1978-1985 verantwortlich für die Arbeitsgebiete Technikgeschichte und Technikbewertung. 1985 folgte er einem Ruf auf die zunächst durch die Volkswagenstiftung finanzierte Stiftungsprofessur Technikgeschichte an der Technischen Universität Berlin. Seine wissenschaftlichen Arbeiten beziehen sich auf die Berufs- und Bildungsgeschichte der Ingenieure, die technische Entwicklung im 19. und 20. Jahrhundert mit Schwerpunkten auf dem Maschinenbau und der Elektrotechnik, die Konsumgeschichte sowie die Technikbewertung und die Technikphilosophie.

Prof. Dr. phil. habil. Dipl. Phys. **Klaus Kornwachs**, geb 1947, Studium der Physik, Mathematik und Philosophie, Diplom in Physik 1973, Promotion 1976, Habilitation in Philosophie an der Universität Stuttgart 1987. Von 1979-1992 Mitarbeiter beim Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, und beim Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart. Seit 1990 Honorarprofessor der Universität Ulm, seit 1992 Inhaber des Lehrstuhls für Technikphilosophie an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus. Gründer und Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Systemforschung, 1991 Forschungspreis der Alcatel SEL-Stiftung für Technische Kommunikation, 1997-98 Direktor des Zentrums für Technik und Gesellschaft der BTU Cottbus. Gastprofessor in Budapest und Wien. Bis 2008 Leiter des Bereichs „Mensch und Technik“ im VDI. Seit 2007 Leiter des acatech-Themennetzwerkes „Forschung und Innovation“.

Prof. Dr.-Ing. **Udo Lindemann**, geboren 1948, Maschinenbaustudium an der Universität Hannover. Ab 1974 arbeitete er dort als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Maschinenelemente und hydraulische Strömungsmaschinen. An der Technischen Universität München provierte er 1979 über die "Systemtechnische Betrachtung des Konstrukti-

onsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt". Anschließend war er in leitenden Positionen in den Bereichen Konstruktionstechnik, Produktentwicklung, sowie Regel- und Prüfsysteme bei der Fa. Renk AG in Augsburg tätig. 1992 wurde er zum Vorsitzenden der MAN Miller Druckmaschinen GmbH. Zudem engagierte er sich intensiv in Kostenanalyse-Arbeitskreisen der FVA im VDMA, als VDI-EKV-Vertreter im VDI-Gemeinschaftsausschuss "Industrielle Systemtechnik (GIS)" sowie im VDI-Ausschuss "Methodisches Konstruieren". Seit 1995 leitet er den Lehrstuhl für Produktentwicklung an der Technischen Universität München.

Prof. Dr. **Werner Rammert**, geboren 1949, promovierte nach einem Studium der Sozialwissenschaften in Bochum, Bielefeld und den USA und nach Forschungen über die Hochenergiephysik, die Innovation in High Tech-Industrien und den Wandel industrieller und wissenschaftlicher Arbeit 1981 mit dem Thema "Soziale Dynamik der technischen Entwicklung". Er habilitierte 1988 an der Universität Bielefeld, war von 1991 bis 1999 Professor für Soziologie an der Freien Universität Berlin und ist seit 1999 Professor für Techniksoziologie an der Technischen Universität Berlin. Dort ist er Direktor des Instituts für Soziologie und des interdisziplinären Forschungszentrums für Technik und Gesellschaft. Er gründete u. a. 1999 das DFG-Forschungsprogramm "Sozionik". Sein Forschungsinteresse gilt den vielfältigen Innovationen der Gesellschaft, den verteilten Formen der Wissensproduktion und den Entstehungs- und Verwendungskontexten von Techniken, besonders im Bereich der IuK- und der KI-Techniken und an den Schnittstellen von Mensch und Maschine. Er steht für eine "technik-orientierte" und "konstruktive Soziologie", die sich gemeinsam mit Informatikern, Ingenieuren und Medizinern an der nachhaltigen Verbesserung sozio-technischer Systeme im Hinblick auf Nachhaltigkeit, Nutzbarkeit und Sicherheit gestaltend beteiligt.

Prof. a. D. Dr.-Ing. habil., Dipl.-Ing. **Günter Ropohl** geb. 1939, nach einem Studium des Maschinenbaus und der Philosophie an der Universität Stuttgart promovierte er dort 1970, Habilitation in Philosophie und Soziologie 1978 in Karlsruhe, Professor für Philosophie und Soziologie der Technik 1979-1981 und Leiter des Studium Generale an der Universität Karlsruhe 1979-1987, Universität Frankfurt seit 1981. Kursdirektor und Gastdozent am Inter-University Centre Dubrovnik (Kroatien) 1983-1991. Gastprofessuren: Rochester Institute of Technology, Rochester NY (USA) 1988, Universität Stuttgart 1998. Jahrelange Mitwirkung in Gremien und Ausschüssen des VDI. Bis 2004 war er Professor für Allgemeine Technologie am Institut für Polytechnik/Arbeitslehre der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main.

Prof. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. mult. Dr.-Ing. **Günter Spur**, geboren 1928, ist Emeritierter Professor der Technischen Universität Berlin. Über Jahrzehnte Leitung des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin sowie des Fraunhofer-Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik. 1991 bis 1996 Gründungsrektor der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus. Bedeutende Beiträge zur Produktionswissenschaft – vor allem auf den Gebieten der Werkzeugmaschinen und der Fertigungstechnik, des Fabrikbetriebes sowie der rechnerintegrierten Produktion. Über 800 Zeitschriften- und Buchveröffentlichungen sowie zahlreiche Vorträge im In- und Ausland sind Bestandteil seiner Forschungsarbeiten. Günter Spur ist Mitglied in zahlreichen wissenschaftlichen Institutionen und Akademien und Mitgründer der acatech. Seine Verdienste als Wissenschaftler und Hochschullehrer wurden auch international durch hohe Auszeichnungen und Ehrungen gewürdigt.

Prof. **Nico Stehr**, Ph.D., studierte Ökonomie und Soziologie in Köln und Oregon (Dipl. 1967, Ph.D. in Soziologie 1970). Lehrte in Oregon, Alberta (Kanada), British Columbia (Kanada) und an der Universität München. Zudem zahlreiche Gastprofessuren in Wien, Zürich, Konstanz, Augsburg und Duisburg. 2001 Alacatel Stiftungsprofessur TH Darmstadt sowie 2002-2003 Paul-Lazarsfeld-Professur der Universität Wien. Er ist seit 2004 Karl Mannheim Professor for Cultural Studies an der Zeppelin University in Friedrichshafen und Fellow am Kulturwissenschaftlichen Institut in Essen. Zahlreiche Mitgliedschaften und Buchveröffentlichungen über Wissensgesellschaft, Moderne Ökonomie und Kulturwissenschaften. Er war bis 2007, 30 Jahre Herausgeber des *Canadian Journal of Sociology* und ist Fellow der Royal Society (Kanada). Seit Mitte 2006 leitet er an der Zeppelin University ein dreijähriges, von der EU Kommission gefördertes Forschungsprojekt zum gesellschaftspolitischen Umgang mit den so genannten "converging technologies" (d.h. Biotechnologie, Nanotechnologie, Informationswissenschaften und kognitive Wissenschaften).

Prof. Dr. phil. habil. DPhil. h. c. (University of Stellenbosch) **Walther Ch. Zimmerli**, geboren 1945, ist beurlaubter Professor der Phillips-Universität Marburg. Nach einem Studienaufenthalt am Yale College studierte er Philosophie, Germanistik und Anglistik an den Universitäten Göttingen und Zürich. Nach der Promotion 1971 wurde er Assistent und Lehrbeauftragter für Philosophie in Zürich und habilitierte sich dort 1978. Nach Lehrstühlen an der Technischen Universität Braunschweig sowie an den Universitäten Bamberg und Erlangen-Nürnberg hatte er seit 1996 den Lehrstuhl für Praktische Philosophie der Phillips-Universität Marburg inne. Von 1999 bis 2002 wirkte er als Präsident der privaten Universität Witten/Herdecke. Von 2002 bis 2007 war er Mitglied im Topmanagement und Präsident der AutoUni des Volkswagen Konzerns sowie von 2002 bis 2006 auch Mitglied der Geschäftsführung der Volkswagen Coaching GmbH. Von 1988

bis 1992 wirkte er als Vorsitzender des Ausschusses für Philosophie der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Seit 2002 ist er Ehrendoktor der University of Stellenbosch (Südafrika). 2003 ernannte ihn die TU Braunschweig zum Honorarprofessor. Mitgliedschaften in verschiedenen Akademien, u. a. der SATW (seit 1993) und der acatech (seit 2004). Zahlreiche Veröffentlichungen aus dem Bereich Wissenschaftstheorie, Technikphilosophie und Angewandte Ethik. Seit 15. Mai 2007 ist Prof. Zimmerli Präsident der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus.

## > **acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN**

acatech vertritt die Interessen der deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu erleichtern und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um die Akzeptanz des technischen Fortschritts in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft deutlich zu machen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten aus Industrie, Wissenschaft und Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland; das Präsidium, das von den Akademiemitgliedern und vom Senat bestimmt wird, lenkt die Arbeit. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin vertreten.

Weitere Informationen unter [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

## > **acatech DISKUTIERT**

Die Reihe „acatech diskutiert“ dient der Dokumentation von Symposien, Workshops und weiteren Veranstaltungen der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften. Darüber hinaus werden in der Reihe auch Ergebnisse aus Projektarbeiten bei acatech veröffentlicht. Die Bände dieser Reihe liegen generell in der inhaltlichen Verantwortung der jeweiligen Herausgeber und Autoren.

**BISHER SIND IN DER REIHE „acatech DISKUTIERT“ FOLGENDE BÄNDE ERSCIENEN:**

Martina Zieffle/Eva-Maria Jakobs (Hrsg.): *Wege zur Technikfaszination* (acatech diskutiert), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2009

Petra Winzer/Eckehard Schnieder/Friedrich-Wilhelm Bach (Hrsg.): *Sicherheitsforschung – Chancen und Perspektiven* (acatech diskutiert), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2009

Thomas Schmitz-Rode (Hrsg.): *Runder Tisch Medizintechnik. Wege zur beschleunigten Zulassung und Erstattung innovativer Medizinprodukte* (acatech diskutiert), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2009.

Otthein Herzog/Thomas Schildhauer (Hrsg.): *Intelligente Objekte. Technische Gestaltung – Wirtschaftliche Verwertung – Gesellschaftliche Wirkung* (acatech diskutiert), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2009.

Thomas Bley (Hrsg.): *Biotechnologische Energieumwandlung. Gegenwärtige Situation, Chancen und Künftiger Forschungsbedarf* (acatech diskutiert), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2009.

Joachim Milberg (Hrsg.): *Förderung des Nachwuchses in Technik und Naturwissenschaft. Beiträge zu den zentralen Handlungsfeldern* (acatech diskutiert), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2009.

Norbert Gronau/Walter Eversheim (Hrsg.): *Umgang mit Wissen im interkulturellen Vergleich. Beiträge aus Forschung und Unternehmenspraxis* (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008.

Martin Grötschel/Klaus Lucas/Volker Mehrmann (Hrsg.): *Produktionsfaktor Mathematik. Wie Mathematik Technik und Wirtschaft bewegt* (acatech diskutiert), Heidelberg u. a.: Springer Verlag 2008.

Thomas Schmitz-Rode (Hrsg.): *Hot Topics der Medizintechnik. acatech Empfehlungen in der Diskussion* (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008.

Hartwig Höcker (Hrsg.): *Werkstoffe als Motor für Innovationen* (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008.

Friedemann Mattern (Hrsg.): *Wie arbeiten die Suchmaschinen von morgen? Informati- onstechnische, politische und ökonomische Perspektiven* (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008.

Klaus Kornwachs (Hrsg.): *Bedingungen und Triebkräfte technologischer Innovationen* (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2007.

Hans Kurt Tönshoff/Jürgen Gausemeier (Hrsg.): *Migration von Wertschöpfung. Zur Zu- kunft von Produktion und Entwicklung in Deutschland* (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2007.

Andreas Pfingsten/Franz Rammig (Hrsg.): *Informatik bewegt! Informationstechnik in Verkehr und Logistik* (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2007.

Bernd Hillemeier (Hrsg.): *Die Zukunft der Energieversorgung in Deutschland. Herausfor- derungen und Perspektiven für eine neue deutsche Energiepolitik* (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2006.

Günter Spur (Hrsg.): *Wachstum durch technologische Innovationen. Beiträge aus Wis- senschaft und Wirtschaft* (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2006.

Günter Spur (Hrsg.): *Auf dem Weg in die Gesundheitsgesellschaft. Ansätze für innovative Gesundheitstechnologien* (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2005.

Günter Pritschow (Hrsg.): *Projektarbeiten in der Ingenieurausbildung. Sammlung bei- spielgebender Projektarbeiten an Technischen Universitäten in Deutschland* (acatech diskutiert), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2005.