

Forschungszentrum Arbeit und Technik

artec

Hans Dieter Hellige

LEITBILDER, PROBLEMSTRUKTUREN UND LEBENSZYKLEN INFORMATIONEN-TECHNISCHER
SYSTEME: ÜBER POTENTIALE UND GRENZEN HERMENEUTISCHER, SYSTEMSTRUKTU-
RELLER UND SYSTEMHISTORISCHER TECHNIKBEWERTUNGSANSÄTZE

Vortrag beim Diskursprojekt "Sozialgeschichte der Informatik"
im Fachbereich Informatik der TU Berlin im Februar 1996

Universität Bremen

LEITBILDER, PROBLEMSTRUKTUREN UND LEBENSZYKLEN INFORMATIONSTECHNISCHER
SYSTEME: ÜBER POTENTIALE UND GRENZEN HERMENEUTISCHER, SYSTEMSTRUKTU-
RELLER UND SYSTEMHISTORISCHER TECHNIKBEWERTUNGSANSÄTZE

HANS DIETER HELDIGE

Ich möchte im folgenden theoretische Überlegungen vorstellen, die aus Ergebnissen eines mehrjährigen Projektes am Forschungszentrum Arbeit und Technik hervorgegangen sind. Darin ging es um eine historische Rekonstruktion und vergleichende Analyse einzelner Techniken der Telekommunikation und der Computervernetzung. Diese komparatistischen Studien wurden mit einer Theorie- und Methodenauswertung von Technikgenese Ansätzen der Technikgeschichte und der Techniksoziologie sowie der ingenieurwissenschaftlichen Konstruktionsmethodik verknüpft. Ziel der Untersuchung war die Entwicklung spezifisch technikhistorischer Analyseinstrumente für eine retrospektive und wenn möglich auch prospektive Technikbewertung. Die Auswertung endete mit dem Ergebnis, daß sich eine Bewertung eines technischen Artefaktes oder Systems nicht ausschließlich auf Leitbild- oder Metaphernanalysen, auf die systemstrukturelle Betrachtung noch auf die dynamische Untersuchung des Technologielebenszyklus stützen kann. Das Analyse- und Bewertungsinstrumentarium sollte vielmehr alle drei Zugänge enthalten, nämlich

- die hermeneutische Analyse von Leitbildern, Metaphern, Übertragungs- und Prägungsprozessen sowie komplexerer Problemlösungshorizonte.
- die systemische Analyse der Problemstrukturen, des Geflechtes der strategischen Gestaltungsmerkmale und der damit verbundenen Designkonflikte sowie
- die Analyse der Entwicklungsdynamik technischer Systeme, die Betrachtung der diversen dynamischen Prozesse von Produkt- bzw. Technologielebenszyklen, insbesondere Verschiebungen innerhalb der Problemstruktur aus der Perspektive der Nutzungs- und Endphase.

Der Schwerpunkt meiner Ausführungen wird auf den theoretisch-methodischen Ergebnissen liegen. Im Mittelpunkt stehen dabei die Hermeneutik und die Problemstruktur, während die Dynamik nur kurz angerissen wird.

Ich beginne mit den hermeneutischen Analyse- und Bewertungsansätzen.

1. DIE HERMENEUTISCHE ANALYSE VON LEITBILDERN, METAPHERN, ÜBERTRAGUNGS- UND PRÄGUNGSPROZESSEN

Die Wahl des Begriffes Hermeneutik soll hierbei keine grundlegende philosophische Verortung signalisieren oder die Anlehnung an eine bestimmte hermeneutische Schule ausdrücken, etwa Heidegger, Gadamer, Betti oder Habermas. Eine zu enge Verklammerung mit dem philosophischen Richtungsstreit ist für die Technikanalyse und -bewertung m. E. auch wenig hilfreich. Denn hier geht es in erster Linie um Praxis und Wirklichkeitskonstruktion, nicht um die Frage der prinzipiellen Erkennbarkeit objektiver Wahrheiten oder um das Interpretieren von Sinnbezügen und Sprachverstehen im Allgemeinen. Unter Hermeneutik im Kontext von Technikgenese, -gestaltung und -bewertung möchte ich vielmehr alle die Ansätze und Konzepte zusammenfassen, die die Bedeutung von Verstehensprozessen, Vorverständnissen, Vorprägungen und Übertragungen untersuchen und dabei insbesondere subjektbezogene Wahrnehmungsfiler und gruppen-, professions- oder sozialspezifische Bewußtseins- und Werthorizonte herausarbeiten wollen. Diese hermeneutischen Analyse- und Bewertungsansätze sollen dazu beitragen, perspektivische Einengungen der Problemwahrnehmung, der Gestaltungsorientierung zu reflektieren und dadurch unbewußten Vorprägungen, Vorverständnissen und Übertragungen ihre Wirkungsmacht zu nehmen. Eine Hermeneutik von Technikgeneseprozessen schafft durch die Aufdeckung von Vorfixierungen, Werthaltungen aber nur die Voraussetzung für die bewußtere Gestaltung. Sie erfaßt weder die realen Interessendifferenzen und Bargainingprozesse noch die konkreten Wirkungszusammenhänge technischer Gebilde und Systeme. Für diese Aspekte werden Analyse- und Bewertungsansätze erforderlich, die jenseits der Ebene von Verstehen und Intentionalität die problemstrukturellen Zusammenhänge und Designkonflikte bzw. die dynamischen Entwicklungsprozesse von Technologielebenszyklen erforschen.

Hermeneutische Ansätze in der Technik sind nicht erst neueren Datums. Daß kulturelle Vorprägungen und spezifische Orientierungen von Erfindern eine große Rolle bei der Entstehung und besonderen Ausprägung von Techniken spielen, wird bereits seitdem 19. Jahrhundert von der heroischen Erfindungsgeschichte, der Erfinderpsychologie und der romantischen Lehre von nationalen Technikzüchtungen thematisiert. Doch erst in den letzten beiden Jahrzehnten ist es zu einer systematischen Erforschung derartiger Orientierungsmuster und Bewußtseinsprägungen im Technikbereich gekommen. Die Wissenschafts- und Techniksoziologie wie die Technikgeschichte haben im Anschluß an Kuhn's Paradigmen-Begriff eine Reihe von theoretischen Kontingenzansätzen entwickelt, die die lineare Vorstellung der Technikevolution immer stärker zugunsten akteursspezifischer Lösungs- und Orientierungsmuster auflösten: So das *Trajectory*- und das *Projekt*-Konzept, das technische *Stil-Konzept* einschließlich *Konstruktionsstile* sowie schließlich der *Wissenskultur- und Leitbildansatz*. Der Focus verschob sich dabei immer von der Makro- zur Mikroperspektive und von der gesellschaftlichen Prozeßlogik zur Hermeneutik von Verstehens- und Verständigungsakten.

HERMENEUTISCHE ANSÄTZE IN DER TECHNIK

Technikkulturen

Technikstile

Technikbilder

Problemlösungshorizonte

Konstruktionsstile

Paradigmen

Technikleitbilder

Metaphern

Benutzermodelle

Mentale Modelle

Auch die Informatik und hier speziell die Software-Entwicklung und -Ergonomie haben seit den siebziger Jahren mit der Entdeckung der Bedeutung von Mentalen Modellen, Nutzer-Modellen und Metaphern sowie mit dem Perspektiven- und Model-Power-Konzept das Wissen über hermeneutische Prozesse zwischen Technikproduzenten und -nutzern stark erweitert. Der besondere Konstruktionsgegenstand Software hat hier Erkenntnisse zu Tage gefördert, die der Mechanik- bzw. Elektrokonstruktionslehre bis vor kurzem verschlossen blieben. Erst in den letzten Jahren entdeckt man auch hier, daß der subjektive Horizont des Konstrukteurs auf dem Hintergrund des kulturellen und gesellschaftlichen Umfeldes die technischen Lösungen wesentlich prägt (Andreas Rutz). Neuerdings beteiligen sich auch Psychologie und Philosophie verstärkt an der Erforschung von Modellbildungs- und Übertragungsprozessen in der Technik. Von einer elaborierten Hermeneutik des technischen Gestaltens kann man trotz dieser Forschungsanstrengungen aber noch nicht sprechen. Dazu fehlt es noch an einer Zusammenschau der verschiedenen Phänomene und erst recht an einer Systematisierung hermeneutischer Prozesse im Technischen Handeln.

In einem ersten Entwurf zu einer Systematik unterscheide ich von den allgemein-gesellschaftlichen Horizonten Technischer Kulturen, Technikstile und Technikbilder, die mich weniger interessieren, den Erfahrungs- und Vorverständnis-Horizont der Technikentwickler. Ihn bezeichne ich schon seit längerem als *Technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizont*. Die Horizontmetapher trägt hier dem von allen Richtungen der Hermeneutik herausgearbeiteten Hintergrundcharakter von Vorverständnissen Rechnung und das heißt auch ihrer Unschärfe und begrenzten rationalen Explizierbarkeit. Dies steht im Gegensatz zu der Auffassung des Technikphilosophen Günter Ropohl, der in seiner "Systemtheorie der Technik" zwar von der Existenz von Verstehensvorgängen im Technischen Handeln ausgeht, diese aber ohne besondere Methoden, allein mit dem systemtheoretischen Instrumentarium, in völlig objektives rationales Wissen überführen möchte. Demgegenüber halte ich nur eine begrenzte Bewußtmachung und Explikation von impliziten Vorverständnissen, Werthaltungen und Vorprägungen für möglich, und das auch nur mit spezifisch hermeneutischen Methoden und Konzepten. Zu ihnen rechne ich auf der einen Seite das Perspektivenkonzept, das durch die Gegenüberstellung unterschiedlicher Sichtweisen verabsolutierte Standpunkte auflöst und scheinbare Selbstverständlichkeiten relativiert. Auf der anderen Seite stehen eine Reihe bereichs- oder aspektspezifischer Orientierungsmuster, wie z.B. Leitbilder und Metaphern.

Der *Perspektivenansatz* geht zurück auf die kritische Auseinandersetzung arbeitnehmerorientierter Informatiker und Systementwickler in Skandinavien mit dem herrschenden, scheinbar objektiven und interessensneutralen Systemmodell-Denken. Kristen Nygård, Lars Matthiassen, Pelle Ehn, Gro Bjerknes u.a. demonstrierten auf der Grundlage von Erfahrungen mit partizipatorischen Systementwicklungen, wie sich die Gestaltung der Systeme durch einen Wechsel von der Perspektive der Systemeigner und -konstrukteure zu den unmittelbaren Benutzern veränderte. Bei der empirischen Beobachtung von Entwicklungs-

und Implementierungsprozessen erkannten sie dabei eine deutliche Ungleichverteilung der Chancen der beteiligten Akteure bei der Artikulation und Durchsetzung der eigenen Sichtweisen. Die sich aus der prinzipiellen Benachteiligung von Nichtexperten und Arbeitnehmern in der Systementwicklung ergebende Kritik am Habermas'schen Ideal eines herrschaftsfreien Dialoges führte schließlich zur Formulierung des *Model-Power-Konzeptes* durch Stein Bråten, Markus und Bjørn-Andersen. Die strukturierende Macht von Perspektiven in kognitiven und Entwicklungs-Prozessen, durch die der Entwurf auf bestimmte Aspekte fokussiert wird, während andere von vornherein ausgeblendet bleiben, muß danach erst einmal zugunsten einer multiperspektivischen Sicht aufgehoben werden, um die Vielfalt der Gestaltungsmöglichkeiten zu erschließen. Der Perspektiven-Ansatz dient so vor allem einer Relativierung sich ausschließender Paradigmen zugunsten einer "multi-perspective reflection", in der unterschiedliche Sichten koexistieren können.

Der Perspektivenbegriff blieb jedoch nicht auf die Akteure beschränkt, bald wurde er auch auf die Objekte der akteursspezifischen Sichtweisen ausgedehnt. Er bezeichnet dann auch grundlegende Betrachtungs- Gestaltungs- und Nutzungsdifferenzen von Arbeits- und Gebrauchsgegenständen. Durch diese dekonstruktivistische Ausweitung und verstärkt durch den Einfluß der Postmoderne löste sich der Perspektivenansatz immer mehr vom ursprünglichen Sozialbezug. Nicht mehr die Aufdeckung verdeckter Interessenkonstellationen oder professioneller Orientierungen als Voraussetzung für das Aushandeln von Gestaltungsprioritäten stehen nun im Zentrum, sondern eine allgemeine Relativierung von Sichtweisen.

Während Perspektiven scheinwerferartig Teile des Horizontes ausleuchten und dadurch ihre erhellende und relativierende Wirkung ausüben, erschließen die anderen hermeneutischen Ansätze abgegrenzte Bedeutungs- und Vorverständnisbezirke. Auch diese Analysemethoden arbeiten bestimmte Orientierungen, Prägungen und Übertragungsmuster heraus und zeigen dadurch spezifisch historisch-gesellschaftliche, kulturelle oder professionelle Verengungen auf, die bewußte, problemadäquate Lösungen behindern. Sie reichen von besonderen kognitiven Wahrnehmungsweisen über Zielvorstellungsbündel bis hin zu komplexen soziokulturellen Orientierungsmustern. Keinem der in der Diskussion befindlichen Analyseinstrumente, auch nicht dem Leitbildkonzept, ist es bisher gelungen, die konkurrierenden Ansätze zu verdrängen. Man muß deshalb wohl von einem Nebeneinander bzw. Zusammenwirken der verschiedenen Orientierungsmuster im Problemlösungshorizont ausgehen und die hermeneutische Betrachtung entsprechend vielgestaltig anlegen.

Auf der untersten Stufe stehen die *Mentalen Modelle*, noch am Übergang von der experimentellen Wahrnehmungspsychologie zur Hermeneutik. Doch auch sie stellen bereits sozialgeprägte Vorverständnisse dar, da sie auf vorangegangenen Prägungen und Erfahrungen beruhen. Sie sind besonders wichtig für eine übergangsgerechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion. Die *Benutzermodelle*, die als "the designers model of the user" zusammen mit den

mentalen Modellen zwischen 1977 und 1979 von Gentner und Norman, Lawrence Miller von Xerox und der englischen Forschergruppe um Morton und Hammond als Konzept entwickelt wurden, sind lange Zeit nicht als ein hermeneutisches Problem gesehen worden, das das Selbstverständnis des Entwicklers und die Expertenrolle infrage stellt. Vielmehr erschien es vorwiegend als ein Problem der adäquaten Repräsentation des Mängelwesens Benutzer im System. Erst im Rahmen des evolutionären Software-Gestaltungskonzeptes von Floyd, Pasch u.a. sowie neuerer Ansätze zur diskursiven Systemvalidierung von Andelfinger, werden die hermeneutischen Grundlagen des Verstehens der Kooperationspartner in der Systemgestaltung voll erschlossen.

Metaphern bilden, bezogen auf den gesellschaftlichen Gehalt, den Übergang von mentalen Modellen zu den Leitbildern. Denn auch hierbei wird an vertraute Gestaltmuster und Erfahrungen angeknüpft, um möglichst übergangsgerechte Lösungsmuster zu generieren. Metaphern sind keinesfalls nur eine Begleiterscheinung der Modellierung von Arbeits- und Handlungsabläufen auf dem Rechner, wie es die informatische Metaphernforschung nahelegt. Die Gestaltfindung bei Telegrafien, Telefonen, elektrischen Herden, Waschmaschinen sowie von mechanischen Rechen- und Schreibmaschinen zeigt vielmehr, daß man Metaphern offenbar als einen wesentlichen Bestandteil der Artefaktkonstruktion ansehen muß. Vor allem bei der Mensch-Maschine-Schnittstelle scheint der Rückgriff auf vertraute Lösungsmuster unverzichtbar, sei es, weil neue Gestaltmuster hier besonders schwer zu schaffen oder den Benutzern zu vermitteln sind.

An empirischen Fallstudien zur Telegrafie und Telefonie im 19. Jahrhundert habe ich herausgearbeitet, daß Metaphern in Entwicklungsprozessen nicht nur als kognitive Medien kreativen Kombinierens zu betrachten sind, wozu Th. P. Hughes und die technikgenetische Metaphern-Studie von Mambrey, Tepper und Paetau neigen. Modell- und Gestalt-Übertragungen sind im hohen Maße auch un- oder halbbewußte Momente des Vorverständnisses, also hermeneutischer Natur. Neben der spielerisch-bewußten Konstruktion mit Metaphern gibt es die Vorfixierung auf bekannte Muster und Sichtweisen. Dadurch wird der Lösungsraum u. U. von vornherein eingeengt. Man sollte deshalb immer die Ambivalenz von Metaphern im Blick behalten: die Vorprägung durch Bestehendes und die kreative Neuschöpfung.

Aus dem hermeneutischen Charakter von Übertragungsprozessen ergibt sich m. E. eine veränderte Sicht der Rolle der Metaphernforschung in der Technikbewertung. Metaphern sind weder bloße Geistesblitze, die man nur konstatieren, aber nicht beeinflussen kann. Sie sind aber auch nicht der Angelpunkt der Erklärung und Bewertung von Technikgeneseprozessen. Metaphern geben Auskunft über Vorverständnisse, Absichten, Benutzerbilder usw., sagen aber nichts über die systemische Problemstruktur und die Langzeitdynamik einer Technik aus.

Eine mit historischen Vergleichen arbeitende hermeneutische Bewertung aktueller Techniken vermag selber keine direkten Aussagen über falsche oder richtige Übertragungsvorgänge zu liefern. Sie kann aber typische Problem- und Fehlerkonstellationen aufführen. Dazu gehören:

- die Fixierung auf bestimmte Metaphern als Folge professioneller Kulturen
- eine zu direkte Musterübertragung aus der alten in die neue Technik
- die mögliche Vererbung alter Probleme und impliziter Grenzen in die neue Technik
- die Implikationen von Nutzungsvorstellungen und einer inadäquaten Funktionsaufteilung zwischen Benutzer und Maschine.

Leitbilder beruhen vielfach auf Metaphern, gehen aber meinem Verständnis nach durch die Verknüpfung von prototypischen Lösungsmustern mit einem Komplex von Zielvorstellungen oder Anwendungsszenarien über sie hinaus. Sie sind stabiler und historisch spezifischer geprägt als Metaphern, aber nicht so dauerhaft und übergreifend wie paradigmatische Einstellungen, etwa eine viele Leitbilder durchziehende tayloristische Grundorientierung.

Leitbilder erzielen ihre orientierende, aber auch fehlsteuernde Wirkung oft aufgrund von komplexen Übertragungs- und Projektionsprozessen. Ich habe dies näher am Beispiel der Geschichte der Computerkommunikation untersucht. So erhielten die ersten großen Rechnetze ihre charakteristische Netz- und Systemarchitektur, die zentralistische Sternnetztopologie und die als Master-Slave-Beziehung gestaltete Arbeitsteilung zwischen aktivem Zentrum und passiver Peripherie, durch die implizite Orientierung an militärischen Hierarchie- und Kommandostrukturen. Die Verallgemeinerung dieser militärischen soziotechnischen Architektur zum universalen Leitbild eines zentralen Überwachungs- und Steuerungsinstrumentes für die Abwicklung von Logistikaufgaben in Handel und Gewerbe, für die Verkehrssteuerung und für die Automation industrieller Fertigungsabläufe sowie stofflicher und energetischer Umwandlungsprozesse beruhte in einem unfreiwilligen Import militärischer Kommunikations- und Kontrollstrukturen in zivile, marktorientierte Umgebungen. Die Folge dieser Modell- bzw. Leitbildübertragungen waren die bekannten Flops einer ganzen Reihe zentralistischer Informationssysteme, etwa bei den früheren Management-Informationssystemen und den Vorschlägen zu einer prozeßrechnergesteuerten Fabrik in den sechziger Jahren, die die späteren CIM-Havarien vorwegnahmen.

In der Geschichte der Computerkommunikation läßt sich so besonders gut beobachten, wie es durch die Übertragung erfolgreicher Lösungsmuster in immer entferntere Anwendungsbereiche zur Bildung ganzer Leitbildketten kommt. Die Leitbildexpansion führt dabei nicht selten zu einem erheblichen Leitbildüberschuß über die tatsächlich erreichten bzw. erreichbaren Potentiale der betreffenden Technik. Ich habe die Entstehung einer solchen Leitbildkette vor allem am Beispiel der Time-Sharing-Technik untersucht. Hier führten die massiven Strukturprobleme des Batch-processing auf Mainframes Ende der Fünfziger Jahre zur Idee des

Vielfachzugriffs auf die Zentraleinheit. In Verbindung mit der "programmer opposition" gegen die Rechenfabrik entstanden hieraus 1959/60 als Gegenleitbilder die Zielvorstellungen einer interaktiven problemlösenden Rechnernutzung und einer "utility" bzw. "library" der computer community. Die Perspektive verschob sich dabei schnell von der Anlagenökonomie zur Benutzerproduktivität, vom ausgelasteten Netz zum Computer als Werkzeug. Die Tool- und Utility-Metaphern wurden dann Ausgangspunkt einer Leitbildexpansion bzw. -Explosion in den sechziger Jahren, u. z. in zwei Richtungen.

Der eine, von der KI beeinflusste Strang, mündete in die Leitbilder der "man-computer-symbiosis", des "intelligenten Assistenten" und des "Computers mit Händen, Augen und Ohren". Der andere führte vom Dienstleistungszentrum der Universität zur regionalen, nationalen, ja bereits weltweiten Computer- bzw. Information-Utility. Hierauf setzen dann seit dem Ende der sechziger Jahre die globalen Szenarien einer "network nation" und der "Informationsgesellschaft" auf. Bereits auf der Stufe der Time-Sharing- und Terminal-Technik war das Leitbild des Information-Superhighway voll ausgebildet. An die Infrastrukturleitbilder schlossen sich eine Vielzahl soziotechnischer Organisationsleitbilder an. Denn das Muster der interaktiven Nutzung eines Zentralcomputers in der hierarchisch-verteilten Netzarchitektur schien zum Lösungsmodell für alle gesellschaftlichen Bereiche geeignet zu sein.

Auch die Privathaushalte wurden bereits in die Vernetzungsphantasien einbezogen. Das "Home-Terminal" sollte zur Anlaufstelle für die massenmediale Wissenversorgung und zur Haushaltsplanung bzw. -automation werden. Die Computer-scientists übertrugen hier ihren wissenschaftlichen Problemlösungsstil und die gewerbliche DV-Rationalisierungsstrategien auf das familiäre Alltagsleben. Neben derartig anspruchsvollen Anwendungskonzepten spielen in den frühen Home-Computing-Visionen die Textverarbeitung oder die Elektronische Post so gut wie keine Rolle. E-mail entstand 1963/64 eher wildwüchsig im MAC-Projekt des MIT. Es blühte sehr schnell im Verborgenen, wurde aber lange Zeit nicht Gegenstand artikulierter oder propagierter Leitbildkomplexe. Die durch die Großforschung des MIT immer höher gesteckten Visionen erzielten den auch in der späteren Entwicklung der Computerkommunikation nicht seltenen Effekt, daß näherliegende Ziele übersehen oder unterbewertet wurden.

In der Fixierung auf technokratische Totalvisionen der "mass information utility" und der "network nation" versäumte man es, das tatsächlich Erzielte und in absehbarer Zeit realisierbare Potential der Time-Sharing-Technik kritisch zu würdigen. Die Konsistenz der Leitbildansprüche wurde nicht an den konkreten Gestaltungsmerkmalen überprüft. Dadurch übersah man die Funktions- und Leistungsmängel, die noch ungenügenden Gebrauchseigenschaften und vor allem die strukturellen Probleme der "large time sharing systems" weitgehend. So vor allem den bei steigender Systemgröße überproportional wachsenden Overhead für den schnellen Wechsel der Programmsegmente und die Systemverwaltung, die großen Kompatibilitätsprobleme, die eine Vernetzung von Rechnern bzw. Terminals unterschiedlicher Hersteller

nahezu unmöglich machten, die gewaltigen Datenschutzprobleme einer zentralen Speicherung vertraulichster Daten. Schließlich die fehlende Eignung des Telefonnetzes als Grundlage der Rechnervernetzung. Vor allem aber wollte man nicht sehen, daß der erreichte Stand der Nutzungsfreundlichkeit, das noch immer überwiegend rein berechnungsorientierte Softwareangebot einer Integration in das Alltagshandeln von Haushalt und Büro noch im Wege standen. Die Time-Sharing Networks blieben noch lange nach der Leitbildpropagierung eine unvollständige Systemlösung, in der die Hardware-Komponenten, die Computerperipherie, das Netz, die Software und die Mensch-Computer-Interaktion noch schlecht aufeinander abgestimmt und nicht anwendungsgerecht gestaltet waren. Die Leitbilder als auf der intentionalen und Vorverständnis-Ebene angesiedelte Phänomene und die Leitbildanalyse als eine hermeneutische Methode bedürfen deshalb einer Konsistenzprüfung. Hierbei müssen Leitbildansprüche und objektive Problemstrukturen sowie dynamische Entwicklungskonstellationen gegenübergestellt werden.

Eine in der Heidegger-Tradition als Ontologie verstandene Hermeneutik, für die auch technische Gebilde nur subjektive Bedeutungszuweisungen bzw. Resultate sozialer Bedeutungserzeugung darstellen, ist m. E. nicht in der Lage, die objektiven Wechselwirkungen von Designentscheidungen, die systemischen Problemkonstellationen sowie Langzeitwirkungen aufgrund von physikalischen Eigenschaften, Kumulations- und Massenausbreitungseffekten zu erfassen. Hierfür sind spezifische Analyse- und Bewertungsinstrumente erforderlich, die im Leitbildassessment bisher nicht vorgesehen sind.

Ich komme damit zur Problemstruktur und zu den Designkonflikten und dem entsprechenden Analyse- und Bewertungsansatz eines "Problemstrukturplanes".

2. DIE SYSTEMISCHE ANALYSE DER PROBLEMSTRUKTUREN UND DER DAMIT VERBUNDENEN DESIGNKONFLIKTE

Die inhaltliche Problemstrukturierung und die systematische Analyse von Designkonflikten sind eine Schwachstelle in der Methodenlandschaft von Hardware- und Softwarekonstruktion. Es dominieren hier auf der einen Seite intuitive Methoden zur Kreativitätssteigerung sowie allgemeine Heuristiken und auf der anderen Seite systemtechnische Strukturierungsansätze. Diese reduzieren den komplizierten Problemlösungs- und Gestaltungsprozeß auf ein tendenziell algorithmisches Elemente-Auswahl- und Montageverfahren aus kompletten Lösungs- und Objektspeichern. Die informationstechnische Modellierung des Konstruktionsprozesses in der VDI-Richtlinie 2221 oder in den traditionellen Modellen des Software-Engineering schafft eine enge Struktur analogie von Maschine/Produkt/System, Konstruktionsprozeß und industriellem Produktionsprozeß, dies kommt vor allem in den allgegenwärtigen Regelkreisen, Blockschaltbildern und Fließdiagrammen zum Ausdruck.

Während der Top-down-Entwurf dadurch den Anschein eines kontrollierbaren informationsverarbeitenden Prozesses erhält, der zumindest teilweise auf den Rechner verlagert werden kann, werden die darüber hinausgehenden Entscheidungs- und Designprobleme lediglich als ungeordnete Randbedingungen aufgelistet. In der Mechanikkonstruktion geschieht dies meist unter dem bezeichnenden Begriff "Restriktionen". Hier werden als methodische Unterstützung fast nur Restriktionskataloge oder Schecklisten für Anforderungslisten angeboten. Das Summierungs- und Nebenordnungsprinzip der Liste verdeckt dabei alle Wechselbezüge. Fortgeschrittenere Beschreibungswerkzeuge gehen deshalb zu einem Kriterien-Baum oder hierarchischer Strukturierung über, da hier die einzelnen Gestaltungsmerkmale oder Entscheidungsfragen einzelnen Problemkreisen zugeordnet werden können. Dieser Weg wird in den Gestaltungszielmodellen von Balzer, Spieners und Ulich sowie in einer Reihe von Qualitätsmodellen besprochen. In der mechanischen Konstruktionslehre sind hier die Problemstrukturpläne von Rodenacker (1970) und von Kleim/Wolfgarten (1975) zu nennen.

Der nächste Schritt, den aber nur wenige Autoren gehen, führt dann über ein ungewichtetes Interrelationsmodell zum Zielkonfliktmodell. Erste Anregungen in der Software-Konstruktion, Trade-offs systematisch zu erforschen und in das Software-Engineering einzubeziehen, finden sich bereits 1971/72 bei Bauer, doch wurden sie nicht aufgegriffen. Es scheint erst Ende der achtziger Jahre zu grundlegenden empirischen und theoretischen Analysen von Zielkonflikten gekommen zu sein. Und zwar auf dem Gebiet der Computerarchitektur in Gestalt einer vergleichenden Untersuchung der "design-choices" in einer Reihe von "realen Maschinen". In der Softwaregestaltung und Softwareergonomie geschieht dies zuerst durch Evans und Marciniak (1987), die positive und negative Zusammenhänge zwischen den Gütekriterien der Hersteller mithilfe einer Matrix darstellen. Greutmann und Ackermann erweitern die Systematik 1989 und beziehen vor allem die Gütekriterien der Benutzer mit ein. Sie hoffen, durch

das “systematische Aufzeigen von möglichen Zielkonflikten” die Auswirkungen von Designentscheidungen besser abschätzen zu können, einseitige Gestaltungsentscheidungen zu vermeiden und aus der paarweisen Gegenüberstellung von Kriterien konkrete Gestaltungsregeln abzuleiten.

Keil-Slawik hebt das Problem der Design-Konflikte in der Software-Entwicklung 1990 auf eine prinzipielle Ebene. Aus der Analyse empirischer Beispiele “eindimensionaler Gestaltung” kommt er zu dem Schluß, daß wegen der “Komplexität des Einsatzumfeldes und der Vielfalt der sich wechselseitig beeinflussenden Faktoren” man von Spezifikationstechniken, Gestaltungsrichtlinien und Designkriterien keine Lösung der Designkonflikte erwarten könne. Gestaltung ist deshalb für ihn ein Prozeß, der “alle Aspekte eines interaktiven Systems mit seinen vielen wechselseitigen Abhängigkeiten berücksichtigen muß”. Als Modellierungsinstrument für die Anforderungen, Rollen, Arbeitsabläufe und Tätigkeiten schlägt er deshalb anstelle der Matrizen Aufgabennetze vor, die objektorientiert angelegt sind und als Darstellungsmittel Petrinetze verwenden. Doch derartige methodische Bemühungen zur Aufarbeitung und Lösung von Designkonflikten stehen noch immer am Anfang, sie haben auch noch keinen Eingang in die Lehrbücher der Software-Entwicklung gefunden.

Dies ist erstaunlich, denn in der Mechanik-Konstruktionslehre gibt es bereits seit langem ein relativ elaboriertes Relations- bzw. Netzmodell des “Systems konstruktiver Aufgaben”, und zwar seit über fünfzig Jahren. Hugo Wögerbauer, einer der Pioniere der wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik, hatte in der konstruktionswissenschaftlichen Tradition von Reuleaux und von Engelmeyer mit einem Phasenmodell des Konstruktionsprozesses begonnen. Er war dann aber aufgrund von Eigenbeobachtungen zu der Überzeugung gelangt, daß man mit einem Schaltplan- bzw. Fließmodell des Konstruktionsprozesses nicht die tatsächliche Struktur der Konstruktionsaufgabe erfassen kann. In seiner “Technik des Konstruierens” von 1942/43 entwickelte er deshalb ein Feldlinienmodell bzw. ein Bahnennetz, um die Wechselbeziehungen der Einflußfaktoren und der Zielkonflikte der konstruktiven Probleme zur Anschauung zu bringen. Sein “Allgemeiner Aufgabenplan” sollte die Problemzusammenhänge nicht in der Summation einer Liste präsentieren, wie es eine Reihe von Konstruktionslehren taten, sondern als ein konkretes Beziehungsnetz zur Anschauung bringen. Die Darstellungsform einer Topologie impliziert aufgrund der Netz- und Objektstruktur, daß die Lösung der Teilaufgaben nicht mehr nach einem sequentiellen Schema, sondern in verschiedenen Richtungen und Iterationsschleifen zu erfolgen hatte. Das Bahnennetz signalisierte dem Konstrukteur auch die Gleichrangigkeit von Wirkprinzip und anderen Gestaltungsproblemen: “Die Lösung muß alle diese Teilaufgaben gleichzeitig optimal erfüllen [...]” Sie kann nicht aus einfachen Formeln und Schemata gewonnen werden. Die Vielfalt der Kriterien und die Erfahrungsgebundenheit der Variationsselektion verhinderte seiner Meinung nach auch eine “Mechanisierung der Konstruktionsarbeit”: “Der Mensch kann also nie zur Konstruktionsmaschine dressiert werden”.

PROBLEMSTRUKTURPLAN

Strategische Designentscheidungen

- Problemlösungsansatz: Wirkstruktur für ein anvisiertes Anwendungsspektrum
- Funktionalitäts-Dimensionierung: Umfang, Spezialisierung, Struktur
- Arbeitsteilung und Interaktion zwischen Mensch und Maschine: Ergonomie
- Geräteüberwachung, -steuerung, -regelung
- Werkstoffwahl: Struktur-/ Funktionswerkstoffe
- Energetische Dimensionierung: Gerät, Prozeß
- Leistungs-Dimensionierung: Einzelparameter, Geräte-/ Systemdurchsatz
- Baugrößen- und Gewichts-Dimensionierung
- Baustruktur auf der Geräteebene
- Losgrößen-Festlegung: anvisiertes Skalenniveau
- Kompatibilität: horizontale/ vertikale Anschlußfähigkeit auf Komponenten- und Systemebene
- Aggregatgrößen-Dimensionierung
- Aggregatstruktur: Verkettung gleicher und Verkoppelung heterogener Systemeinheiten
- Prozeßüberwachung, -steuerung, -regelung
- Systeminterne und systemexterne Vernetzung
- Systemgrößen-Dimensionierung
- Systemarchitektur, Netzarchitektur

Diese Erkenntnis vergaß man jedoch bald wieder. Zwar gab es noch bis in die fünfziger Jahre weitere Bemühungen um eine Aufgabenstrukturierung, doch danach wurden die topologischen Pläne der Problemstruktur wieder völlig von rationellen Abfolgmodellen für die arbeitsteilig strukturierte hierarchische Ablaufsteuerung verdrängt.

Erst im Zusammenhang mit Simultaneous bzw. Concurrent Engineering-Konzepten und Bestrebungen für ein Life-Cycle-Modelling in den Neunziger Jahren entsteht in der Mechanik-Konstruktionslehre wieder ein Bedarf an einer topologischen Problemstrukturierung. Denn für eine zunehmende Parallelisierung von bisher sequentiellen Arbeitsschritten und einer antizipierende Berücksichtigung der Nutzungs- und Endphase der Produkte bereits im Konstruktionsprozeß reichen die traditionellen listen- und matritzenartigen Darstellungsformen nicht mehr aus. Sie sind bei wachsender Komplexität des Entscheidungsgeflechtes zu mechanisch und umständlich und bilden darüber hinaus die unterschiedlichen Perspektiven der involvierten Akteursgruppen sowie spezifische Wechselbezüge und Trade-offs nur schlecht ab. Es werden daher Strukturierungsmethoden erforderlich wie sie im Ansatz in der Konstruktionslehre Wögerbauers konzipiert, aber bislang kaum systematisch ausgeführt wurden. In allerletzter Zeit entstandene Ansätze weisen erstaunliche Parallelen zu seinem "Aufgabenplan" auf. So der "Green Browser" von Tomiyama und Omeda von 1995. In ihm sollen die Wechselbeziehungen und Zielkonflikte des Designprozesses mit Hilfe von Hypertext darstellbar und kommunizierbar gemacht werden. Auch die "Integrierte Produktentwicklung" von Klaus Ehrlenspiel nähert sich Designkonflikt-Topologien. Doch die meisten Simultaneous Engineering-Konzepte und Life-Cycle-Modelling-Ansätze kommen noch immer nicht von den gewohnten hierarchisch-arbeitsteiligen Ablaufmodellen los.

Der im folgenden nur skizzierte Dynamische Strukturplan kombiniert die systemische Analyse von Problemstrukturen einer Technik mit der dynamischen Perspektive ihrer Langzeitentwicklung. Er erweitert die verschiedenen Ansätze der qualitativen Analyse von Technologielebenszyklen durch die Methoden und Ergebnisse des historischen Strukturvergleiches. Am Beginn der Untersuchung steht die Darstellung des eigentlichen *Problemlösungsansatzes*, der entscheidenden Wirkstruktur, sie soll die Unterschiede zu konkurrierenden Lösungsmustern herausarbeiten, d.h. anvisierte komparative Nutzungsvorteile, technische Leistungsverbesserungen und wirtschaftliche Vorzüge. Auf die Betrachtung des Problemlösungsansatzes folgt die der *Dimensionierung der entscheidenden Wirkparameter* wie etwa Druck, Drehzahl oder Frequenz, die wesentlich die Leistung bzw. den Stoff-, Energie- und Signaldurchsatz bemessen. Diese sind zwar stark situationsabhängig und technikspezifisch. Doch auch hier gibt es historisch belegbare typische Handlungsoptionen und Fehlerkonstellationen. So wird die prinzipielle Wahlmöglichkeit zwischen Strategien der beherrschten Leistungen bzw. Größen und Grenzleistungsstrategien sowie kompromißhaften "Optimallösungen" sehr oft einseitig zugunsten von Grenzleistungen entschieden. Weitere typische Fehler sind hier die Orientierung an augenblicklichen Kostenrelationen oder Anforderungen,

eine zu enge Dimensionierung von nicht erweiterbaren Parametern (z. B. die 640 Kbyte-Grenze in DOS-Rechnern) und ein nicht ausgewogenes Zusammenspiel einzelner Parameter. Im Verlauf der weiteren Optimierung von Wirkparametern in der Diffusions- und Reifephase einer Technik führt die Fixierung auf jeweils höchste Leistungen nicht selten zu Überpendelungen, wie z. B. bei den überkritischen Dampfdruck- und Temperaturzuständen in der Kraftwerkstechnik.

Den nächsten Schritt bildet die Analyse der *Festlegung des Funktionalitätsumfangs*. Hier reicht die Skala von robusten "Strong-and-Simple-Ansätzen" bis zu hochkomplexen Multifunktionslösungen und von Spezial- zu Universallösungen. Der Geneseforscher kann hier mit einer Fülle von Beispielen von Downgrading-Prozessen dem vermeintlichen Entwicklungsgang von einfachen zu komplexen Lösungen entgegentreten. Typische Fehlerkonstellationen sind hierbei der "Einstieg mit zu komplexen Lösungen" oder "Alles-auf-einen Streich-Lösungen", die im Gegensatz zu Stufenlösungen meist schon im Ansatz an der Vielgestaltigkeit des soziotechnischen Umfeldes und den Anforderungen an die Systemkomplexität und -flexibilität scheiterten: so die alles umfassende Prozeßführung von Wärmekraftwerken durch einen zentralen Prozeßrechner, die Leitung eines Unternehmens mittels eines "totalen Management-Informationssystems" sowie die frühen Konzepte für automatisches Konstruieren mit integrierten CAD-Systemen, für die computerintegrierte Fertigung (CIM). Viele Probleme bei der Mensch-Maschine- bzw. -Prozeßkommunikation entstehen gerade auch durch die Festlegung eines zu großen Funktionalitätsumfangs, wie es elektronische Geräte und Anwendersoftwarepakete besonders deutlich zeigen. Gegenüber diesen Überpendelungen bietet sich neben erfahrungsorientierten "Kiss-Strategien" (Keep it simple, stupid) vor allem das Gestaltungsprinzip der freien Konfigurierbarkeit an, um dadurch eine individuelle Anpassung zu ermöglichen.

Eine für viele Techniken besonders folgenreiche Pfadentscheidung ist die anvisierte *Skalierung*. Hier gibt es die prinzipiellen Wahlmöglichkeiten der Größensteigerung einzelner bzw. weniger Systemeinheiten, dem "upsizing", oder der Mengensteigerung kleinerer Systemeinheiten, der Systemvervielfachung bzw. dem nachträglichen "downsizing". Der grundlegende Zielkonflikt zwischen Größen- und Mengenwachstum technischer Aggregate, in dem skalenökonomische Kalküle, Ressourcenverbrauch sowie Auslastungs-, Sicherheits- und Verfügbarkeitsprobleme gegeneinander abgewogen werden müssen, führt zu einer Reihe von Mischformen wie Größenklassen, Bau- bzw. Typenreihen und Systemfamilien, die eine bessere Skalierbarkeit und damit Anpaßbarkeit garantieren. Denn große Systeme neigen, wie es Kraftwerke und Rechenzentren besonders deutlich zeigen, fast immer zu geringerer Einsatzflexibilität. Die höheren Investitionskosten und die anfängliche Unterauslastung erzwingen die gezielte Schaffung von Nachfrage und forcieren so die Spirale von relativen Einsparungen durch Skaleneffekte und von absoluten Verbrauchszuwächsen. Auch hier gibt es kein *technisches* Evolutionsgesetz zu immer größeren Einheiten, wie es Hughes aus dem Übergang

von den kleinen Gleichstromkraftwerken zu den großen Drehstromzentralen verallgemeinert hat. Erfolgreiche Downsizing-Prozesse in der Gegenwart wie die von Großrechnern zu PC-basierten Client-Server-Architekturen, von "Large-scale Time-sharing-systems" zu Lokalen Netzen belegen dies. Nicht selten wird der Vorrang der Upsizing-Strategie durch vermeintliche Wachstumsgesetze wie dem Grosch'Law bei Rechnergrößen und dem Verdopplungsgesetz bei Turbinen und Generatoren noch verfestigt.

Die skalenökonomische Strategie der Kostendegression durch Losgrößensteigerung ging und geht unter Fertigungsaspekten einher mit einer *Vereinheitlichung* der Artefakte bzw. der in ihnen verwendeten Teilkomponenten. Durch die kostenorientierte Tendenz zur *Standardisierung* gerät der Entwickler jedoch in Widerspruch zu individuellen Produkthanforderungen. Der grundlegende Zielkonflikt zwischen Lösungsoriginalität bzw. Produktindividualität und skalenökonomischer Standardisierung wurde in vielen Techniken mit Hilfe einer Strategie der Individualisierung des Produktes auf der Grundlage standardisierter, unterschiedlich kombinierbarer Grundelemente gelöst. Voraussetzung hierfür waren *Strukturierungs-, Modularisierungs- oder Elementarisierungsmethoden*. Baukastensysteme aus mechanischen, elektrischen oder elektronischen Bauelementen, Textbausteine in der Textverarbeitung und Teilebibliotheken in CAD/CAM-Systemen belegen diese Tendenz in diversen Hard- und Softwaretechniken. Eine eindeutige historische Entwicklungsrichtung besteht auch hier nicht: Das Modell T von Ford erwies sich als eine schnell überwundene Überpendelung des Prinzips der Vereinheitlichung wie übrigens auch die übersteigerten "Losgröße-1-Ansätze" bei Flexiblen Fertigungssystemen in der Gegenwart, denn das "Ende der Massenproduktion" war eine etwas zu voreilige Verkündigung.

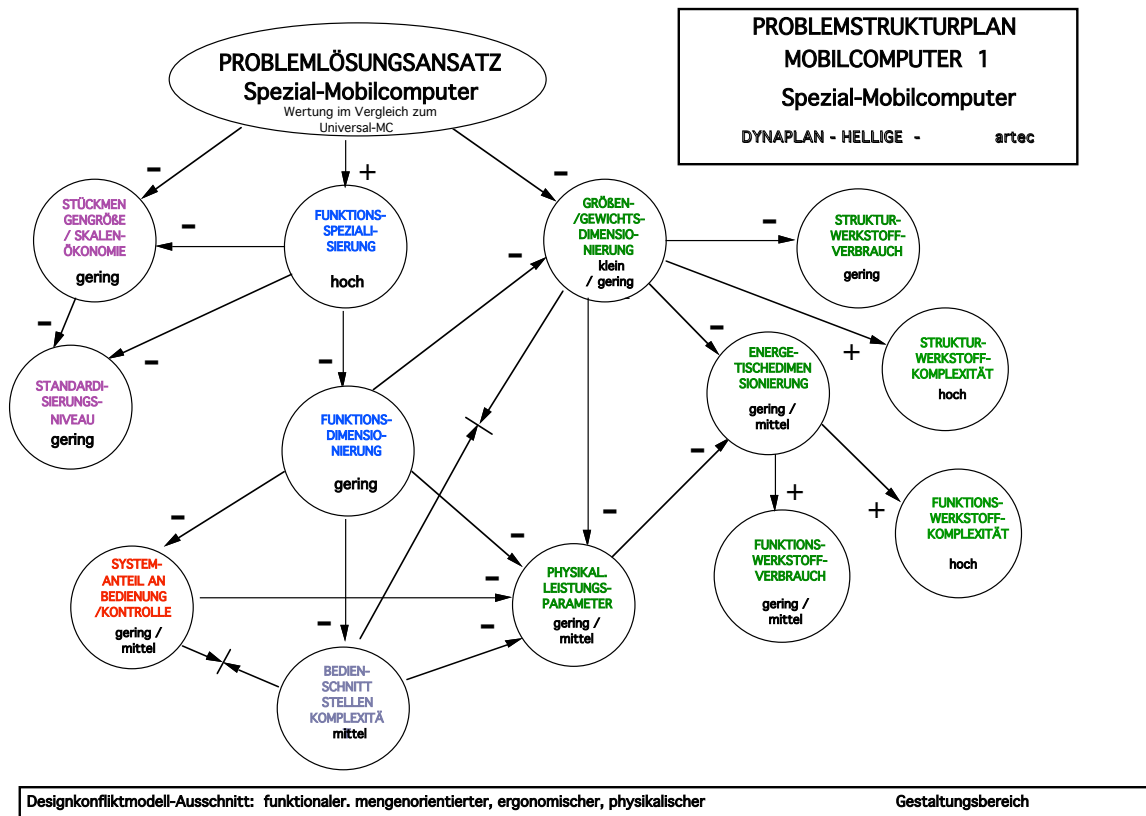
Durch die *Verkettung* gleicher und *Verkoppelung* heterogener Systemeinheiten werden komplexere technische Systeme gebildet. Der Effizienzanstieg infolge mechanischer, energetischer oder informationeller Prozeßverkopplung bzw. -integration wird meist mit verringerter Flexibilität, geringerer Überschaubarkeit und verminderter Fehlerfreundlichkeit erkaufte. Neben der Skalierung sind vor allem Verkettung und Verkoppelung, wie Perrow es anhand vergleichender Risikostudien dargestellt hat, sehr folgenreich für die spätere Störanfälligkeit. Daher sollte der Geneseforscher auch hier dem Eindruck einer Entwicklungstendenz von *nicht* über *lose* zu *eng* gekoppelten Prozessen oder Systemen entgegentreten. Das gilt für den Übergang von Einzelsystemen zur *Vernetzung* gleichermaßen. Hier gibt es für Technikplaner prinzipielle Wahlmöglichkeiten zwischen "Stand-alone"- bzw. Inselsystemen, zwischen lokaler, regionaler oder nationaler Vernetzung. Eine vorurteilsfreie historische Geneseforschung muß hier also vom normativen Entwicklungsstufen-Denken wegkommen und gerade anhand der historischen Vielfalt das Spektrum der Wahlalternativen vor Augen führen.

Verkettung, Verkoppelung und Vernetzung von Aggregaten, Systemteilen und Prozeßabläufen setzen auf der Seite der Produkte und Komponenten eine zunehmende Konformität oder

Kompatibilität voraus. Dadurch wird der beschriebene Zielkonflikt zwischen individueller Nutzungsvielfalt und ökonomischen Losgrößenkalkülen weiter verschärft. Da unter Konkurrenzbedingungen in der Regel jedes Wirtschaftssubjekt die eigenen Standards durchsetzen möchte, bedarf es in vernetzten oder kooperativen Systemen der Vereinbarung von Standards, d.h. der *Normung*. Eine in der Vergangenheit und Gegenwart sehr häufig auftretende Fehlerkonstellation ist hier der "Turmbau-zu-Babel-Effekt", d.h. die aufgrund abweichender Lösungsansätze und Produktstrategien auftretende, wildwüchsige Inkompatibilität. Die zahlreichen Beispiele wie die unterschiedlichen Telegrafencodes und Telefonsysteme, das anfängliche Chaos bei den Radiofrequenzen, die nicht kommunikationsfähigen Paketdatenetze, LANs und SPS sowie die unbeherrschbare Vielfalt der Bedieneroberflächen von intelligenten Sensorsystemen und Meßgeräten können allen Technikentwicklern bzw. Herstellern eine Warnung sein. Für die Arbeit- und Technikforschung ist hier ein lohnendes Arbeitsfeld, denn die Leidtragenden von Turmbau-zu-Babel-Effekten sind vor allem die unmittelbaren Nutzer.

Komplexere verkoppelte oder vernetzte Aggregate und Systeme sind in der Regel nicht amorph, sondern besitzen eine spezifische Struktur, eine *technische bzw. soziotechnische Systemarchitektur*. Diese legt die Aufgabenstruktur und -verteilung bzw. die kommunikativen Beziehungen zwischen den Teilsystemen fest. Hier gibt es die bekannten Wahlalternativen zwischen zentralistischen oder dezentralen Architekturen sowie diverse Kompromiß- und Hybridlösungen von hierarchischen und verteilten Strukturen. Diese Systemarchitekturen spiegeln oft betriebliche oder gesellschaftliche Organisations- und Herrschaftsstrukturen wider. Die Geschichte von Energie-, Telekommunikations- und Informationssystemen weist hier als typische Fehlerkonstellation die anfängliche "Ein Zentralaggregat-Lösung" (Gas-, Elektrizitäts- und Telefonzentrale, Informations- und Dokumentationszentren) und die permanente Fixierung auf Zentrallösungen auf. So gibt es eine ganze Reihe von Beispielen gescheiterter bzw. nicht realisierbarer Systemlösungen mit nur einem riesigen Zentralaggregat als Energiequelle, Steuer-, Kontroll- oder Vermittlungsinstanz, z.B. die Beleuchtung einer Stadt durch einen einzigen Lichtturm, die Energieversorgung eines Landes oder Kontinents durch ein oder wenige Riesenkraftwerke, einen Supercomputer in einem zentralistischen Informationsnetz.

Allein schon der hier dargestellte Ausschnitt des Dynamischen Problemstrukturplans, der die Technik bis zur Markteinführung überwiegend aus der Entwickler- und Herstellerperspektive betrachtet, macht die Komplexität der Entscheidungen und die mannigfachen Fehlermöglichkeiten deutlich. Es ist daher kaum zu erwarten daß der "system builder", wie Hughes es annimmt, alle diese oft mit schweren Zielkonflikten verbundenen "critical problems" mit einem Schlag löst. Historische Beobachtungen zeigen vielmehr, daß gerade zu Beginn einer neuen Technik gewaltige Abstimmungsprobleme zwischen technischer Funktionalität, Arbeitsabläufen und Nutzungsprozessen auftreten.



Noch größer als bei der Modellierung von systemischen Problemstrukturen sind die Defizite bei der Modellierung der *Langzeitdynamik* technisch-ökonomischer Prozesse. Ich habe deshalb in Anlehnung an die Innovationsforschung, das Technologiemanagement und vor allem an die technikhistorische Erforschung großer technischer Systeme die Entwicklungsdynamik von Technologie-Lebenszyklen idealtypisch beschrieben. Dies soll zum Abschluß kurz dargelegt werden.

3. DIE ANALYSE DYNAMISCHER PROZESSE VON PRODUKT- BZW. TECHNOLOGIELEBENS- ZYKLEN

Während es bei der Problemstruktur um die systemischen Beziehungen der strategischen Gestaltungsmerkmale geht und dabei nahezu Gleichzeitigkeit angenommen wird, rückt hier nun die Zeitdimension in das Zentrum. Die dem Historiker vertraute Sichtweise, den gesamten Entwicklungsverlauf einer Technik aus der Rückschau zu überblicken, soll prospektiv gewendet werden, gleichsam eine Art historischer Simulation: Laufende Entwicklungsprozesse werden auf bekannte Ablaufmuster und typische Problem- und Engpaßsituationen hin untersucht. Für die dazu erforderliche qualitative Modellierung der Entwicklungsdynamik gibt es Anknüpfungspunkte in der Innovationsforschung und im Technologiemanagement, während die Technikgeschichte die Struktur- und Systemdynamik großer technischer Systeme sowie eine Vielzahl immer wiederkehrender Entwicklungs-Konstellationen herausgearbeitet hat.

Die von dem Ökonomen Schumpeter ausgehende Innovationsforschung und die betriebswirtschaftliche Produktentwicklungsplanung haben in Analogie zum biologischen Lebenszyklus das Modell des Produkt- bzw. Technologie-Lebenszyklus entwickelt. Das erste mir bekannte elaborierte Beispiel ist das Konzept der "Technischen Genesis" des Ökonomen Walter Waffenschmidt von 1928. Er erweitert den Problemlösungszyklus zum Produktzyklus, indem er die Herstellungsstufe, die Einführungsstufe, die Rezeptionsstufe mit der Anpassung an den Gebrauch und schließlich die Absterbestufe hinzufügt.

Das Lebenszyklus-Modell will den typischen Verlauf der Entstehung, der Ausbreitung, der Reife und des Niedergangs einer Technik modellhaft beschreiben, um dadurch eine Grundlage für die Prognose und Produktplanung zu erhalten. Der wirtschaftswissenschaftliche Lebenszyklus-Ansatz ist jedoch überwiegend quantitativ auf Absatz-, Ertrags- und Lernkurven angelegt. Den Alltag der Gebrauchsphase und vor allem die Stoff- und Energieflüsse bis zum Produktende und zur Deponierung bzw. zum Recycling klammert er aus. Auch das daran angelehnte Lebenszyklus-Modell des um 1980 entstandenen Technologie-Managements ließ bis vor wenigen Jahren die Schlußphase so gut wie unberücksichtigt.

Die Mechanik-Konstruktionslehre hatte zwar schon um 1940 im Rahmen der Kriegsrohstoffwirtschaft und in den 70er Jahren erste Recycling-Ansätze entwickelt. Doch blieb auch sie bis zum Ende der 80er Jahre auf ein auf die Entwicklungs- und Herstellungsphase reduziertes marktbezogenes Lebenszyklus-Modell verhaftet. Erst seit ca. 1992/93 wird das Life-Cycle-Modelling zu einem Schwerpunktthema der Produktentwicklungs- und Konstruktionsmethodik. Allerdings ist es noch stark auf die Produktdatenmodelle und die CIM-Philosophie fixiert, so daß die immensen qualitativen Probleme einer antizipierenden Berücksichtigung des Technologie-Lebenszyklus in der Konstruktion noch kaum in die Modellierung eingegangen sind.

PROBLEMSTRUKTURPLAN

Dynamische Prozesse im Technologie-Lebenszyklus

Prozesse der Innovationsphase:

- Markteintrittskonstellationen, Innovations-Timing
- Ablösungsprozesse, Technikübergänge, Migrationsstrategien
- Imitations-Vorgänge zwischen alten und neuen Techniken
- Technikkontroversen, Systemstreite (Lösungsmuster)
- Lösungsvariation, Lösungsexplosion
- (De-)Konsolidierung: Schließungs- und Öffnungsprozesse
- Abschluß der Systemlösung: wechselseitige Anpassung der Systemkomponenten und Designparameter

Prozesse der Diffusionsphase 1: Skalenökonomische Entwicklungsprozesse

- Diffusionsblockade (Netzwerkeffekte)
- Mengen-Skalierung
- Produktvereinfachung (Übergang Profi-/Massen-Technik)
- Technologische Verbesserungsinnovationen
- Standardisierung, Normierung, Typisierung
- (Des-)Integrationsprozesse (Geräteintegration, Funktions-integration, Gerätefamilien)
- Konvergenz (Divergenz) von Lösungsansätzen / Systemen
- Diffusionsengpässe (Mengenbedingte Reverse Salients)
- Diffusionsrisiken (Wirkungskombination und –kumulation)

Prozesse der Diffusionsphase 2: Entwicklungsspiralen bei Designparametern

- Leistungssteigerungen (-reduzierungen, Up-/Downscaling)
- Funktionsausweitungen (-reduzierungen, Up-/Downgrading)
- Ergonomische Verbesserungsinnovationen
- Verringerung der Energie- und Ressourcenverbrauchs (Produkt/Prozeß)
- Größenskalierung (Größendegression, Miniaturisierung)
- Trajekt-Bildung (graduelle Parameter-Steigerung, Generationenbildung)
- Überpendelung bei der Parameter- und Funktionsentwicklung (Rückzüchtung)
- Ungleichgewichte durch ungleichmäßige Parameter-Skalierung
- Ungleichgewichte durch Fortschrittsdifferenzen bei Teilkomponenten und Teilprozessen

Prozesse der Reife- / Endphase

- Technische Stagnation (Scheininnovationen)
- Innovationsschub aufgrund externer Technologiekonkurrenz
- Produkterneuerung (Weiterverwendung)
- Recyclingprozesse (Wiederverwendung, Wiederverwertung)
- Entsorgung und Deponierung der verwendeten Hardware- und Gebrauchsmaterialien

Im Software-Engineering ist der Life-Cycle-Begriff erstaunlicherweise schon viel länger üblich als in der Mechanik-Konstruktionslehre. Bereits im Kontext der SAGE-Entstehung taucht 1956 das erste Phasenmodell auf (das 9-Phasenmodell von Bennington) und 1966/67, also noch vor der angeblichen Geburtsstunde des Software-Engineering auf der Garmisch-Konferenz von 1968, ist die Urform des "Wasserfallmodells" entstanden (Air-Force-Projekt und Rosove). Boehm erweitert dies bekanntermaßen 1976 durch die Einbeziehung von Implementation und Wartung zum "Software-Lebenszyklus". Doch wie in der Innovationsforschung und der Mechanik-Konstruktionslehre wird der Begriff überwiegend aus der Perspektive der Hersteller und Betreuer gesehen und die vom Arbeits- und Kostenaufwand her viel wichtigere Gebrauchs- und Endphase ausgeklammert. Dies hat besonders Carinna McClure so eindringlich dargelegt. Entscheidende dynamische Prozesse und Problemkonstellationen werden vom traditionellen Lebenszyklusmodell nicht erfaßt, so z. B. die Übergangs- und Altlastenprobleme, die Handhabungsprobleme als Folge beschleunigter Produktzyklen und das Reengineering.

Die bisherige Modellierung der Langzeitdynamik technischer Entwicklungsprozesse in der Innovationsforschung, im Technologie-Management sowie in der Mechanik- und Softwarekonstruktionslehre weist trotz aller Ansätze noch erhebliche Defizite im qualitativen Bereich auf. Es fehlt hier ein Analyse- und Bewertungsinstrument für die Verschiebungen in der Aufgaben- und Problemstruktur, die sich aus der Einbeziehung der Phasen nach der Einführung ergeben. Denn Produkteigenschaften wie Recyclinggerechtigkeit von Hardware oder Wiederverwendbarkeit von Software lassen sich nicht einfach den anderen Gestaltungsmerkmalen hinzufügen. Sie erfordern vielmehr ein mehr oder weniger radikales Redesign.

Ich sehe meine Aufgabe als Technikhistoriker nun darin, die Erkenntnisse der Technik- und Wirtschaftsgeschichte, insbesondere den "Large-system History-Ansatz" über typische Entwicklungsverläufe zu einer Phänomenologie dynamischer Prozesse und Entwicklungskonstellationen auszubauen. Das Ziel ist dabei ein qualitatives Beschreibungsmodell charakteristischer Problem-, Engpaß- und Risikosituationen im Technologie-Lebenszyklus. Dazu gehören u.a. Markteintrittskonstellationen, Ablösungsprozesse, Wechselwirkungen und Konkurrenzbeziehungen zu anderen Techniken, Konvergenzen, Imitations- und Mimikry-Vorgänge, das Innovations-Timing, Kontroversen und Systemstreite, Schließungs- und Öffnungsprozesse, Leistungssteigerungen, Funktionalitätsausweitungen und Generationsbildungen, die System- und Netzexpansion, Integrations- und Desintegrationsprozesse und natürlich besonders die damit verbundenen Skalierungs- und Selektionseffekte. Ich verfolge die Veränderungen der strategischen Gestaltungsmerkmale über den Technologie-Lebenszyklus hinweg, wobei es vor allem um die unterschiedlichen Richtungsmöglichkeiten geht. Am Ende stehen der Niedergang, die Ablösung oder Erneuerung einer Technik sowie auch die Entsorgungsfragen der verwendeten Hardware und Gebrauchsmaterialien. Dadurch wird die systemische Problemtopologie zum "Dynamischen Problemstrukturplan".

Die objektorientierte Relationsnetz-Darstellung läßt konkrete Wechselbeziehungen und Designkonflikte klarer erkennen als listen- bzw. matrizen-basierte Modellierungswerkzeuge. Das historische "Simulationsmodell" arbeitet auf der Grundlage der vergleichenden Untersuchung von verschiedenen Technologie-Lebenszyklen typische Problem-, Engpaß- und Risiko-Situationen heraus, die sich insbesondere aus Veränderungen einzelner Gestaltungsmerkmale ergeben. Problemstrukturpläne in Verbindung mit qualitativen Life-Cycle-Modellen bilden implizit auch den inner- und überbetrieblichen Kooperationsbedarf ab. Als Kreuzungspunkte zwischen der Gestaltungsmerkmal-Struktur und den Anforderungen, Perspektiven und Interessenlagen der beteiligten Akteure ist der *Dynamische Problemstrukturplan* als Kooperationswerkzeug und Verständigungsmittel in simultanen Life-Cycle-Designprozessen geeignet.