

**HIERARCHISCHE ABLAUFSTEUERUNG ODER KOOPERATIVE  
BEWÄLTIGUNG VON PROBLEMZUSAMMENHÄNGEN?  
ZUR GESCHICHTE VON MODELLEN DES KONSTRUKTIONSPROZESSES**

Hans Dieter Hellige

*Erschienen in:*

*Hellmuth Lange, Wilfried Müller (Hrsg.), Kooperation in der Arbeits- und  
Technikgestaltung, Münster, Hamburg 1995, S. 135-164*

*Der Beitrag behandelt einen Teilaspekt eines umfassenderen Forschungsprogramms für eine historische Technikgeneseforschung. Darin wird versucht, engere Beziehungen zwischen der Technikgeschichte, der soziologischen Technikgeneseforschung und der Konstruktionslehre bzw. -forschung herzustellen, um die jeweiligen Potentiale für eine bewußte, an gesellschaftlich wünschenswerten und vereinbarten Zielen ausgerichtete Steuerung von Gestaltungsprozessen zu nutzen. Es wird im Verknüpfungsbereich von Technikgeneseforschung, Technikgeschichte und Konstruktionsmethodik ein Instrumentarium zur Analyse und Bewertung entwickelt, mit dem strategische Designentscheidungen strukturiert und aufeinander bezogen, dynamische Langzeitprozesse antizipiert und hermeneutische Vorgänge in Technikgeneseprozessen bewußt und diskutierbar gemacht werden können. Im folgenden werden Ergebnisse aus dem ersten Arbeitsabschnitt mitgeteilt, der besonders die Potentiale und Grenzen der Konstruktionslehre für eine gestaltungsorientierte Technikbewertung untersucht hat.*

Konstruktionslehren und Konstruktionsmethodiken stellen neben dem Normen- und Richtlinienwerk der Ingenieurverbände den wichtigsten Ansatzpunkt innerhalb der Technikwissenschaften dar, normativ auf den technischen Schaffensprozeß einzuwirken. Denn Konstruktionslehren schaffen :

- über Systematiken und Navigationshilfen einen geordneten Zugang zum allgemeinen und speziellen Sachwissen der Technik,
- sie bündeln Erfahrungen und Erkenntnisse über Denk- und Arbeitsmethoden sowie Problemlösungstechniken zum systematisierten Prozeßwissen der Konstruktion.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Zu den Begriffen siehe V. Hubka, J. W. Schregenberger, Eine Ordnung konstruktionswissenschaftlicher Aussagen, in VDI-Z 131 (1898), 3, S. 33-36.

- Sie versuchen auch durch allgemeine Gestaltungsprinzipien, Kriterienkataloge, Vorgehensrichtlinien und zum Teil sogar technikethische Handlungsempfehlungen, technische Geneseprozesse normativ zu lenken. Sie haben dabei gegenüber allgemein werttheoretischen Ansätzen und generellen technologiepolitischen Postulaten den großen Vorzug, daß sie die Anforderungskriterien an die Technik konkret mit den Strukturen technischer Systeme und Verfahren sowie mit den Strategien zu ihrer Realisierung vermitteln können.

Doch ist aufgrund historisch-gesellschaftlich bedingter Orientierungen der Autoren von Konstruktionsmethodiken auf der einen und der lange Zeit fehlenden Aufmerksamkeit von Technikhistorikern und Techniksoziologen auf der anderen Seite das Potential der Konstruktionslehre und -forschung für eine bewußte Steuerung von Technikgeneseprozessen bisher weder erkannt noch ausgelotet worden.

Bei der Durchsicht von Schlüsseltexten und Fachzeitschriften der Konstruktionslehre und -forschung in Deutschland ergibt sich ein charakteristischer Wandel der Analogiemodelle, Metaphern und Leitbilder für das Konstruieren:

In der Anfangszeit wurde der Konstruktionsprozeß vor allem mit dem *künstlerischen Schaffensprozeß* und dem *philosophischen Erkenntnisprozeß* verglichen, meist mit einem berufsständischen Impetus. Unter dem Einfluß der Reuleaux'schen Kinematik wurde dann das *Elemente-Montage-Modell* mit den Prinzipien der Elementarisierung und des Austauschbaus auf die klassische Maschinenbaulehre übertragen und später sogar auf die Elementarisierung der Denkvorgänge ausgedehnt. Die zunehmende Bedeutung der Serienfabrikation führte seit der Jahrhundertwende zu einer Annäherung des Prozeßmodells der Konstruktion an das der Fertigung. Dies gipfelte nach dem Ersten Weltkrieg im Leitbild des *Fließmodells*, das den Konstruktionsprozeß analog zur Fließbandarbeit sieht. In den 30er und 40er Jahren ergab sich unter dem Einfluß von Elektromechanik und Feinwerktechnik durch die Verknüpfung des Fließbild- und Elemente-Montage-Modells das *Schaltplan-Modell*, daneben auch das Vorbild des mathematischen Lösungsverfahrens und das Feldmodell der Konstruktionsentscheidungen. Nach dem Zweiten Weltkrieg entstanden durch Anleihen an die Regelungstechnik bzw. Kybernetik, Systemforschung und Datenverarbeitung aus dem Schaltplan-Modell das *kybernetische*, das *systemtechnische Modell* und das *Modell des informationsverarbeitenden Prozesses*, die bis heute die verschiedenen Richtungen der deutschen und westeuropäischen Konstruktionsmethodik bestimmen. Dabei kündigt sich ein Wechsel von der sequentiellen zur Parallelverarbeitung an. In der letzten Zeit gibt es als Folge von

---

Vernetzung, objektorientierten Softwaretechniken und Gruppenarbeitskonzepten erste Ansätze für *Netzmodelle und Objektmodelle* des Konstruktionsprozesses.

Es ist offensichtlich, daß die erwähnten Analogiemuster den jeweils erreichten Stand der Produktivkräfte auf den Konstruktionsprozeß projizieren und damit auch entsprechende Rationalisierungskonzepte auf ihn übertragen, ohne diese bisher wirklich durchsetzen zu können. In der Gegenwart wie in der Vergangenheit scheiterten die Versuche über die fertigungs-, regelungs- und informationstechnischen Modellierungen der Elemente-Montage, des Fließbandes, des Schaltplanes, des Regelkreises und des Algorithmus prozeßstrukturierend auf die gesamte Konstruktionsarbeit einzuwirken, nämlich meist an deren komplexen Charakter. Es gelang nicht, mit den technischen Modellen auch die komplizierten Aufgaben-, Problem- und Entscheidungsstrukturen realer kooperativer Gestaltungsprozesse abzubilden. Es entstanden daher zunächst oft als Gegenmodelle, dann auch als Nebenmodelle zu den Prozeßketten, deskriptive Problemaufrisse bzw. später mehr oder weniger elaborierte Problemstrukturpläne, die die strategischen Festlegungen von Aufgaben oder Produktstrukturen bzw. Produkteigenschaften in Wechselbeziehung zu den Anforderungen und dem gesellschaftlichen wie ökologischen Konstruktionsumfeld thematisierten. Doch standen in der Geschichte der Konstruktionswissenschaft als Folge vorherrschender Rationalisierungsintentionen die Aufgabenpläne fast immer im Windschatten der Ablaufschemata.

## 1. ELEMENTARISIERUNGSANSÄTZE, PHASENMODELLE UND AUFGABENPLÄNE IN DER KONSTRUKTIONSLEHRE IN DEUTSCHLAND VON 1850-1945

*Sichere Regeln als Ergänzung von Konstruktionsgefühl und Erfahrung:*

*Die Konstruktionslehre Redtenbachers*

Der Begründer der Konstruktionslehre *Ferdinand Redtenbacher* (1809-1863) unternahm in seinem Hauptwerk "Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus" von 1852 den ersten Anlauf, das ganze Maschinenfach auf sichere Regeln zurückzuführen, um speziell in Deutschland "mangelndes Geld und eingeschränkte Erfahrung" zu kompensieren. Das hier wohl zuerst auftretende Motiv der Rationalisierung von Konstrukteurerfahrungen wird von ihm jedoch gleich wieder eingeschränkt. Da die Vielzahl praktischer Besonderheiten ein "wahres System für die Maschinenlehre" nicht zulasse, könne auf ein an der Erfahrung geschultes Konstruktionsgefühl, einen ausgebildeten "Zusammensetzungssinn, Anordnungssinn und Formensinn" nicht verzichtet werden: "Das Erfinden und Machen des Technikers beruht nicht bloß auf Wissenschaft und Handwerk, sondern auch, und zwar in nicht geringem Grade,

auf Geistestätigkeiten, die künstlerisch genannt werden müssen." <sup>2</sup> Da er sich allein auf das künstlerische Verfahren nicht verlassen wollte und das rein wissenschaftliche für zu aufwendig oder unergiebig hielt, sah er letztlich nur in der "combinierten Methode" das adäquate Konstruktionsverfahren.

Der Aufbau der "Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus" orientierte sich zwar implizit an einer Aufgabenfolge im Konstruktionsprozeß. Doch verzichtete Redtenbacher auf ein explizites Phasenmodell. Stattdessen findet sich bei ihm ein Neben- und Ineinander berechnender Bewertungsverfahren (exakte Berechnung von Bewegungsabläufen und Kraftflüssen, Verhältniszahlen für die Dimensionierung), Erfahrungsregeln für die Anordnung von Maschinen sowie eine Aufstellung von "allgemeinen Grundsätzen" für die Gestaltung von Maschinenteilen.<sup>3</sup> Er zeigte auch schon, daß diese Prinzipien sich teilweise widersprechen, so daß der Konstrukteur die optimale Lösung nur durch Kompromisse finden kann. Nicht zuletzt war es dieser Zielkonflikt-Charakter der Konstruktion, der nach Redtenbacher sowohl eine rein wissenschaftliche Vorgehensweise als auch ein streng geregeltes Verfahren ausschloß. Die erste große Konstruktionslehre im Maschinenbau hatte so das Geflecht der Konstruktionsentscheidungen und erste Schneisen einer Verwissenschaftlichung aufgezeigt, doch die Bewältigung der hohen Gesamtkomplexität weiterhin der Erfahrung und Kunst des genialen bzw. tüchtigen Konstrukteurs und seiner engen Kooperation mit der Werkstatt überlassen.

*Ein deduktives Konstruktionsverfahren auf der Basis der kinematischen Elementarisierung: Reuleaux's konstruktionswissenschaftliches Programm*

Gegenüber diesem Kompromiß von wissenschaftlichem und künstlerischem Verständnis des Konstruierens bemühte sich Redtenbachers Schüler *Franz Reuleaux* (1929-1905) um die Begründung einer streng wissenschaftlich-deduktiven Konstruktionslehre. Reuleaux wollte den in der deutschen Industriellen Revolution zu Tage getretenen 'Engpaß Konstruktion' durch eine Konstruktionslehre beheben, die das langwierige Sammeln von Erfahrungen komprimiert und dieses Erfahrungswissen in Form von exakten wissenschaftlichen Regeln und Gesetzen deduzierbar und damit lehrbar macht. Die Ausführung dieses Programms versuchte Reuleaux

---

<sup>2</sup> F. Redtenbacher, *Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus* (1852), 2. Aufl., Mannheim 1859, S. 285, 295; ders., *Die Polytechnische Schule*, in: *Die Residenzstadt Karlsruhe, Festgabe zur 34. Versammlung der Naturforscher und Ärzte*, 1858, S. 140, 151; ders., *Resultate für den Maschinenbau*, 2. Aufl., 2 Bde. Mannheim 1852, S. IV.

<sup>3</sup> Redtenbacher, *Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus*, S. 304-306.

in der "Theoretischen Kinematik" von 1875, einem der wichtigsten Werke der klassischen Maschinenbautheorie. Darin wollte er die "Erkenntnis der wahren Bildungsgesetze der Maschine" ausbreiten und dadurch dem Maschinenbauingenieur in nuce "die von ihm auszuführenden Denkopoperationen zum vollen Verständnis bringen; ich möchte an die Stelle einer unbestimmten, vielfach zufälligen Auffassung eine bestimmte wissenschaftliche setzen. Es handelt sich darum, die Maschinenwissenschaft der Deduktion zu gewinnen. Es handelt sich darum, deren Lehrgebäude so zu gestalten, daß es sich auf wenigen, ihm eigentümlichen Grundwahrheiten erhebt. Auf deren Ernst und Einfachheit muß der ganze Gestaltenreichtum zurückführbar sein, aus ihnen muß er umgekehrt entwickelbar sein." <sup>4</sup> Reuleaux leitete deshalb die bestehende Vielfalt einzeltechnikspezifischer Getriebetypen aus sechs Elementarparierungen von Grundelementen ab. Die wissenschaftliche Getriebesystematik bildete für ihn zugleich die jedem Erfinden und Konstruieren zugrundeliegende "logische Gedankenfolge" und war damit Grundlage eines impliziten Phasenmodells aus relativ stringenten Analyse- und Syntheseschritten.

Reuleaux glaubte, daß sich schließlich dieser 'Bottom-up'-Entwurf auf der Basis seines kinematischen Elementarbaukastens so vereinfachen ließ, daß die Konstruktion schließlich mit einer Zeichen- und Formelsprache erfolgen konnte, wie sie Chemiker und Mathematiker verwendeten.<sup>5</sup> Die wissenschaftliche Elementarisierung lief so auf eine "Vereinfachung von außerordentlicher Tragweite" hinaus und damit auf eine drastische Rationalisierung von zuvor nicht durchschaubaren und steuerbaren Konstruktionsvorgängen. Es zeigte sich jedoch schon bei Reuleaux ein Problem vieler späterer konstruktionsmethodischer Ansätze: Die analytisch gewonnene Reduktion von Komplexität ließ sich in der Synthese nicht einfach umkehren, die Anwendungskontexte und realen Umgebungsbedingungen konnten der abstrakten Morphologie nicht nachträglich aufgepfropft werden. Bei der konkreten Gestaltung wurde der Konstrukteur aber wissenschaftlich nicht unterstützt, denn alle Gestaltungsmerkmale, die sich nicht in einer "absoluten Form" und allgemein behandeln ließen, da gesellschaftsbezogen und widersprüchlich, waren kein eigentlicher Gegenstand der Konstruktionslehre. Fragen der Raumersparnis, der Gewichtsreduktion, der Sicherheit, der Dauerhaftigkeit sowie der Mon-

---

<sup>4</sup> F. Reuleaux, Lehrbuch der Kinematik, 1. Band: Theoretische Kinematik. Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens, Braunschweig 1875, S. VIII, 10; ders., Der Konstrukteur. Ein Handbuch zum Gebrauch beim Maschinen-Entwerfen, 4. Aufl., Braunschweig 1882/89, S. XV ff.; C. L. Moll, F. Reuleaux, Constructionslehre für den Maschinenbau, 2 Bde., Braunschweig 1854, Vorrede zu Bd.1, S. XIII.

<sup>5</sup> Reuleaux, Der Konstrukteur, S.XII f.; ders., Theoretische Kinematik, S. 243-271. Vgl. auch O. Mayr, Symbolsprachen für mechanische Systeme im 19. Jahrhundert, in: Technikgeschichte 35 (1968) 3, S. 223.

tage von Konstruktionen wurden allein dem 'Scharfblick' des entwerfenden Ingenieurs überlassen.<sup>6</sup> Mit seinem theoretisch-kinematischen Ansatz hatte Reuleaux als erster den Anspruch einer Verwissenschaftlichung des Konstruktionsprozesses zum Zwecke seiner Rationalisierung aufgestellt. Dies war aber nur um den Preis einer drastischen Komplexitätsreduzierung und einer Aufteilung des Konstruierens in einen wissenschaftlichen und einen erfahrungspraktischen Bereich erreichbar.

*Ingenieurkunst und Methodenpluralismus zur Bewältigung der Problemvielfalt:  
Die empirisch-induktive Konstruktionslehre von Riedler*

Die in der Praxis tätigen Ingenieure und sehr viele Maschinenbau-Professoren verhielten sich allerdings weitgehend ablehnend gegenüber Reuleaux's deduktivem Ansatz. Besonders *Alois Riedler* (1850-1936), der engagierteste Gegenspieler Reuleaux's, warnte vor dem Irrweg einer theorielastigen Konstruktionslehre. Nach seiner Auffassung war Konstruieren weiterhin in erster Linie "Ingenieurkunst", da es ein "bildendendes, gestaltendendes und wiedergebendes Vorstellungsvermögen", den Gebrauch aller Sinne sowie praktischen Umgang mit dem wirklichen, und nicht nur berechneten Verhalten der Dinge voraussetze. Neben den auf exakte Maße rückführbaren Größen hat der Konstrukteur nämlich Bedingungen festzulegen, bei der "Abstraktion und Zergliederung" die Erfahrung nicht ersetzen könnten: z.B. Größe der zulässigen Formänderungen, Herstellungs-, Bearbeitungs- und Betriebsbedingungen einschließlich der dabei auftretenden Reibung, Abnutzung und Erwärmung sowie alle Kostenaspekte von Fertigung und Betrieb.<sup>7</sup>

Im Gegensatz zur bisherigen Konstruktionslehre, die fast ausschließlich auf den Wirkmechanismus zentriert war, wies Riedler als erster auf die Gleichwertigkeit der verschiedenen konstruktiven Teilaufgaben hin. Das Entscheidungsproblem zwischen diesen teils parallelen, teils gegenläufigen Gestaltungskriterien bzw. -parametern war für ihn Bestandteil der Konstruktionslehre und nicht, wie für Reuleaux, ihr unbedeutender Anhang.<sup>8</sup> Bei ihm findet sich daher auch kein Phasenmodell des Konstruktionsprozesses. Das Konstruieren bestand für ihn in einem ständigen Wechsel zwischen der Erarbeitung streng wissenschaftlicher

---

<sup>6</sup> Reuleaux, *Theoretische Kinematik*, S. 23-27, 39ff..

<sup>7</sup> A. Riedler, *Das Maschinen-Zeichnen*, Berlin 1896, S. 20, 24; ders., *Zur Frage der Ingenieur-Erziehung*, Berlin 1895, S. 10-19, 28 f.; ders., *Die Ziele der technischen Hochschulen*, in: *Zeitschrift des VDI (ZVDI)*, 40 (1896) 12, S. 301-304.

<sup>8</sup> Riedler, *Das Maschinen-Zeichnen*, S. 21.

Lösungen, der experimentellen Überprüfung und der Anpassung an verschiedenste Rücksichten. Der Verzicht auf eine Rationalisierung des Konstruktionsverfahrens und einen umfassenden Verwissenschaftlichungsanspruch ging in der pragmatisch-orientierten Konstruktionslehre einher mit einer gegenüber dem Reuleaux'schen Ansatz wieder deutlich ausgeweiteten Komplexität. Diese war freilich so groß und die Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Entscheidungsaufgaben des Konstrukteurs so wenig expliziert und systematisiert, daß der Gesamtprozeß wieder nur der unbegriffenen ganzheitlichen "Ingenieurkunst" überlassen werden konnte.

*Die Analyse der Elemente des Denkprozesses am Übergang vom Neoidealismus zum Taylorismus: Die Konstruktionsphasenmodelle von Engelmeyer, Winkler und Menge*

Die durch Reuleaux angestoßenen Bemühungen um ein geregeltes Verfahren des Konstruierens hörten trotz des eindeutigen Übergewichtes pragmatischer Konstruktionslehren um die Jahrhundertwende nicht gänzlich auf. Neben ihnen gab es weiterhin Ansätze für eine rationale Durchdringung und methodische Lenkung der Denk- und Arbeitsvorgänge des Konstrukteurs. So den auch in Deutschland publizierenden russischen Bewertungs-Ingenieur, Technikphilosophen und Technikpublizisten *Peter Klimentitsch von Engelmeyer* (1850er-1940er Jahre), der, "als bewußter Dilettant ohne Rücksicht auf tradierte Fachgrenzen" zukunfts-trächtige Ideen aus Philosophie und Wissenschaft mit einander zu verknüpfen suchte, um die Strukturelemente schöpferischen Denkens freizulegen. Die Bewußtmachung von Denkakten und das Erkennen von Denknotwendigkeiten sollte zugleich dazu dienen, dem Ingenieur über bloßes Basteln und Probieren hinaus zu einer verbesserten Methodik zu verhelfen. Der irrationale Erfindungs- und Schaffensvorgang" sollte am Ende rational und streng wissenschaftlich dechiffriert, dadurch durchschaubar und steuerbar werden. Wie Reuleaux für ein rationelleres Konstruieren die Maschine und Maschinenteile in letzte Grundbestandteile aufgelöst hatte, wollte Engelmeyer den Denkprozeß des Maschinen-Entwerfens in seine Elemente zergliedern und auf der Basis einer "Analyse der einfachsten psychologischen Elemente" komplexe Aufgaben in mehrere einfache aufteilen, wenn auch zunächst nur im Unterricht.<sup>9</sup>

Das Ergebnis seiner philosophisch-psychologischen Entmystifizierung der "Erfindung" war das erste explizite Phasenmodell mit einer ausführlichen Beschreibung des "vollständigen

---

<sup>9</sup> P. K. v. Engelmeyer, *Der Dreiakt als Lehre von der Technik und der Erfindung*, Berlin 1910 ; ders., *Über das Entwerfen der Maschinen*, in: *Civilingenieur*, N.F. Bd. 39 (1893) 7, S. 535-554, bes. S. 554; Manfred Späth, *Zur Biographie des russischen Ingenieurschriftstellers und Technikphilosophen Peter Klimentitsch von Engelmeyer*, unveröffentl. Ms.

systematischen Prozesses des Entwerfens" als eines "psychologischen Prozesses". In ihr erschien das Lösen eines "technologischen Problems" in der Form eines Stufenmodells vom Abstrakten zum Konkreten: Die Akteinteilung legte implizit mit seiner "Zerlegung des Prozesses in seine Elemente" und der Abstufung der unterschiedlichen psychologisch-kognitiven Denkleistungen nach dem Grad der Komplexität die hierarchische Arbeitsteilung zwischen Chefkonstrukteur, Entwicklern **bzw.** Ingenieuren und Technischen Zeichnern zugrunde. Der 1. Akt erfordert die höchste geistig-schöpferische Qualifikation, der 2. Akt ist vorzugweise das Feld der wissenschaftlich ausgebildeten Fachkräfte, während der 3. Akt eher elementare Kenntnisse der Mathematik und nur begrenzte technisch-wissenschaftliche Kenntnisse benötigt.

Engelmeyers Dreiakt-Lehre zusammen mit Reuleaux's Elemente-Montage-Modell wurde Vorbild für weitere Phasenmodelle vor und nach dem Ersten Weltkrieg. Die seit Beginn der 20er Jahre unter dem Einfluß von Massen- und Fließfabrikation wieder aufgenommenen Anstrengungen zu einer systematischen Durchleuchtung von Konstruktionsvorgängen änderten ihre Zielrichtung immer mehr von kognitiv-rationalen Beschreibungsmodellen zu rationalisierenden Organisationsmodellen des Konstruktionsprozesses. Dabei verschob sich zugleich der Branchenschwerpunkt der Konstruktionsforschung und -lehre allmählich vom Maschinenbau zu den neuen Bereichen Elektrokonstruktion, Feinwerktechnik und Automobilbau.

Der Automobilkonstrukteur und Unternehmer *Otto Winkler* versprach sich von seinem Phasenmodell von 1921 eine rationale Eigenbeobachtung und bewußte Generierung und Auswahl von Alternativkonstruktionen. Der Konstruktionsleiter erhielt dadurch eine Grundlage für eine kooperative, nicht-autoritäre Lenkung der Konstrukteur-Individualitäten im Technischen Büro. Die gedankliche Rationalisierung des Erfindens und Konstruierens könne so verhindern, daß sich Konstrukteure "einer Gedankenfolge völlig willenlos hingeben und zu einem beliebigen Resultat treiben lassen". Doch schloß Winkler ausdrücklich jede kreativitätshemmende Gängelung und Rationalisierungsabsichten aus: "Das Konstruieren wickelt den Gedankenfaden also nicht so ab, wie etwa bei der Auflösung einer mathematischen Gleichung, die zwangsläufig zur Feststellung der bisher noch unbekanntem Größe führt, sondern die 'unterwegs' gewonnenen Zwischenstufen werden Ausgangspunkte für neue, durch den Willen bestimmte Entwicklungsrichtungen<...>" <sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> O. Winkler, Über die geistigen Vorgänge beim Konstruieren und Erfinden, in: Der Motorwagen 24 (1921) S. 534-538.



Der Ingenieur *Heinrich Menge* wollte dagegen mit dem "System Menge" die Konstruktionsarbeit nach dem Muster der Fertigung "in rein organisatorischer oder dispositionstechnischer Art" normen. Seine Ziele waren dabei: "1. die weitestgehende Ausschaltung von Gedächtnisarbeit ; 2. zeitlich unbegrenzte subjektive Arbeitsmethoden durch solche mit zeitlich begrenzter objektiv-automatischer Selbsteinstellung derart zu ersetzen, daß sich wiederum zwangsläufig; 3. die produktiven Leistungen jedes einzelnen Mitarbeiters stetig zunehmend bis zur Höchstleistung steigern".<sup>11</sup> Grundlage des auf Termintreue und "Zwanglauf" zielenden Fließkonzepts war eine vermehrte Arbeitsteilung nach tayloristischem Vorbild. Mit äußerlichen arbeitsorganisatorischen Maßnahmen wie Arbeitsteilung und Zeitkalkulation konnten Firmenleiter und Betriebsingenieure jedoch nur untergeordnete Konstruktionstätigkeiten, vor allem die Zeichnungserstellung und -verwaltung in den Griff kriegen, nicht aber an das komplexe, unzergliederte Erfahrungswissen der Ingenieure herankommen. Hier blieb es bei hilflosen Appellen an die Selbstdisziplinierung der Konstrukteure. So forderte ein Artikel über "das wirtschaftliche Arbeiten im Konstruktionsbüro" von Hans Hartwig Schmidt aus dem Jahre 1927 die freiwillige Aufstellung von Arbeitsplänen: "Wie das Förderband in ruhigem Gleichmaß durch die Werkstätten gleitet und zwangsläufig das Erzeugnis seiner Vollendung entgegenführt, so sollen ihm die technischen Unterlagen fertigungsreif durch ein unsichtbares Band *geistiger Fließarbeit* in der Verwaltung und in den Büros zugeführt werden. Wie im Betriebe, so muß auch im Büro durch weitgehende Arbeitsvorbereitung jede *unproduktive* Gedächtnisarbeit nach Möglichkeit ausgeschaltet werden." <sup>12</sup>

*Konstruieren nach dem Vorbild des Schaltplanentwurfes Die feinwerktechnische Konstruktionslehre in den 20er Jahren*

Die Rationalisierungsbewegung der 20er Jahre hatte nicht nur versucht, Strategien und Ablaufmodelle der Fabrikation auf den Konstruktionsprozeß zu übertragen, sie löste auch neue Strukturierungsbemühungen in bezug auf den Konstruktionsgegenstand aus. Das relativ größere Interesse der Elektroindustrie an der skalenökonomischen Großserienherstellung und die dort weiter verbreitete Verwendung genormter bzw. typisierter Bauelemente (z.B. Relais, Röhren, Kleinstmotoren) machte vor allem die Elektromechanik-Konstruktion zum Ausgangspunkt neuer Bestrebungen zur Elementarisierung und Produktstrukturierung. In der noch sehr jungen feinwerktechnischen Massenfabrikation von Telefonen, Grammophonen,

---

<sup>11</sup> H. Menge, Aufgaben und Bedeutung des Konstruktions-Büros in Industrie-Unternehmungen, in: Maschinenbau 3 (1924) 19, S. 679-691, Zitat S. 679.

<sup>12</sup> H. H. Schmidt, Wirtschaftliches Arbeiten im Konstruktionsbüro, in: Maschinenbau 6 (1927) 8, S. 380 f.

Radios, Meßgeräten, aber auch Schreib- und Rechenmaschinen bestand dabei der größte Bedarf an elementaren Wiederholteilen und fertigungsrationellen Baukastensystemen. Von dieser neuen heterogenen Branche, die die Schwachstromtechnik, Feinmechanik sowie Optik- und Akustikgeräte umfaßte, gingen daher auch die entscheidenden neuen Impulse zur Elementarisierung und Produktstrukturierung in der Konstruktionslehre nach dem Ersten Weltkrieg aus.

Im Hinblick auf maximale Stückzahlen hatten die im Siemens-Fernmelde- und Meßgerätekwerk tätigen Ingenieure *Otto Richter* und *Richard von Voß* nach möglichst allgemeinen Konstruktionselementen aller feinwerktechnischen Zweige gesucht und setzten deshalb in der Tradition des klassischen Maschinenelemente-Generalnenner-Ansatzes und der Kinematik bei den niederen Konstruktionselementen an. Die Rückführung der feinwerktechnischen Konstruktionselemente auf wissenschaftlich begründbare elementare Formen, wie es Reuleaux zuvor für den klassischen Maschinenbau (Kraftmaschinen und Werkzeugmaschinen) entwickelt und für Uhren, Wagen und Teleskope bereits anvisiert hatte, sollte der heillosen Formenvielfalt, der alltäglichen Mehrfacherfindung trivialer Bauteile und ständigen Wiederholung längst erkannter Fehler ein Ende machen. Sie paßten deshalb die Reuleaux'sche Elemente- und Getriebe-Systematik an die massenfertigungsorientierte Feinwerktechnik an und erweiterten sie um elektromechanische und optisch-mechanische Konstruktionselemente, wobei sie jedoch nicht über ein Nebeneinander der verschiedenen Arten hinausgelangten. Zwar bestanden Voß und Richter nicht auf jeweils nur einer Bestlösung, sondern boten oft "verschiedene brauchbare Lösungen zur kritischen Auswahl" an, doch implizit hielten sie an Reuleaux's Vorstellungen des Konstruktionsprozesses als Analyse und Synthese vorbildlicher Grundelemente fest.<sup>13</sup> Das gilt auch für den Professor für Maschinenelemente an der TH Dresden *Karl Kutzbach* (1875-1942) und seinen Schüler *Werner Kniehahn* (1895-1967), Professor für Maschinenbau und Feinmechanik an der TH Dresden und TU Berlin, die den Ansatz von Richter und Voß zu einer "Allgemeinen Konstruktionslehre der feinmechanischen Technik" weiterentwickeln wollten.

Die vergleichende "Schalt- und Getriebelehre" von *Rudolf Franke* (1870-1962), Professor für "Werk- und Gerätebau" an der TH Charlottenburg, bildete den Abschluß der im Gefolge der Reuleaux-Renaissance in den 20er- und 30er Jahren entstandenen feinwerktechnischen Konstruktionslehren. Implizit wurde die Konstruktionsmethodik bei ihm auf den elektrischen

---

<sup>13</sup> O. Richter, Konstruktionselemente der feinmechanischen Technik, in: Maschinenbau 3 (1924) 20, S. 723 f., ders., Feinmechanik und Maschinenbau, in: Z-VDI 68 (1924) 42, S. 1089-1092; O. Richter, R. v. Voß, Bauelemente der Feinmechanik, Berlin 1929.

bzw. elektromechanischen Schaltkreisentwurf hin ausgerichtet, bei dem der Funktionsmechanismus zunächst abstrakt in einem Schaltplan bzw. Stromlaufplan konzipiert, theoretisch-mathematisch analysiert, dann in Baugruppen aufgeteilt und schließlich mit Hilfe geeigneter Bauelemente realisiert wird. Franke arbeitete bereits mit einer logisch-funktionalen Analogie von Elementen mechanischer, elektrischer und hydraulischer Effekte und stieß mit seiner Systematik logischer Funktionen (Leiten, Koppeln, Trennen, Wandeln) zu einem allgemein-funktionalen Lösungsansatz vor, der zunächst die abstrakte Funktionalität eines Wirkmechanismus und dann erst die geeigneten physikalischen Lösungselemente betrachtet.<sup>14</sup> Die bereits hier erfolgte Verallgemeinerung des Schaltplanentwurfs zu einem deduktiven Konzept des Aufstiegs vom Abstrakten zum Konkreten mündete nach dem Zweiten Weltkrieg in dem systemtechnischen Modell des Konstruktionsprozesses.

Aus diesen unterschiedlichen produkt- und prozeß-bezogenen konstruktionswissenschaftlichen Ansätzen während der 20er- und frühen 30er Jahre entstanden jedoch nicht die erhofften Rationalisierungsinstrumente für die Konstruktion. Aus den gegenstandsbezogenen Strukturierungsansätzen ergaben sich keine praxistauglichen sequentiellen Vorgehensmodelle für die konstruktive Tätigkeit, während aus den Fließmodellen hocharbeitsteiliger Konstruktionsprozesse keine Strukturierung der Konstruktionsgegenstände hervorging, die der Komplexität und Verflechtung mit konkreten Gegebenheiten gerecht wurde. Die Metaphern des Fließbandes und des Austauschbaus bzw. der Elemente-Montage führten in die Irre, die Modellübertragung von der Fertigung auf die Konstruktion erwies sich weitgehend als eine inadäquate Vereinfachung. Die im Hinblick auf die Gesamtrationalisierung der Produktentwicklung intendierte Strukturkonformität von Produktmodell sowie Fertigungs- und Konstruktionsprozeßmodell ließ sich nicht, und schon gar nicht im ersten Anlauf herstellen.

In der zweiten Hälfte der 30er Jahre begannen daher neue Anstrengungen für eine *wissenschaftlich* begründete bzw. *verfahrens-orientierte* Methodenlehre des Konstruierens, die mit Hilfe neuer, erweiterter Ansätze das "unsichtbare geistige Fließband" wirklich sichtbar machen wollten. Der erneute 'Engpaß Konstruktion' und die kriegsbedingte Ausweitung der arbeits- und rohstoffsparenden Massenproduktion in der Zeit nach 1936/37 im Zuge der nationalsozialistischen Rüstungskonjunktur bzw. Kriegswirtschaft bildeten den Entstehungsanlaß für eine ganze Reihe von Methodenlehren des Konstruierens, die zwischen der Strukturierung des Konstruktionsgegenstandes und seiner Elemente und den Ablaufmodellen des Konstruk-

---

<sup>14</sup> R. Franke, Eine vergleichende Schalt- und Getriebelehre. Neue Wege der Kinematik, Berlin 1930; ders., Vom Aufbau der Getriebe. Eine neue, die Getriebe aller technischen gebiete einheitlich zusammenfassende Lehre für Konstrukteure und Studenten, 2 Bde. Düsseldorf 1951.

tionsprozesses mithilfe von Bewertungsverfahren, Problemstrukturplänen und logischen Funktionsanalysen bzw -synthesen vermitteln wollten.

*Kesselrings Ansatz einer Rationalisierung des Konstruktionsprozesses durch ein kosten orientiertes Schema der Konstruktionsbewertung*

Der Entstehungsprozeß der wohl wichtigsten Vorläufer der heutigen Konstruktionswissenschaft, der Konstruktionsmethodiken von Kesselring und Wögerbauer muß, in hohem Maße als Reaktion auf technisch-ökonomische Problemlagen in den 30er und 40er Jahren angesehen werden. Beide knüpften mit ihren methodischen Reflexionen nur sehr begrenzt an die maschinentheoretische bzw. kinematische Konstruktionslehre des klassischen Maschinenbaus an. Die entscheidenden Impulse kamen vielmehr von der Rationalisierungsbewegung der 20er Jahre, den besonderen rüstungswirtschaftlichen Konstruktionsanforderungen der 30er und 40er Jahre und dem damit einhergehenden Konstrukteurmangel. Daß die ersten Verfasser von ausgearbeiteten Theorien über den Prozeß des Konstruierens beide aus der elektrotechnischen Großindustrie stammten, - Kesselring aus der Siemens-Schaltgeräte-Entwicklung, Wögerbauer aus der nachrichtentechnischen Feinmechanik des Wiener Siemens-Werkes bzw. des Werner-Werkes in Berlin- verweist darüber hinaus auf einen engen Zusammenhang der Entstehung der wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik mit der elektrotechnischen Produktivkraftentwicklung.

*Fritz Kesselring* (1897-1977) , seit 1924 Entwicklungsleiter für den Bereich Hochspannungsschaltgeräte im Siemens-Schuckert-Schaltwerk, schuf zwischen 1935 und 1943 eine von ihm "Gestaltungslehre" genannte Methodik des Konstruierens, die später maßgeblichen Einfluß auf die Konstruktionswissenschaft der BRD erlangte. Deren Kern bildet ein verbindlicher sogenannter "Gestaltungsplan", der den Ablauf der Bewertungsverfahren zur Ermittlung der technischen, wirtschaftlichen und kombinierten Wertigkeit regelte. Um von Vermutungen und gefühlsmäßig gewonnenen Ansichten unabhängig zu werden, führte Kesselring "auch für die Beurteilung geistiger Erzeugnisse den Begriff der Zahl, des Messens und der Mathematik ein." Als das letztlich anzustrebende methodische Ideal für das Konstruieren sah er das mathematische Problemlösen an, die Lösung mathematischer Aufgaben durch konvergierende Näherungsverfahren.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> F. Kesselring, Konstruieren und Konstrukteur, in: Z-VDI 81 (1937) 13, S. 365 f. 370 f. und 82 (1938) 38, S. 1099 f.; ders., Die 'starke' Konstruktion. Gedanken zu einer Gestaltungslehre, in: Z-VDI 86 (1942) 21/22, S. 321-330, bes. 321 f. , 330.

Kesselring ergänzte nach dem Zweiten Weltkrieg das Bewertungsstufenschema um eine umfassende Systematik von Konstruktionsanforderungen bzw. Bewertungskriterien. Beides zusammen bildet den Kern der immer noch gültigen VDI-Richtlinie 2225 "Technisch-wirtschaftliches Konstruieren". Mit einem auf 10 Klassen (quantitative, geometrisch-kinematische, mechanische, thermische, elektrische, optische, akustische, chemische Eigenschaften, Herstell- und Montage-, Gebrauchs- Bedienungs- und Wartungseigenschaften) verteilte Auflistung von über 800 "Eigenschaften" war das Verzeichnis freilich kaum noch überschaubar. Er komprimierte sie deshalb auf 5 übergeordnete Gestaltungsprinzipien.<sup>16</sup> Doch weder die ausführliche Liste technischer "Eigenschaften" noch die fünf übergeordneten Gestaltungsprinzipien konnten dem Konstrukteur beim Variations- und Selektionsproblem wirklich helfen. Denn die umfassende Kriterienliste erzeugte bei der Herstellung von Wechselbeziehungen bzw. bei Kombinationen zu viele Lösungsvarianten, für deren Selektion der rechnerische Wertigkeitsvergleich zu mechanisch und umständlich war. Die übergeordneten Gestaltungsprinzipien hingegen waren durch ihre fehlende Verknüpfung mit den konstruktiven Einzelentscheidungen für die Variantenoptimierung zu allgemein. Die Komplexität und Zielkonflikte der Gestaltung von Produkten und die damit verbundenen kooperativen Entscheidungsprobleme zwischen verschiedenen Professionen und Abteilungen wurden hier in eine mechanische Kette scheinbar exakter Bewertungsabläufe aufgeteilt, damit aber nicht wirklich gelöst.

*Wögerbauers "Technik des Konstruierens" zwischen rationellem Ablaufplan und problemstrukturierendem Aufgabenplan*

*Hugo Wögerbauer (1904-1976)*, Konstrukteur und Konstruktionslehrer bei Siemens in Wien bzw. Berlin und später Professor für Feinwerktechnik an der TU München, kam Mitte der 30er Jahre bei Bemühungen zu einer feinwerktechnischen Konstruktionslehre zu der Erkenntnis, daß weder das Elemente-Montage-Modell der Kinematik noch das mathematische Lösungsverfahren als Muster für den Konstruktionsprozeß taugten: "Der entscheidende Fehler der ersten Versuche zur Erreichung einer Wissenschaft des Konstruierens bestand darin, daß diese nach dem Vorbild bereits vorhandener, schon weiter fortgeschrittener Wissenschaften geschaffen werden sollte. Die ganz einzigartige Vielseitigkeit des Konstruierens läßt dieses Bestreben heute als grundsätzlich falsch erkennen. Das Konstru-

---

<sup>16</sup> F. Kesselring, Bewertung von Konstruktionen, ein Mittel zur Steuerung von Konstruktionsarbeit, Düsseldorf 1951, wieder aufgenommen in der VDI-Richtlinie 2225 (Bl.1), Konstruktionsmethodik, Technisch-wirtschaftliches Konstruieren, Düsseldorf 1964, 1969, 1977, S. 21-24; ders., Technische Kompositionslehre. Anleitung zu technisch-wirtschaftlichem und verantwortungsbewußtem Schaffen, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1954, S. 342-346.

ieren kann als eine Geistestätigkeit ureigenen Gepräges nur nach eigenen Gesetzen gelehrt werden." Mit Hilfe einer "allgemeinen Theorie des Konstruierens" wollte er, ähnlich wie vor ihm Engelmeyer und Ostwald, auch das methodische Vorgehen und die Gedankenschritte beim Konstruieren bewußt und erlernbar machen. An die Stelle der Suche nach den *wirkungstechnischen Grundbausteinen* trat dabei nun die Untersuchung der *grundlegenden Denkelemente* und Problemstrukturen des Konstruktionsprozesses sowie die Methoden ihrer Verknüpfung.<sup>17</sup>

Phasenmodelle finden sich zwar auch bei Wögerbauer, doch treten sie schon bald hinter Aufgabenplänen zurück. In seinem 1942 zuerst erschienenen Hauptwerk, der "Technik des Konstruierens", regelt das Phasenkonzept nur noch den äußeren Ablauf, denn er hatte bereits 1939 erkannt, daß sich "die dem technisch-konstruktiven Denken gestellten Aufgaben <...> keine Einzelaufgaben, sondern immer Gruppen von zusammenhängenden, sich gegenseitig bedingenden Teilaufgaben <sind>" und daß viele Gestaltungsziele bzw. -richtlinien eine durchgängige und nicht nur phasenweise Aufmerksamkeit beanspruchen. Er wählte deshalb anstelle des Fließmodells mehr und mehr die Feldmetapher aus der Physik: "Es kann angenommen werden, daß jede dieser Teilaufgaben im Augenblick des geistigen Aufnehmens durch den Ingenieur die Menge seiner Vorstellungen in einen Zustand versetzt, wie ihn etwa die Physik als Feld bezeichnet. Man könnte also im übertragenen Sinne sprechen von einem Funktionsfeld, einem Betriebsfeld, einem Werkstofffeld, einem Herstellfeld, einem Kostenfeld usw. <...> Durch die Einwirkung jedes Feldes auf die durch dieses Feld beeinflussbaren Vorstellungen werden die Vorstellungen gerichtet und damit bewußt." <sup>18</sup>

Die Feldmetapher ermöglicht es ihm erstens, die Erzeugung konstruktiver Ideen im "inneren Kraftfeld des Konstruierens" von Beginn an in Wechselbeziehung zu den äußeren Kraftfeldern des Betriebes und der Volkswirtschaft bzw. der Nation zu stellen. Weil alle betriebs- und volkswirtschaftlichen Investitionen, die "Materialströme und der Menscheneinsatz" durch seine Arbeit bestimmt würden, müsse der Konstruktionsingenieur immer über den Horizont des inneren Kraftfeldes hinausblicken und sein eigenes Vorstellungswerk kritisch aus der Sicht der äußeren Kraftfelder prüfen. Die Feldmetapher dient Wögerbauer zweitens dazu, im

---

<sup>17</sup> H. Wögerbauer, Technik des Konstruierens, 2. Aufl., Berlin 1943, S. 165; ders., Eine Konstruktionslehre der Fernmeldetechnik, in: Zs. für Fernmeldetechnik, Werk- und Gerätebau 18 (1937) 10, S. 153 f.; ders., Zur Entwicklung einer feinwerktechnischen Gestaltungslehre, in: Zs. f. Feinmechanik u. Präzision 45 (1937) 15, S. 218.

<sup>18</sup> H. Wögerbauer, Die herstellungswirtschaftliche Ausrichtung des konstruktiven Denkens, in: Werkstattstechnik und Werksleiter, 33 (1939) 15, S. 369-373, Zitat S. 372.

Gegensatz zu der jahrzehntelang dominierenden Einengung des Gegenstandes der Konstruktionslehre, auf das Wirkprinzip die ganze Vielfalt der Entscheidungsaufgaben im Konstruktionsprozeß auszubreiten. Wie vor ihm Redtenbacher und vor allem Riedler, auf die er ausdrücklich verweist, erkennt er die Gleichwertigkeit der Wirkweise mit den übrigen konstruktiven Teilaufgaben an, wozu er u.a. die Dimensionierung, die Werkstoffwahl, die Anpassung an die Herstellungs- und Montagebedingungen sowie die gebrauchsgerechte und rohstoffsparende Gestaltung rechnet. Wögerbauer begnügte sich jedoch nicht mit einer bloßen Zusammenstellung von Gestaltungsaufgaben und Einflußfaktoren. Seiner Meinung nach erreichten derartige Listen, so nützlich sie im Einzelfall sein mögen, ihr Ziel, den Konstrukteur zu einem "planvoll überlegten lückenlosen Konstruieren" zu führen, in der Regel nicht, weil sie die unterschiedlichen Entscheidungsaufgaben lediglich beziehungslos nebeneinander stellten. Er verwendete die Metapher physikalischer Feldlinien daher drittens, um die Wechselbeziehungen und Zielkonflikte zwischen den verschiedenen konstruktiven Problemen zur Anschauung zu bringen.

Die eigentliche Aufgabe einer Konstruktionsmethodik bestand für ihn deshalb in einer systematischen Verknüpfung der Gestaltungsentscheidungen zu einem "*System der Teilaufgaben*", das die Problemzusammenhänge nicht in der Summation einer Liste, sondern konkret topologisch ordnet. Den Kern der "Technik des Konstruierens" bildete daher ein "*allgemeiner Aufgabenplan*", der die heterogenen Anforderungen und Bedingungen in Gestalt eines "logischen Systems eindeutiger Vorstellungen" sichtbar macht, um dem Konstrukteur ein planvolles Navigieren zu ermöglichen. Die Darstellungsform des Aufgabenplanes ist demgemäß ein Relationennetz in unterschiedlicher Auflösung, mit dem die Vielfalt der konstruktiven Teilaufgaben strukturiert wird, und zwar in die verschiedenen *Betriebsaufgaben*, die sich aus den Kundenanforderungen ergeben (Wirkung, Bedingungen des Verwendungsortes, Größe, Gewicht, Handhabung, Wartung, Instandsetzung, Energieverbrauch, Gebrauchsdauer, Betriebssicherheit) und die *Verwirklichungsaufgaben*, d.h. die Anforderungen, denen die Konstruktion genügen muß (Wirkungsweise, Gestalt, Baustoff, Fertigungsverfahren, Zusammenbauverfahren, Normteile, Termine und Kosten).<sup>19</sup>

Die Netz- und Objektstruktur des "allgemeinen Aufgabenplanes" impliziert, daß die Lösung der Teilaufgaben nicht mehr nach einem sequentiellen Schema erfolgt, wie es die Phasenmodelle bisher vorsahen, vielmehr ist "fast niemals nur eine Richtung gangbar, sondern es bieten sich meist mehrere, oft zahlreiche Wege dar". Das Bahnen-Netz signalisiert dem Konstrukteur auch die Gleichrangigkeit von Wirkprinzip mit den anderen

---

<sup>19</sup> Wögerbauer, Technik des Konstruierens, S. 78 ff.

Gestaltungsproblemen: "Die Lösung muß alle diese Teilaufgaben gleichzeitig optimal erfüllen; sie kann also nicht etwa aus einer zwangsläufigen Gleichungslösung gewonnen werden, sondern ist als Variationsproblem zu betrachten." Der "Aufgabenplan" habe daher notgedrungen eine komplexere Struktur: "Es handelt sich dabei eben um die Abbildung eines biologischen Prozesses. Ein solcher läßt sich weder in einfache Formeln zwingen, noch auch in einfache Schemata bringen". Eine konstruktive Lösung könne nicht durch Kombination gegebener oder hinzu zu fügender Voraussetzungen nach bestimmten mathematischen oder logischen Denkregeln "zwangsläufig" erreicht werden, sondern nur durch freie Kombination von Teilaufgaben gemäß dem Urteilsvermögen und dem im Gedächtnis gespeicherten Erfahrungen des Konstrukteurs. Die Vielfalt möglicher Kriterien und die Erfahrungsgebundenheit der Variationsselektion waren für Wögerbauer auch das ausschlaggebende Hindernis für eine "Mechanisierung der Konstruktionsarbeit": "Der Mensch kann also nie zur Konstruktionsmaschine dressiert werden, während er wohl zu einem Griffmechanismus abzurichten ist".<sup>20</sup>

Wögerbauer wandte sich gegen eine Reduzierung der Komplexität des Konstruktionsprozesses zugunsten eines rationellen zwangsläufigen Verfahrens. Er nahm jedoch angesichts des Ausmaßes von Komplexität nicht mehr, wie noch Redtenbacher und Riedler, Zuflucht zur Künstlermetapher, sondern machte das Korrelationsnetz der Entscheidungsprobleme selbst zum Hauptgegenstand seines Systematisierungsansatzes. Die schöpferische Leistung des Ingenieurs lag für ihn nicht mehr in einem dem Entwurfsmechanismus aufgesetzten Künstlertum, sondern in der Integrationsleistung zwischen den disparaten Problemlösungs- und Entscheidungsaufgaben, die eine Art Problemstrukturplan im doppelten Sinne rationalisieren sollte. Die Einbindung in die faschistische Kriegswirtschaft und die Führer- und Werkgemeinschaftsideologie verhinderten aber, daß das Potential des Wögerbauerschen Ansatzes wirklich zum tragen kommen konnte. Sie behinderte auch die Einsicht, daß der relationale "Aufgabenplan" die Abbildung bzw. das Modell für die kooperative Bearbeitung komplexer Problemlösungsprozesse im Betrieb durch unterschiedliche Professionen und Qualifikationen darstellt, denn eine solche Sichtweise hätte die hierarchisch geleitete, arbeitsteilige Auftragsabwicklung in Frage stellen können.

Wögerbauer schwankte zwischen einem szientistischen Methodenideal und einer pragmatischen, erfahrungs- und gesellschaftsbezogenen Gestaltungstheorie, zwischen einer mechani-

---

<sup>20</sup> Ebda., S. 71, 79, 92 f ; Wögerbauer, Die allgemeinen Gesetze der Konstruktionstechnik, Vortrag im österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein, Wien, 15.12.1937, vervielfältigtes Manuskript, S. 5.



stisch-psychotechnischen und einer ganzheitlichen Auffassung der kognitiven Tätigkeit des Konstrukteurs, zwischen einem sequentiellen, tayloristischen bzw. fordistischen Prozeßmodell und einem quasi-biologischen Relationennetz der Konstruktionsprobleme. Gerade durch diese Widersprüchlichkeit und Ambivalenz ist Wögerbauers methodischer Ansatz von besonderem Interesse für die derzeitige Konstruktionswissenschaft, die sich ebenfalls in einem Umbruch von hierarchisch-gesteuerten Ablaufplänen zu simultanen Netz- und Objektstrukturplänen befindet. Die zentralen Ideen der "Technik des Konstruierens" und des "Aufgabenplanes" wurden teilweise von anderen Konstruktionsforschern weitergeführt, so 1954 von *Hans Tschochner*. Sein "Konstruktionsgerüst" entwickelte das System der Einflußfaktoren in origineller Weise weiter.<sup>21</sup> Doch in der Folgezeit wurden derartige *qualitative Strukturmodelle* der Konstruktionsentscheidungen und -zielkonflikte wieder zugunsten von *rationellen Ablaufplänen* in den Hintergrund gedrängt.

## 2. SYSTEM- UND INFORMATIONSTECHNISCHE RATIONALISIERUNGS-LEITBILDER IN DER WISSENSCHAFTLICHEN KONSTRUKTIONSMETHODIK NACH DEM ZWEITEN WELTKRIEG

In den beiden Nachfolgestaaten des Deutschen Reiches entwickelte sich die Konstruktionsmethodik sehr unterschiedlich. Der ausgeprägten Rückbesinnung auf das traditionelle Berufsethos und die "Ingenieurkunst" im Westen standen rational-deduktive Erfindungslehren und tayloristische Organisationskonzepte im Osten gegenüber. In der DDR fanden auch schon Mitte der 50er Jahre systemtechnisch-kybernetische Ansätze Eingang, und bereits kurz nach 1960 begann man die "Konstruktionssystematik" auf die künftige CAD-Nutzung hin auszurichten. Statt auf eine bloße *Logik-fundierte Mechanisierung* setzte man nun auf die *algorithmische Maschinisierung* der Konstruktionsarbeit. Als sich mit Verspätung auch in der BRD in der ersten Hälfte der 60er Jahre der "Engpaß Konstruktion" bemerkbar machte, schwenkte die Konstruktionslehre hier innerhalb weniger Jahre auf Systemtechnik, Kybernetik und Datenverarbeitung als neue Leitdisziplinen ein. Nachdem sich auch die westdeutsche Konstruktionswissenschaft zwischen 1965 und 1970 fest als Hochschuldisziplin etabliert hatte, wurde sie bald der führende Repräsentant einer ausgeprägt funktional-deduktiven, auf rationale Prozeßketten zielenden Richtung. Sie erfuhr zwar eine wachsende, auch internationale Anerkennung als *Ausbildungskonzept*, aber ihre Einführung als Steuerungs- und Rationalisierungsinstrument für die Konstruktionspraxis gelang bis in die Gegenwart nur in bescheidenem Maße. Die Konstruktionslehre und -forschung blieb in diesem Zeitraum vor allem auf effiziente Ablaufmodelle fixiert, doch wurden daneben auch die Ansätze zu einer

---

<sup>21</sup> H. Tschochner, *Konstruieren und Gestalten*, Essen 1954, S. 24 f., 38-65.

Problemstrukturierung der Konstruktionsentscheidungen fortgesetzt. Ihr zentraler Adressat war, gemäß dem akademischen Entstehungskontext, der alles entscheidende *Einzelkonstrukteur*, und nicht, wie in der im betrieblichen Kontext entstandenen Wertanalyse, das *interdisziplinäre Team*.

*Die wissenschaftliche Zergliederung und rationelle Ablaufsteuerung der Denkoperationen:  
Die Konstruktionssystematik der Ilmenauer Schule*

Die Konstruktionslehre der SBZ bzw. DDR stand von vornherein unter dem Druck eines massiven Personalmangels und des ausgeprägten 'Engpasses Konstruktion'. Daher wurden die Vorkriegs- und Kriegs-Konzepte einer "Rationalisierung des Konstruierens" auch hier zuerst wieder aufgegriffen. Die sogenannte Ilmenauer Schule um *Friedrich Hansen*, *Werner Bischoff* und *Arthur Bock*, die vor ihrer Berufung an die Fakultät für Feinmechanik und Optik der TH Ilmenau leitende Konstrukteure bei den Zeiss-Werken in Jena waren, entwickelten ab 1951 eine Methodik des "Rationalen Konstruierens" die sehr bald unter dem Leitbegriff "*Konstruktionssystematik*" propagiert wurde. Diese führte den technischen Schaffensprozeß auf "objektive Bedingungen und Gesetze" zurück, auf die "generelle Gesetzmäßigkeit der Methodik", die eine logisch zwingende Reihenfolge der Gedankenschritte begründet. Im Gegensatz zu Wögerbauers "Technik des Konstruierens" wird hier das Phasenmodell wieder zum zentralen "Einteilungsprinzip" der Konstruktionslehre. Den Kern der "*Konstruktionssystematik*" bildet ein "Grundsystem von Entwicklungsstufen", nach dem zunächst durch eine Abstraktion von konkreten Lösungsansätzen der "Wesenskern der Aufgabe", das funktionale "Grundprinzip" bestimmt wird, dann durch Zergliederung und Kombination der möglichen "Aufbauelemente" die möglichen technisch-physikalischen Arbeitsprinzipien abgeleitet, aus denen mithilfe einer systematischen Fehlerkritik und eines technisch-wirtschaftlichen Wertigkeitsvergleiches das "optimale Arbeitsprinzip" selektiert wird, das Grundlage der endgültigen Formfestlegung (Gestaltung) und konstruktiven Ausführung wird. Das durch Phasenbildung, Aufgabenzergliederung, Variantenkombination und -selektion konstituierte Modell des Konstruktionsprozesses nimmt schließlich selber die Form eines Stromlaufplanes bzw. Blockschaltbildes an.<sup>22</sup> Die Assimilation des Prozeßmodells an das Flußbild und die Baukastenstruktur des Produktes verleiht dem Entwicklungsablauf so den Charakter von Zwangläufigkeit und vermittelt dem Konstrukteur den Anschein eines geordneten, wenn nicht gar eines geregelten Prozesses.

---

<sup>22</sup> F. Hansen, *Konstruktionssystematik. Grundlagen für eine allgemeine Konstruktionslehre*, 3. Aufl., Berlin 1968, S 32-35.

Der um systemtechnische und kybernetische Methoden und sowjetmarxistisches Gesetzesdenken erweiterte Ansatz einer "Rationalisierung der schöpferischen Arbeit" erfuhr dann eine nochmalige Zuspitzung mit der bereits kurz nach 1960 beginnenden Ausrichtung auf eine Automatisierung der Konstruktion mit dem Computer. Die rationale Zergliederung komplexer Denkopoperationen des Konstrukteurs, die Phasenmodelle und die formalisierende Beschreibung von Teiloperationen, die sich bislang nur *metaphorisch* an Rationalisierungsmustern des Produktionsprozesses orientiert hatten, erhielten mit Blick auf die EDV-Nutzung nun den Charakter von Vorarbeiten für eine tatsächliche Maschinisierung der Konstruktionsarbeit. Dies hatte zur Folge, daß Hansen den konstruktiven Entwicklungsprozeß nun bis ins einzelne nach dem Modell eines Rechnersystems bzw. eines kybernetischen Prozesses darstellte: die Konstruktionsaufgabe als "Prozeßeingang" durchläuft in fester Reihenfolge die verschiedenen Prozeßstufen, d.h. die Systemsynthese, Funktionsgliederung, Kombination und Selektion von Lösungselementen, Bauteil- und Bauelemente-Suche usw., wobei das erforderliche Konstruktionswissen jeweils aus speziellen Speichern (Struktur-, Verfahrens-, Programm-, Wissens- und Steuerinformationsspeicher) abgerufen wird, um am Prozeßausgang die fertige Systembeschreibung abzuliefern.<sup>23</sup>

Das systemtechnische *Strukturmodell des Konstruktionsgegenstandes* wurde voll auf das systemtechnische *Prozeßmodell des Konstruktionsablaufs* übertragen. Die so durch Modellübertragung erzeugte Strukturidentität, die aus dem Konstruieren einen quasi-technischen Prozeß der Elemente-Erzeugung, -kombination und -montage machte, vereinfachte die heterogenen Problemlösungsprozesse in der Realität radikal und blendete mit ihrer informationstechnischen Metaphorik den gesellschaftlichen Charakter der Zielkonflikte und Entscheidungen aus. Das Fernziel dieser bald "Konstruktionswissenschaft" genannten Methodik war nicht mehr nur eine rechnergestützte Konstruktion, sondern eine möglichst weitgehende Durchführung des Konstruktionsprozesses durch den Rechner selbst. Doch gerade wegen der dem Ansatz zugrundeliegenden - anfangs impliziten, später expliziten - systemtechnischen Modellbildung mit ihrer konsequenten Systematisierung und Sequentialisierung der logischen Arbeitsschritte wurde die als eigenständige wissenschaftliche Disziplin betriebene Konstruktionsmethodik der Ilmenauer Schule in den 60er Jahren zum Vorbild für die westdeutsche Konstruktionsforschung und -lehre.

---

<sup>23</sup> F. Hansen, Konstruktionswissenschaft. Grundlagen und Methoden, München, Wien 1975, S. 67-78.

*Die Funktions-Gestalt-Synthese zwischen Konstruktionsalgorhythmus und "Restriktionen":  
Die streng deduktiven, rechnerorientierten Ansätze von Rodenacker, Roth und Koller*

Den Grundstein für eine Verknüpfung des funktionalen Deduktivismus der feinwerktechnischen Konstruktionslehre und der systemtechnischen Struktur- und Ablaufmodelle nach dem Vorbild der Ilmenauer bzw. der rechnerorientierten Design-Theory in den USA legte der Franke-Schüler *Wolf Georg Rodenacker*. Er hatte seit 1963 an der TU München den ersten rein konstruktionsmethodischen Lehrstuhl der BRD inne.<sup>24</sup> Kern seiner physikalisch-orientierten Konstruktionslehre ist das Ablaufschema der Arbeitsschritte vom Abstrakten (Zweck, Logik) zum Konkreten (Gestalt, Gebrauch). Bei der Modellierung dieses Konkretisierungsvorganges bedient er sich sowohl des Schaltungsentwurfes als auch des informationsverarbeitenden Prozesses als zentralen Metaphern. Am Beginn steht eine Black-box als funktionales Input/Output-Modell, dessen Funktionsstruktur in verschiedene, physikalisch noch nicht festgelegte Funktionselemente aufgegliedert wird, die dann zu einem Blockschaltbild angeordnet werden.<sup>25</sup> Nach der Entwicklung des *logischen* Wirkzusammenhangs als funktionaler Schaltung wird dann aus Systematiken von Effekten der *physikalische* Wirkzusammenhang ermittelt, der das physikalische Geschehen erzwingt und dann, analog aus einer Systematik der Wirkflächen und Wirkräume, der *konstruktive* Wirkzusammenhang entsprechend den Ausgangsforderungen.

Während die Funktion-Gestalt-Synthese durch die technische Modellierung den Anschein eines "gesteuerten Schaltlaufes" bzw. eines *informationsverarbeitenden Prozesses* erhält, der zumindest teilweise auf den Rechner verlagert werden kann, werden alle darüber hinausgehenden Designprobleme und -entscheidungen lediglich als ungeordnete Randbedingungen aufgelistet und nur als ein Problem nebengeordneter *Informationsspeicher* gesehen. Hier hält die Methodik im wesentlichen nur Checklisten für Baustoffe, Normteile, Gebrauchseigenschaften, Herstellungsverfahren und sonstige Merkmale bereit, die allein im Hinblick auf Kosten, Zuverlässigkeit und Bedientechnik aufeinander bezogen werden.<sup>26</sup> Lediglich im Zusammenhang mit verfahrenstechnischen Entwicklungen bietet Rodenacker einen "*allgemeinen Funktionsstrukturplan*" an, der im Schaubild sogar zum "*allgemeinen*

---

24 W. G. Rodenacker, Physikalisch orientierte Konstruktionsweise, in: Konstruktion 18 (1966) 7, S. 263-269, Zitat S. 267; ders., Neue Gedanken zur Konstruktionsmethodik, in: Konstruktion 43 (1991), S. 330-334.

25 Rodenacker, Methodisches Konstruieren, S. 25, 39, 84.

26 Rodenacker, Wege zur Konstruktionsmethodik, S. 383.

*Strukturplan von Maschinen und Anlagen*" erweitert wird.<sup>27</sup> Es handelt sich dabei sowohl um einen Plan für die Zusammenschaltung von variierten bzw. kombinierten Funktionselementen als auch um eine Zusammenstellung wesentlicher Anforderungen und Gestaltungsmerkmale, deren Wechselbeziehungen er aber nur partiell anspricht. Die Wiederaufnahme des Wögerbauerschen Aufgabenplanes wird aber weder durchgehalten noch systematisch in das Phasenmodell eingearbeitet, in der übrigen Darstellung taucht der allgemeine (Funktions-) Strukturplan nicht wieder auf. Ebenso wenig werden Ressourcenaspekte oder die Zeitdimension des Produktlebenszyklus berücksichtigt. Alle qualitativen Problemstrukturen wurden von Rodenackers vorrangigen Intentionen überlagert, physikalische Effekte bewußt zu konstruieren, komplexe Strukturen aus vereinfachten Funktionselementen zusammensetzen sowie durch bloßes Variieren und Kombinieren den Erfahrungsraum des Konstrukteurs zu erweitern und zugleich seine Arbeit zu rationalisieren.

Die nach Rodenackers "Methodischem Konstruieren" entstandenen konstruktionswissenschaftlichen Ansätze weisen ebenfalls das Nebeneinander von hochformalisierten Methoden mit Zwanglaufcharakter und kaum systematisierten, geschweige erforschten Merkmalsreihen auf. So auch die Konstruktionslehre der Braunschweiger Schule um *Karlheinz Roth*. Auch er überträgt Vorstellungen der Nachrichtentechnik und des elektrischen Schaltungsentwurfes auf die Maschinenkonstruktion und das allgemeine Prozeßmodell des Konstruierens. Analog zur elektrischen bzw. elektronischen Schaltung geht die Aufgliederung der Funktionsschaltung so weit, bis wiederkehrende oder gar genormte Funktionselemente zur Verfügung stehen, auf deren Basis dann die geometrisch-stoffliche und fertigungstechnische Produktgestaltung der gestaltenden Phase erfolgt. Durch systematische Zusammenstellungen bewährter Funktionseinheiten, Operationsregeln und Grundlösungen in Form von Konstruktionskatalogen (Objektkataloge, Operationenkataloge und Lösungskataloge) will Roth das Konstruieren zu einem rationellen "algorithmischen Auswahlverfahren" machen.<sup>28</sup> Der so strukturierte und organisierte "Nachrichtenfluß" des Konstruierens mündet dann in einer "rechnerorientierten Theorie des Konstruierens", die die Grundlage für die "Ausführung echter Konstruktionsarbeiten vom Rechner" bildet. In Roths schaltungs- und rechnerorientiertem Konstruktionsmethodik-Ansatz ist die Strukturidentität von hierarchischem Elementesystem und konstruktivem Elemente-Montagesystem soweit vorangetrieben, daß der systematische Ablaufplan alle qualitativen Entscheidungen, Restriktionsprobleme und Zielkonflikte verdrängt oder

---

<sup>27</sup> Ebda., Methodisches Konstruieren, S. 100 ff.

<sup>28</sup> K. Roth, Aufbau und Handhabung von Konstruktionskatalogen, in: VDI-Berichte Nr. 219, Düsseldorf 1974, S. 35-49; ders., Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Berlin, Heidelberg New York 1982.

nur punktuell verortet, nämlich in der Anforderungsliste und den eingestreuten technischen und wirtschaftlichen Wertigkeitsvergleichen nach Kesselringschem Muster. Doch hat Roth auch die weitere Systematisierung von Merkmalkriterien und die Entwicklung von Programmen für die rechnerunterstützte Erstellung und Verwaltung von Anforderungslisten vorangetrieben, so daß diese interaktiv zu bearbeiten und durch bloßen Maskendialog bequemer handhabbar sind.<sup>29</sup> Wegen der gleichwohl recht mechanischen Verknüpfung von Arbeitsschritten des Phasenmodells mit den verschiedenen Eigenschaftsklassen taugen sie nur bedingt als Problemstrukturplan bzw. als wirklicher "roter Faden" im Konstruktionsprozeß.

Die Konstruktionssystematik *Rudolf Kollers*, seit 1970 Professor für allgemeine Konstruktionstechnik des Maschinenbau(e)s in Aachen, ähnelt trotz größerer Nähe zum Maschinenbau in vielem dem physikalisch orientierten Ansatz Rodenackers. Auch er hat eine Systematik physikalischer Effekte und Prinziplösungen als den "kleinsten relevanten Konstruktionselementen" erarbeitet, die in festen Synthese- und Analyseschritten ausgewählt, variiert, kombiniert und selektiert werden. Koller sieht die physikalischen Effekte analog zum Periodensystem der Chemie, mit dem "es möglich ist, ausgehend von einer bestimmten Aufgabenstellung, alle möglichen Prinzipvarianten zur Realisierung von Funktionselementen darzustellen."<sup>30</sup> Aufgrund der strukturellen Ähnlichkeit der Modelle des technischen Systems (hierarchische Baukastensystematik), des Prozesses der Entwicklung und Herstellung technischer Produkte (mehrstufiges Elemente-Montage-Modell) hält Koller wie Roth bei einem konsequenten Rechnereinsatz eine recht weitgehende "Automatisierung des Konstruktionsprozesses" für erreichbar. Dazu aber hat die Konstruktionswissenschaft die Abläufe auf das algorithmische Prozeßmodell auszurichten und die "Konstruktionslogik" und "Konstruktionsalgebra" auszuarbeiten. Am Ende hat das Konstruieren den Charakter eines Programmiervorgangs mit einer Symbolsprache, die alte Idee von Reuleaux wird hier also in viel komplexerer Weise und auf EDV-Basis angestrebt.

Alle Auswahlentscheidungen und Abwägungen von Einflußfaktoren, die über diese hochformalisierte, systematisierte und regulierte Funktions-Gestalt-Synthese hinausgehen, faßt Koller

---

29 H.-J. Franke, Methodische Schritte beim Klären konstruktiver Aufgabenstellungen, in: Konstruktion 27 (1975) S. 395-402; J. Barrenscheen, u.a., Rechnerunterstützte Erstellung von Anforderungslisten, VDI-Z 131 (1989) 4, S. 84-89.

30 R. Koller, Ein Weg zur Konstruktionsmethodik, in: Konstruktion 23 (1971) 10, S. 388-395, Zitat S. 388; ders., Eine algorithmisch-physikalisch orientierte Konstruktionsmethodik, in: VDI-Z 115 (1973) 4, S. 309-317; 11, S. 843-847; 14, S. 1078-1085; ders., Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte und Apparatebau, Berlin, Heidelberg, New York, 1979.

in einem gesonderten "Prüf- und Selektionsprozeß" zusammen.<sup>31</sup> Diesen Bewertungsvorgang gliedert er jedoch kaum, sondern listet lediglich "Restriktionen" auf, worunter er sowohl Einflußbereiche (technisches Produkt, Markt, Umwelt, Fertigung, Transport, Firma, Land, Konstrukteur) als **auch** Gestaltungskriterien versteht (z.B. geringe Herstellungs- und Betriebskosten, hoher Wirkungsgrad, hohe Lebensdauer und Zuverlässigkeit, fertigungsgerechte, servicefreundliche und recycling- bzw. ressourcengerechte Gestaltung usw.). Wesentliche Nutzwerte, Gebrauchseigenschaften sowie subjektive und objektive Voraussetzungen werden so gleichermaßen als "Einschränkungen" der technischen Lösung und nicht als eigentliche Gestaltungsziele verstanden. Der Konstrukteur erhält mit dieser Residualkategorie und den üblichen Kriterienlisten und Bewertungsmatrizen aber keine systematische Unterstützung für das Erkennen von Wechselbeziehungen und das Lösen von Zielkonflikten.

Die Konstruktionslehren von Rodenacker, Roth und Koller hatten ihren Verwissenschaftlichungsanspruch im wesentlichen nur in der Funktion-Elemente-Gestalt-Synthese umsetzen können. Neben diesem deduzierbaren Bestandteil des Konstruktionsprozesses blieben jedoch eine ganze Reihe von Problemlösungs- und Entscheidungsaufgaben, die vor allem wirtschafts-, gesellschafts- und gebrauchsbegleitende Eigenschaftsfestlegungen betreffen, für die nur un- bzw. vorwissenschaftliche Methoden und Instrumente wie Checklisten, Korrelationsmatrizen usw. bereitgestellt werden konnten. Gegenüber diesen "strengen" Methoden, die die Verwissenschaftlichung der Funktions-Gestalt-Synthese nur um den Preis einer Vernachlässigung bzw. Marginalisierung der übrigen Konstruktionsprobleme erreichen, bezieht die viel breiter angelegte Konstruktionslehre von Pahl und Beitz die Restriktionen und Gestaltungsfaktoren stärker in den systematisierten Konstruktionsablauf ein.

*Der systemtechnische Ablaufplan und das Regelwerk der Gestaltung: Die Konstruktionslehre von Pahl und Beitz*

*Gerhard Pahl*, Professor für Konstruktionslehre in Darmstadt und *Wolfgang Beitz*, Professor für Konstruktionstechnik an der TU Berlin, kommen beide aus dem Elektrogroßmaschinenbau, dessen konstruktive Probleme zum Teil beträchtlich von denen der Feinwerktechnik und Elektromechanik abweichen. Da die Konstruktion im thermischen Maschinenbau (Turbinen, Generatoren) mit dem Größen- und Leistungswachstum der Aggregate kaum Schritt halten konnte und Serienfertigung und Baukastensysteme unverzichtbar wurden, war die rechnerorientierte Aufgliederung des Konstruktionsprozesses in "logisch aufeinanderfol-

---

31 R. Koller, Gestaltsynthese von Maschinenbaugruppen und "Bauelementen", in: Konstruktion 34 (1982) 1, S. 7-12, bes. S. 7.

gende Arbeitsschritte" auch für sie unbedingt notwendig. Als ein zentrales Instrument zur Zerlegung komplexer Aufgaben in rationelle, computergerechte Arbeitsschritte, aber auch zur konstruktiven und sicherheitstechnischen Bewältigung von großtechnischen Maschinenkomplexen, entlehnte Beitz um 1970 aus der Raumfahrtforschung die auf amerikanischen Vorbildern basierenden "System Engineering"-Methoden und paßte sie an die Bedürfnisse der Maschinenbaukonstruktion an.<sup>32</sup> Doch beide bemühten sich daneben auch, die komplexen und disparaten Hersteller-, Verbraucher- und Umwelтанforderungen in einem stufenweisen, qualitativen Bewertungsverfahren im systemtechnischen Ablaufplan des Konstruierens zu verankern.<sup>33</sup>

Ähnlich wie in Wögerbauers "Technik des Konstruierens" wird in ihrer Konstruktionslehre beim eigentlichen Entwurf das Fließmodell der Arbeitsschritte durch das relationale Modell der Anforderungen, Einflußfaktoren, Hauptmerkmale und Gestaltungsprinzipien abgelöst. Die intensiven Wechselbeziehungen und Gegenläufigkeiten zwischen Gesichtspunkten wie Gebrauch, Sicherheit, Ergonomie, Fertigung, Montage und Recycling erfordern die 'gleichzeitige' und vielfach gleichwertige Berücksichtigung und Bearbeitung, die weder durch sequentielle Arbeitsschrittvorgaben noch durch die bloße Reihung in Form von Merkmalenlisten unterstützt würden: "Dabei stellt man eine Vielzahl gegenseitiger Beeinflussungen fest, so daß der Überlegungsvorgang und der Arbeitsablauf sowohl vorwärtsschreitend als auch im Sinne der Überprüfung und Korrektur rückwärts schreitend in einer Schleifenbildung verläuft." Wegen der hohen Komplexität des Entwurfs, der sehr oft zeitlich parallele Arbeitsschritte, viele und sehr weite Iterationsschleifen und zahlreiche Änderungen erfordert, ist ihrer Meinung nach "ein strenger Ablaufplan beim Entwerfen nur begrenzt aufstellbar".<sup>34</sup> Die Strukturierung des Gestaltungsprozesses nähert sich vielmehr dem Bahnen- bzw. Feldlinienmodell Wögerbauers, doch wird hier anstelle der physikalisch-bildhaften Metaphorik eine Darstellungsform gewählt, die den seit langem in der VDI-Normungsarbeit aktiven, bei der VDI-Richtlinie 2221 federführenden Autoren nahelag: ein vielschichtiges Bündel von Normen, Regeln und Empfehlungen.

---

<sup>32</sup> Wolfgang Beitz, Systemtechnik im Ingenieurbereich, in: VDI-Berichte Nr. 174 (1971), Düsseldorf 1971.

<sup>33</sup> G. Pahl, Konstruktionstechnik im thermischen Maschinenbau, in: Konstruktion 15 (1963) 3, S. 91-97; W. Beitz, Moderne Konstruktionstechnik im Elektrogroßmaschinenbau, in: Konstruktion 21 (1969) 12, S. 461-468.

<sup>34</sup> G. Pahl; W. Beitz, Konstruktionslehre, 3. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York 1993, S. 241, 318-438.



Der Konstrukteur hat seinen Entwurf durch wechselseitiges Aufeinanderbeziehen der Hauptmerkmale der Leitlinie, der Grundregeln und der infragekommenden Gestaltungsprinzipien und -richtlinien durchzuprüfen und zu korrigieren. Die Abarbeitung des 'Problemstrukturplans' anhand von Vergleichen der Hauptmerkmale mit abgestuften Regelwerken hat dabei gegenüber den Aufgabenplänen von Wögerbauer und Tschochner den Vorteil, daß komplexere Sachverhalte und unterschiedliche Wert- bzw. Verbindlichkeitsniveaus darstellbar sind. Es ist so ein fließender Übergang von der Checkliste zu allgemeinen oder speziellen Konstruktionsanweisungen möglich. Nachteilig gegenüber den graphischen Relationsnetzen ist dagegen, daß die Wechselbeziehungen, Widersprüche und Zielkonflikte zwischen den Gestaltungskriterien und Einflußfaktoren durch die letztlich doch sequentielle Abarbeitung von Listen bzw. Matrizen unterbelichtet werden. Die Darstellungsweise reproduziert implizit auch die Vorstellung eines einsamen Experten, der der Reihe nach eine Vielzahl von Aspekten unter einen Hut bringen muß und nicht die eines Entwickler- und Konstrukteurteams mit verschiedenen verteilten Qualifikationen und Zuständigkeiten, das unter sich die disparaten und divergierenden Anforderungen aushandeln muß. Pahl/Beitz gehen zwar davon aus, daß die "vom Konstrukteur zu erfüllenden Anforderungen für zu entwickelnde Produkte <...> so unterschiedlich <sind>, daß sich der Ablauf des Konstruktionsprozesses und die durchzuführenden Tätigkeiten nicht einheitlich festlegen lassen", doch sie machen nicht deutlich, daß es sich bei der Auswahl, Abwägung und Festlegung von Gestaltungskriterien ganz wesentlich auch um Kooperations- und Kommunikationsprobleme handelt, für die entsprechende Diskussions- und Aushandlungsformen geschaffen werden müssen.

Da für sie hier Betriebs-, Markt-, Zeit-, Auslastungs- und Kostenkalküle Vorrang haben, plädieren sie gerade nicht für eine kooperative Entscheidungsfindung im Team, sondern für eine strikt hierarchisch-arbeitsteilige Lösung, bei der, sehr ähnlich wie beim Chief-Programmer-Konzept im Software-Engineering, der Hauptkonstrukteur alle substantiellen Entscheidungen trifft und die Spezial- und Hilfskonstrukteure über das CAD-System ihm zuarbeiten: "Der gesamte Ablauf dieser Arbeitsteilung wird durch die Ablauflogik erzwungen, die das CAD-System enthält. Entsprechend der Vielzahl unterschiedlicher Aufgabenstellungen, insbesondere hinsichtlich ihres Neuigkeitsgrades, muß der Hauptkonstrukteur vor Beginn einer Entwicklung die relevante Ablauflogik durch Kombination standardisierter Arbeitskomplexe zusammenstellen." <sup>35</sup> Der Verzicht auf eine hierarchisch-sequentielle Ablauflogik auf der *Ebene des Problemlösens* führt damit nicht zu entsprechenden kooperativen Diskurs- und Entscheidungs-

---

<sup>35</sup> W. Beitz, Entwicklungszwänge für den Konstruktionsprozeß, in: Zs für wirtschaftliche Fertigung 79 (1984) 3, S. 116-119, Zitat S. 118 f.

prozessen im Team, sondern soll im Gegenteil durch eine strikte Hierarchisierung und Zentralisierung auf *arbeitsorganisatorischer Ebene* aufgefangen werden. Damit werden die Ziel- und Entscheidungskonflikte aber lediglich in den Chefkonstrukteur hineinverlagert und ihre Lösung allein von seiner Kreativität und Führungskompetenz abhängig gemacht.

Doch nicht nur der Teamcharakter des Konstruktionsprozesses, auch die Verflechtung der Gestaltungs- und Entscheidungskriterien mit den Wertnormen und -hierarchien der verschiedenen Nutzer- und Betroffenenpopulationen und der Gesellschaft wird hier wie in fast allen Konstruktionsmethodiken ausgeblendet. Welches Kriterium: Kosten oder Umweltverträglichkeit, Gebrauchseigenschaften oder Fertigungs- bzw. Montagerechtigkeit, Lebensdauer oder Recyclinggerechtigkeit Vorrang haben soll, ist eben nicht nur ein interner Zielkonflikt des Konstrukteurs, dem allein mit methodischen Instrumenten beizukommen wäre. Es ist vielmehr in erster Linie ein Problem gesellschaftlicher Wertprioritäten und wirtschafts-, technologie- und umweltpolitischer Aushandlungsprozesse. Im Unterschied zu soziotechnischen wie partizipatorischen Software-Designkonzepten öffnen Pahl/Beitz trotz der ihnen bewußten gesellschaftlichen Relevanz vieler Entscheidungen den Ziel- und Prioritätenfindungsprozeß nicht für die wirklichen Nutzer der Geräte bzw. Systeme. Es bleibt ausschließlich bei der einsamen Expertenentscheidung *des* Konstrukteurs. Doch auch wenn die Folgerungen halbherzig und in sich widersprüchlich sind, macht die ausführliche Behandlung der Aufgabenstruktur bei Pahl/Beitz aus der Sicht der Technikgeneseforschung und Technikbewertung doch auch deutlich, daß sich in der "Gestaltung" die konkrete Vermittlung von gesellschaftlichen und professionellen Wertnormen und Leitbildern einerseits und den konkreten technischen Gestaltungsparametern und Entscheidungen abspielt.

### 3. AKTUELLE TENDENZEN: VON DER SYSTEMTECHNISCHEN ABLAUFSTEUERUNG ZUR KOOPERATIVEN PROBLEMSTRUKTURIERUNG IM SIMULTANEOUS LIFE CYCLE ENGINEERING ?

Die Leitbilder der "Konstruktion auf Knopfdruck", des "Konstruktionsalgorithmus" und des "gespeicherten Konstruktionswissens auf Abruf" führten zu einer Reduktion der komplizierten Problemlösungs- und Gestaltungsprozesse auf ein tendenziell algorithmisches Elemente-Auswahl- und -Montageverfahren aus kompletten Lösungs- und Objektspeichern bzw. aus einem hierarchischen Baukastensystem. Die konstruktive Problembearbeitung wurde ungeachtet aller Beteuerungen ihres schöpferischen Charakters aus der Modellsicht des modularisierten, auf Wiederholelemente getrimmten Konstruktionsgegenstandes gesehen, der auf jeder Abstraktionsstufe (System-, Funktions- und Gestaltelemente) die gleiche

regelmäßige Blockstruktur aufweist. Die durchweg kybernetische und informationstechnische Modellierung schuf eine enge Strukturanalogie von Maschine/Produkt, Herstellungs- und Konstruktionsprozeß und zerstörte damit die analytische Differenz, die zum Begreifen der jeweiligen Wesensunterschiede und abweichenden Gestaltungsspielräume erforderlich ist.

Die anfangs bewußte, später halb- und unbewußte Übertragung technischer Strukturen und Modelle auf Denk- und Arbeitsabläufe suggerierte die mögliche Gleichbehandlung von Mensch und Maschine. Sie ebnete außerdem den heterogenen, disparaten und kontingenten Charakter des sich im Rahmen des Alltags- und Gesellschaftsbewußtseins vollziehenden Arbeitshandelns ein, indem die allgegenwärtigen Regelkreise, Blockschaltbilder und Informationsflußdiagramme die Problementscheidungen der Konstrukteure zum bloßen Schaltelement bzw. zur Durchflußgröße einer logistischen Kette verkürzten. In Gestalt der technischen Modellierung verselbständigten sich die zugrundeliegenden Rationalisierungsleitbilder und drängten dadurch die anderen Aspekte des methodischen Konstruierens zurück, so vor allem die Kreativitätsförderung, die Ausweitung von Lösungsspektren und Sichtbarmachung von Gestaltungsspielräumen, eine stärkere Gebrauchswert- und Benutzerorientierung sowie die Einbeziehung der Langzeitperspektive von Produkten und Techniken. Insgesamt haben dominante Phasenabschottung, einseitige CAD-Fixierung und die durchgängige systemtechnisch-kybernetische Modellierung von Konstruktionsobjekt, -subjekt und -prozeß das Kontingenzbewußtsein und die Gestaltungsorientierung eher gehemmt als gefördert.

Die Stilisierung des Entwickelns und Konstruierens zu einem Informationsverarbeitungsprozeß im Hinblick auf Stoff-, Energie- und Informationsflüsse hat dessen soziale Dimension, insbesondere den Charakter eines Arbeits- und Lernprozesses stark in den Hintergrund gedrängt. Die Kooperation und das interdisziplinäre Zusammenwirken verschiedener Abteilungen und Instanzen bei der Produktdefinition und Gestaltung tauchen in den sauber abgegrenzten logischen Ebenenmodellen und Arbeitsschrittfolgen kaum auf. Die Zielkonflikte und Bewertungsprobleme sowie die Strategien zu ihrer Lösung standen immer am Rande der Konstruktionslehre und -forschung. Doch die vorhandenen Ansätze zur Problemstrukturierung und Entscheidungskonflikt-Bewältigung sind als Anknüpfungspunkte für die Technikgeneseforschung von großem Interesse, da in ihnen implizit der Prozeß der Umsetzung von gesellschaftlichen Anforderungen und Wertkriterien in Designentscheidungen behandelt wird. Anreize zu einer stärkeren Berücksichtigung von Problemstrukturen und Kooperationsproblemen kommen neuerdings von dem Wandel in den Produktionskonzepten. Durch das Ziel, über ein sog. Simultaneous bzw. Concurrent Engineering (SE/CE) die sequentiellen Arbeitsschritte zu parallelisieren, um so den Konstruktionsprozeß drastisch

zu beschleunigen, wird erstmals auch das quasi-tayloristische bzw. fordistische Phasenmodell als zentraler Strukturierungsansatz der Konstruktionsmethodik in Frage gestellt.

Dieses in den 80er Jahren in den USA im militärischen Kontext entstandene und seit 1988 allgemein propagierte Konzept überträgt das Parallelrechnerprinzip und das Leitbild der "Just-in-Time-Produktion" auf die Konstruktion.<sup>36</sup> Anfangs zielte der neue Engineering-Ansatz allein auf eine stärkere Phasenüberdeckung, vor allem eine möglichst frühzeitige Abstimmung von Produktentwicklung und Produktionsplanung, um auch in der Konstruktion und Entwicklung die Durchlaufzeiten an die marktbedingte Verkürzung der Produktlebenszyklen anzupassen. Das gewohnte Modell des "sequentiellen, tayloristisch geprägten Produktentwicklungsprozesses" mit seinen zahlreichen zeitraubenden Iterationsschleifen gab man deshalb zugunsten eines "Systems vermaschter, selbststeuernder und selbstkontrollierender Regelkreise" auf: "Wir müssen vom 'tayloristischen zentralgesteuerten Uhrwerk' zu einer vernetzten Regelkreispyramide kommen."<sup>37</sup> Die früheren konstruktionsmethodischen Ablaufpläne werden jedoch vielfach beibehalten, aber als lediglich logische Einheiten, die im Extremfall zeitlich nahezu parallel ablaufen, sowie als Grundlage der Arbeitsaufteilung und Modularisierung. Aus den Phasenmodellen werden so Ebenenmodelle mit einer "offenen Struktur", aus der Prozeßkette wird tendenziell ein Netzplan.

Sehr bald wurde aber erkannt, daß Simultaneous Engineering als bloßer Rationalisierungsansatz mit zeitlicher Parallelisierung, Just-in-time-Prinzip und Beschleunigungsstrategien vor allem bei komplexeren Produkten leicht zu Qualitätseinbußen und aufwendigen, weil alle Parallelprozesse betreffenden Änderungen führen kann. Deshalb rücken in den letzten Jahren immer mehr der Kommunikationsbedarf und das Kooperationsproblem simultaner Entwicklungsprozesse in den Vordergrund.<sup>38</sup> In diesem Zusammenhang gewinnen auch die Leitbilder

---

<sup>36</sup> H.-J. Bullinger, G. Wasserloos, Reduzierung der Produktentwicklungszeiten durch Simultaneous Engineering, in: CIM-Management 6/90, S. 4-12; W. Eversheim, L. Laufenberg, G. Marczinski, Integrierte Produktentwicklung mit einem zeitparallelen Ansatz, in: CIM-Management 2/93, S.4-9; Suren N. Dwivedi, Michael Sobolewski, Concurrent Engineering: An Introduction, in: Suren N. Dwivedi, Alok K. Verma, John E. Sneckenberger (Hrsg.), CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future '90, 2 Bde Berlin, Heidelberg, New York 1991, Bd. 1, S. 3-16; F.-L. Krause, Produktentwicklung mit Simultaneous Engineering. Aufgaben gemeinsam lösen, Time-to-Market verkürzen, in: FACTS Wissenschaft und Technik, Mai 1993, S.4-11

<sup>37</sup> H. Wildemann, Simultaneous Engineering als Baustein für Just-in-time in Forschung, Entwicklung und Konstruktion, in: VDI-Z 134 (1992) 12, S.18-23; K. Ehrlenspiel, Industrie Probleme in Entwicklung und Konstruktion sowie Folgerungen gemäß einer Umfrage, in: Konstruktion 45 (1993), S.389-396, Zitat S. 394.

<sup>38</sup> T. Kuhlmann, Ch. Lischke, R. Oehlmann, K.-D. Thoben, Concurrent Engineering in der Unikatfertigung, in: CIM-Management 2/93, S.10-16, bes. S. 13; U. Frech, W. Müller, Teamarbeit ist

der Gruppenarbeit und der "Lean-Production" gegenüber den biokybernetischen Metaphern ein größeres Gewicht. Aus dem SE/CE entsteht so als neues Organisationskonzept der Konstruktion der fachübergreifende, teamorientierte Entwicklungsprozeß, der zeitlich und vor allem arbeitsinhaltlich durch alle an der Produktentwicklung beteiligten Mitarbeiter selbst interaktiv gesteuert wird. Für dieses interdisziplinär kooperierende Team, das alle Einzel festlegungen der Aufgaben-Funktion, Gestalt und Fertigung eines technischen Produktes mit hoher zeitlicher Überdeckung treffen muß, rückt nun die topologische Struktur von Anforderungen, Einfluß-faktoren und Gestaltungsprinzipien in das Zentrum. Der Übergang zum SE/CE bringt so nicht nur den von den sequentiellen Ablaufmodellen unterschätzten kommunikativen und kooperativen Charakter des Konstruktionsprozesses zutage, sondern auch die Vernachlässigung der wissenschaftlichen Analyse der Problem- bzw. Aufgabenstrukturen, und zwar über den Gesamtverlauf des Produkt-lebenszyklus hinweg. Durch die Überschneidung von SE-Bestrebungen und des Recyclingproblems ist nun, nach zahlreichen, früher immer wieder versandeten Anläufen, der gesamte Technologie- bzw. Produktlebenszyklus endlich zu einem zentralen Gegenstand der Konstruktionsmethodik geworden.

Obwohl in den systemtechnischen Ansätzen die Zeitdimension des Systems von Beginn an Bestandteil der Systembetrachtung war, wurde in der mechanischen und elektronischen Konstruktion wie im Software-Engineering der Lebenszyklus meist auf die Entstehungs- und Einführungsphase des Produktes reduziert. Wenn überhaupt, bezog sich die Konstruktionslehre weniger auf den stofflich-energetischen Lebenszyklus als auf den betriebswirtschaftlichen Produktwechsel. Der Anstoß zu einer antizipierenden Einbeziehung der Gebrauchsphase und vor allem der Reife- und Endphase des Technologielebenszyklus in den Zeithorizont ging nicht von einer vorausschauenden Konstruktionswissenschaft und ihrem systemtechnischen Methodeninventar aus, sondern wurde vielmehr durch drängende Praxisprobleme und Engpässe bei Ergonomie- und Sicherheitsfragen sowie vor allem durch Ressourcen- und Deponieprobleme ausgelöst. Die Konstruktionslehre hat diese Fragestellungen dann aber in den 80er Jahren aufgegriffen und sie zu Forschungs- und Normungsschwerpunkten gemacht. Für das *Recyclinggerechte Konstruieren*, das *Ergonomiegerechte Konstruieren* und das *Sicherheitsgerechte(n) Konstruieren* wurden so separate Verfahrensmodelle entwickelt.<sup>39</sup> Nimmt man nun zu diesen drei neuen Schwerpunktkriterien noch die

---

kein Software-Problem, artec-Paper Nr.34, Juni 1993, S. 14 ff.

<sup>39</sup> Vgl. u.a. H. D. Hellige, Vom thermodynamischen Kreisprozeß zum recyclinggerechten Konstruieren, in: W. Müller (Hrsg.), ; J.-H. Kirchner, Methodische Überlegungen für ein ergonomiegerechtes Konstruieren, in: Konstruktion 32 (1980) 10, S. 379-388; ders., Ergonomische Anforderungen in der Konstruktion. Überlegungen zu einer ergonomischen Anforderungsanalyse, in: Konstruktion 40 (1988), S. 109-115; H. Strnad, B.-J. Vorath, Sicherheitsgerechtes Konstruieren. Entwerfen und Konstruieren gefahrenfreier technischer Arbeitsmittel und Anlagen, 2. Auflage, Köln 1992, bes. S. 5-16, 71-88.

ebenfalls weiter ausgebauten Ansätze für das fertigungs-, montage-, wartungs- und formgebungsgerechte Konstruieren hinzu, so stehen neben dem generellen Ablaufplan eine Reihe fach- bzw. bereichsspezifischer Verfahrensmodelle, ohne daß der arbeitsorganisatorische und problemstrukturelle Zusammenhang geklärt wird. Das strikt sequentielle Ablaufschema löst auf diese Weise das komplexe Geflecht von Aufgaben und Einflußfaktoren in separate sukzessive Arbeitsschritte und parallele Durchgänge auf und verdeckt so die Kooperationsprobleme komplexer Gestaltungs- und Entscheidungsprozesse. Der durch die Iterationsschleifen und Abstimmungsprobleme ohnehin schon schwerfällige sequentielle Produktentwicklungsprozeß wird durch die bloße Parallelisierung schematisierter Prozeßketten noch umständlicher. Das umfangreiche, von der Konstruktionsforschung erarbeitete Problemwissen zu einzelnen Aspekten und Phasen des Produktlebenszyklus gerät dadurch in Konflikt mit dem hierarchisch-arbeitsteiligen Prozeßmodell der Konstruktion. Der wachsende Druck auf Entwickler und Konstrukteure, den gesamten Lebenslauf eines Produktes zu antizipieren und die dabei auftretenden Anforderungen gleichwertig zu berücksichtigen, fördert in der Gegenwart die Tendenz zu einem Wechsel von phasenorientierten zu produkt- bzw. objektorientierten Strukturierungs- und Organisationsmodellen.

Durch das Zusammentreffen der Tendenzen zur synchronen qualitativen Problemlösung und zur zeitlichen Parallelisierung von Entwicklungsprozessen im Interesse kürzerer Durchlaufzeiten ergibt sich ein wachsender Bedarf an systematischer Erforschung von Problemstrukturplänen für den gesamten Produktlebenszyklus. Darüber hinaus wird mit der Zugrundelegung der Langzeitentwicklung von Produkten das "Life cycle-Engineering" tendenziell zur antizipierten "Produktgeschichte". Die Forderung nach einem vermehrten Erfahrungsrückfluß aus der Gebrauchs- und Endphase früherer Produkte nähert die Konstruktionsmethodik noch stärker dem Forschungsgegenstand der Technikgeschichte. Die Langzeitdynamik technischer Entwicklungsprozesse könnte so ein gemeinsamer Forschungsgegenstand von Konstruktionsmethodik, Technikgeneseforschung und Technikgeschichte werden.<sup>40</sup>

---

<sup>40</sup> Vgl. hierzu den Überblick über das Forschungsprogramm einer historischen Technikgeneseforschung: H. D. Hellige, Von der programmatischen zur empirischen Technikgeneseforschung: Ein technikhistorisches Analyseinstrumentarium für die prospektive Technikbewertung, in: Technikgeschichte, Bd. 60 (1993), Nr. 3, S.186-223.