

## Leitbilder und historisch-gesellschaftlicher Kontext der frühen wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik

Hellige, Hans Dieter

Veröffentlichungsversion / Published Version

Arbeitspapier / working paper

**Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit / provided in cooperation with:**

SSG Sozialwissenschaften, USB Köln

### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Hellige, H. D. (1991). *Leitbilder und historisch-gesellschaftlicher Kontext der frühen wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik*. (artec-paper, 8). Bremen: Universität Bremen, Forschungszentrum Nachhaltigkeit (artec). <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-220104>

### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

# **Hans Dieter Hellige**

**Leitbilder und historisch-  
gesellschaftlicher Kontext  
der frühen wissenschaftlichen  
Konstruktionsmethodik**

**artec-Paper Nr. 8, Januar 1991**

# **Leitbilder und historisch-gesellschaftlicher Kontext der frühen wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik**

## Inhalt

Vorbemerkung:

Die Reflexion von Leitbildern der Konstruktionsmethodik in der Ingenieurausbildung	3
1. Die Entstehung von Rationalisierungsleitbildern in der Konstruktionslehre des deutschen Maschinenbaus	5
2. Der historisch-gesellschaftliche Kontext der Anfänge der wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik	11
3. Fritz Kesselrings Ansatz einer Rationalisierung des Konstruktionsprozesses durch kostenorientierte Verfahren der Konstruktionsbewertung	17
4. Hugo Wögerbauers "Technik des Konstruierens" als Versuch einer Überwindung des "Engpasses Konstruktion" in Feinwerktechnik und Rüstungsproduktion	23
5. Fazit: Die Konstruktionswissenschaft als "Engpaß-Disziplin" und die Folgen für den Technikgestaltungs-Ansatz	34
Anmerkungen	40

Vorbemerkung

## **Die Reflexion von Leitbildern der Konstruktionsmethodik in der Ingenieurausbildung<sup>1</sup>**

Ein Lernen aus der Technikgeschichte scheint mir nur möglich, wenn die Disziplin ihre frühere affirmative Ausrichtung völlig hinter sich läßt und sich als ein kritisch bilanzierendes Korrektiv versteht. Die Technikgeschichte muß es als ihre zentrale Aufgabe in der Ingenieurausbildung ansehen, dazu beizutragen, daß die Entwicklung bzw. Nichtentwicklung technischer Gebilde kontrovers diskutiert wird. An die Stelle des Nachweises der 'logischen' Notwendigkeit der Entwicklung zum derzeitigen Stand der Technik sollten in der Ingenieurausbildung deshalb besonders die folgenden Problemstellungen treten:

- Die Prägung technischer Systeme durch ihren Entstehungskontext mit der Folge, daß die Übernahme in andere Verwendungszusammenhänge u.U. problematisch ist.
- Der Nachweis charakteristischer Verengungen des technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizontes und immer wiederkehrender Fehleinschätzungen.
- Die Identifikation von latenten Leitbildern, die unbewußt in die Konstruktion technischer Gebilde und Systeme eingehen.
- Kritik der vielen Gesetzesannahmen, die im Ingenieurdenken eine so große Rolle spielen und schließlich
- der Nachweis alternativer Entwicklungspfade, die im Entstehungsprozeß einer Technik diskutiert und bearbeitet, aus gesellschaftlichen Gründen verworfen und später oft verdrängt wurden. Die Geradlinigkeit des technikhistorischen Geschichtsbildes muß aufgelöst werden. Derartige Fragen sollten bei Ingenieurstudenten das technical choice-Denken anregen und sie für eine sozial- und umweltverträgliche Technikgestaltung gewinnen.

Im Rahmen mehrerer Projekte des Bremer Forschungszentrums Arbeit und Technik zu Problemen der Bewertung von Konstruktionsmethoden und CAD-Systemen habe ich aus der Sicht der historischen Technikgenese- und Leitbildforschung untersucht, in welchem Maße die "Konstruktionslehre" historisch geprägt bzw. sogar 'vorbelastet' wurde und inwieweit der Ansatz der wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik mit den Zielen der Technikgestaltung vereinbar ist. Ich habe mir deshalb den Entstehungsprozeß der Konstruktionswissenschaft anhand zentraler Texte und einschlägiger Fachzeitschriften angesehen und dabei insbesondere nach latenten oder ausgewiesenen Leitbildern sowie nach Prägungen durch den Entstehungskontext geforscht. Die Durchsicht der Texte ergab einen charakteristischen Wandel typischer Leitbilder und Analogiemuster 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.
- Nach dem Ersten Weltkrieg trat zunehmend das Fließmodell auf, das den Konstruktionsprozeß analog zur Fließbandarbeit sieht.
- Vor dem Zweiten Weltkrieg kam dann das Regelkreismodell, das das Konstruieren als Teil eines zu regelnden stochastischen Unternehmensprozesses sieht, hinzu und seit den 50er Jahren verstärkt das systemtechnische Modell, das zusammen mit dem Modell des informationsverarbeitenden Prozesses große Teile der westdeutschen Konstruktionsmethodik bestimmt.
- Neuerdings schließlich das Netzmodell des Konstruktionsprozesses.

Es ist offensichtlich, daß die erwähnten Analogiemuster den jeweils erreichten Stand der Produktivkräfte auf den Konstruktionsprozeß projizieren und dabei auch damit verbundene Rationalisierungskonzepte auf ihn übertragen, ohne sie bisher wirklich durchsetzen zu können. Denn trotz einer intensiven, mit der akademischen Etablierung in der Bundesrepublik seit den 70er Jahren einsetzenden Werbung für wissenschaftliche Konstruktionsmethoden ist die Differenz zwischen dem propagierten Methodenideal eines rational modellierten und rationell durchorganisierten technischen Konstruktions- und Entwicklungsprozesses und der realen Konstruktionspraxis noch immer sehr groß. Die vorliegenden Erfahrungsberichte und Konstrukteurbefragungen in der Bundesrepublik<sup>2</sup> belegen übereinstimmend eine sehr langsame Ausbreitung des methodischen Konstruierens. Die den 'Stand der Konstruktionstechnik' normativ festlegenden VDI-Richtlinien 2222 von 1977 und 2221 von 1986 sind zwar vielen Entwicklern und Konstrukteuren bekannt, doch in der Praxis werden aus dem Gesamtprogramm meist nur einzelne geeignet erscheinende Arbeitsschritte und Methoden herausgelöst. Die Erwartung Karlheinz Roths aus dem Jahre 1979, daß in den folgenden 10 Jahren "das methodische Konstruieren wegen seiner effektiveren Ergebnisse zur Regel und das rein intuitive zur Ausnahme" wird, ist jedenfalls nur in bescheidenem Maße eingetroffen<sup>3</sup>. Der Ingenieuralltag wird noch immer stark von dem "Denken in Produkten und Baugruppen" beherrscht.

Als häufigster Ablehnungsgrund erscheint in den Bestandsaufnahmen vor allem die starre Schematisierung des Konstruktionsablaufs. Die meisten logisch stringent entwickelten Ablaufpläne seien gegenüber den wechselnden Praxisaufgaben zu unflexibel. Die eindeutig vorgeschriebene Reihenfolge: Funktionsfestlegung, prinzipielle Lösung und Gestaltung

widerspreche dem üblichen Springen von Konzeptions- und Gestaltungsphasen im iterativen Verfahren. Der vollständige Weg vom Abstrakten zum Konkreten sei bei ausgereiften Techniken ein sinnloser Umweg. Die Leitvorstellung vieler Konstruktionsmethodiken, vollständige Lösungsfelder anzustreben, wird als unreal bezeichnet, sie scheitere an dem Dilemma, daß erst die zunehmende Konkretisierung die Tragfähigkeit einer prinzipiellen Lösung zeige. Besonders häufig taucht auch das Argument auf, die Methodik komme dem Problemlösungsstil und den Konstruktionserfahrungen zu wenig entgegen. Die systematische Konstruktionswissenschaft gehe von der Fiktion aus, die Aufgabenstellung könne zu Beginn eindeutig festgelegt und dann in algorithmusartigem Vorgehen abgearbeitet werden. Der Leitgedanke des vollständigen Konstruktionsalgorithmus als Rationalisierungsziel sei ein Irrweg, da große Teile der Problemdefinition erst während des Konstruktionsprozesses vorgenommen würden. Schließlich wird immer wieder kritisiert, daß die Konstruktionsmethodik in ihrem Bestreben einer Rationalisierung oder gar Algorithmisierung bzw. Automatisierung des Konstruktionsprozesses dessen soziale und psychologische Bedingungen nicht oder zu wenig berücksichtigt: Das Konstruieren erscheint hier nicht als ein konkreter Lern- und Arbeitsprozeß, sondern als eine abstrakte Informationsverarbeitung im Hinblick auf Stoff-, Energie- und Informationsflüsse<sup>4</sup>.

In den folgenden Ausführungen soll nun gezeigt werden, daß die die wissenschaftliche Konstruktionsmethodik sehr stark prägenden Rationalisierungsleitbilder nicht erst eine Folge des Einzugs der Computer in die Konstruktionsarbeit sind, sondern bereits viel früher in der Konstruktionslehre des Maschinenbaus, des Elektromaschinenbaus und der elektrischen Feinmechanik angelegt waren. Anhand der Genese der ersten beiden elaborierten prozeßorientierten Konstruktionsmethodiken, der von Fritz Kesselring und Hugo Wögerbauer, die einen nicht unbedeutenden Einfluß auf die Konstruktionswissenschaft der Bundesrepublik und der früheren DDR hatten, möchte ich dann etwas genauer belegen, in welchem historisch-gesellschaftlichen Kontext die Herausbildung konstruktionsmethodischer Ansätze steht und inwieweit konkrete soziale und ökonomische Engpaßsituationen dabei jeweils zu charakteristischen Ausrichtungen bzw. Verengungen geführt haben. Denn der Entstehungsprozeß der wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik ist keinesfalls, wie es in der Fachliteratur von Hansen bis Paul/Beitz den Anschein hat, nur das Resultat von Einzelinitiativen theoretisch interessierter Ingenieurwissenschaftler, die im wesentlichen der wissenschaftsinternen Problemdiskussion folgten<sup>5</sup>.

## 1. Die Entstehung von Rationalisierungsleitbildern in der frühen Konstruktionslehre des deutschen Maschinenbaus

Den Begriff "Konstruktionslehre" gibt es seit den Anfängen einer Verwissenschaftlichung des Maschinenbaus. Doch Gegenstand dieser frühen Konstruktionslehre war nicht der Arbeits- und Denkprozeß des Konstruierens, sondern die physikalisch-mechanische Wirkstruktur des zu schaffenden technischen Gebildes, d.h., des Maschinen- oder Apparatesystems und seiner Elemente. Die klassische Konstruktionslehre fiel also noch weitgehend zusammen mit der Maschinentheorie bzw. der Allgemeinen Maschinenwissenschaft.

Als ihr eigentlicher Begründer kann der Karlsruher Professor der Mechanik und Maschinenlehre **Ferdinand Redtenbacher** (1809-1863) angesehen werden. Er unternahm es in seinem Hauptwerk "Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus" von 1852, das ganze Maschinenfach auf sichere Regeln zurückzuführen, die das technische Wissen nach Möglichkeit quantifizieren. Dieser Anlauf zu einer Objektivierung und Mathematisierung sollte nach Ansicht Redtenbachers speziell in Deutschland "mangelndes Geld und eingeschränkte Erfahrung" kompensieren<sup>6</sup>. Das hier wohl zuerst auftretende Motiv der Rationalisierung von Konstrukteurerfahrungen wird 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"<sup>7</sup> nicht verzichtet werden: "Mit den wissenschaftlichen Prinzipien allein ist im praktischen Wirken nichts auszurichten. Dieselben sind vortrefflich zur Ermittlung gewisser Grundbedingungen, denen die zu realisierenden Dinge entsprechen sollen, dies sind aber meistens nur einige wenige größere Verhältnisse und alles übrige, was zur Verwirklichung gehört, muß in der Regel teils nach Erfahrung und empirischen Regeln oder nach dem Gefühl angeordnet und ausgebildet 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>8</sup> Insgesamt gab Redtenbacher der Erfahrung als "bester Schule" noch den Vorrang, doch sollte der Konstrukteur zunehmend Lösungen anstreben, "in denen man durch Versuche oder durch rein wissenschaftliche Mittel schneller und sicherer das Ziel erreichen kann."<sup>9</sup>

Gegenüber diesem Kompromiß von wissenschaftlichem und künstlerischem Verständnis des Konstruierens bemühte sich Redtenbachers Schüler **Franz Reuleaux** (1829-1905) um die Begründung einer streng wissenschaftlich-deduktiven Konstruktionslehre. Der deutsche Maschinenbau war seiner Meinung nach gegenüber der "alles bezwingenden Konkurrenz" nur durch die "Anwendung eines geregelten Konstruktions-Verfahrens" überlebensfähig. Dieses sollte verhindern, daß wie bisher, unpassende Formen gewählt werden, unnötige

Modellkosten entstehen, und infolge ängstlicher Vorsicht überdimensioniert werde. Das erklärte Hauptziel seiner "Konstruktionslehre für den Maschinenbau" von 1854 war, "solchen Fabriken, welche nicht in der Lage sind, eine große Fülle von eigenen Erfahrungen haben sammeln zu können, die wissenschaftlich gestützten Folgerungen aus einer Summe von Erfahrungen zu bieten, welche, da sie den bewährtesten Ausführungen entnommen sind, wohl als maßgebend für neue Entwürfe betrachtet werden können."<sup>10</sup> Reuleaux wollte den in der deutschen Industriellen Revolution zu Tage getretenen 'Engpaß Konstruktion', also 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 Ausfüllung seines Programms einer deduktiven Konstruktionslehre versuchte Reuleaux in der "Theoretischen Kinematik" von 1875, einem der wichtigsten Werke der klassischen Maschinentheorie. 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 entwikelbar sein."<sup>11</sup> Aus der jedem Erfinden und Konstruieren zugrundeliegenden "logischen Gedankenfolge" entwickelte Reuleaux dann auch als erster eine Art Ablaufplan des Konstruierens. Die bereits in der "Konstruktionslehre für den Maschinenbau" von 1854 skizzierten Hauptaufgaben des "geregelten Konstruktionsverfahrens", nämlich

- die Bestimmung der Formen der einzelnen Maschinenorgane und -teile
- die Anordnung und der geometrische Zusammenhang
- die Formgebung und schließlich
- die Bestimmung sämtlicher Dimensionen

wurden in der "Theoretischen Kinematik" von 1875 in eine relativ stringente zeitliche Abfolge von Analyse- und Syntheseschritten gebracht, deren Grundlage allein die "logischen Grundsätze" der "Zwanglauf-Lehre" bildeten.

Alle Gestaltungsmerkmale, die sich nicht in einer "absoluten Form" und allgemein behandeln ließen, da gesellschaftsbezogen und widersprüchlich, waren dagegen für ihn kein eigentlicher Gegenstand der Konstruktionslehre: Fragen der Raumersparnis, der Gewichtsreduktion, der Sicherheit, der Dauerhaftigkeit sowie der Montage und Demontage von Konstruktionen

wurden allein dem 'Scharfblick' des entwerfenden Ingenieurs überlassen.<sup>12</sup>

Der Konstruktionsprozeß wurde bei Reuleaux in letzter Konsequenz auf den Nachvollzug der maschinentheoretischen Logik und "von Gesetzen der Richtigkeit und Zweckmäßigkeit" reduziert. Deren Wissenschaftlichkeit besteht gerade in einer Loslösung von der Empirie, in einem Absehen von der Erfindungsgeschichte, der konkreten Zwecke und Gestaltungen der Maschinen. Mit der angestrebten Rückführung des "Gewirrs von Gestaltungsversuchen" auf vorbildhafte Bestlösungen, die auf wissenschaftlich begründeten Elementarlösungen beruhen, geriet aber auch die Kontingenz, die Gestaltbarkeit technischer Gebilde aus dem Blick. Denn als "frei zu wählende Form" blieb seiner Meinung nach in dem weitgehend durch Gesetzmäßigkeiten determinierten "konstruktiven Schaffen" eigentlich nur das äußerliche Arrangement der Auslegung nach lokalen Gegebenheiten und die nachträgliche ästhetische Formgebung des Produktes übrig, die Wahl der kunstgewerblichen Dekoration, für die er den Begriff des "Maschinenbaustils" prägte.<sup>13</sup>

Die "Theoretische Kinematik" Reuleauxs beeinflusste mit ihrem deduktiven Ansatz, der konsequenten Reduzierung der Konstruktion auf die Montage von Elementen und mit ihrem Anspruch, konstruktive Erfahrungsakkumulation durch theoretisches Wissen zu verkürzen bzw. zu ersetzen, das Ingenieurdenken sehr nachhaltig. Nicht zuletzt hatte er offensichtlich auch großen Einfluß auf Taylor und seine Schüler, die Reuleauxs ausschließlich auf technische Sachsysteme bezogene kinematische Denkweise, seine deterministische Zwanglauf-Lehre und One-best-way-Vorstellungen auf den Arbeitsprozeß übertrugen.<sup>14</sup> Reuleaux prägte darüber hinaus den Typ einer ingenieurwissenschaftlichen Theoriebildung, die zwar gegenüber den Naturwissenschaften Eigenständigkeit besitzt, - insofern unterschied er sich von den Polytechnikern - aber doch ihrem rational-analytischen Paradigma nacheifert.

Die in der Praxis tätigen Ingenieure verhielten sich allerdings weitgehend ablehnend oder abstinenter gegenüber der, wie sie es nannten, "Übertheoretisierung des Maschinenfaches". Die akuten Probleme des fortgeschrittenen Dampfmaschinen- und Werkzeugmaschinenbaus waren auch nicht durch Deduktion aus allgemeinen Grundsätzen zu lösen, sondern nur durch experimentelle Forschung, durch induktive, heuristische Methoden. Infolgedessen konnten der große Widersacher Reuleaux **Alois Riedler** (1850-1936) mit seinem Konzept einer laboratoriums-gestützten empirischen Konstruktionslehre und der auf einen Kompromiß zwischen der theoretischen und experimentellen Methodenrichtung bedachte **Carl Bach** (1847-1931) um die Jahrhundertwende eine weitaus größere Resonanz bei den Ingenieuren der Praxis erzielen als der "Theoretiker Reuleaux".<sup>15</sup> Der 'Engpaß Konstruktion' wurde schließlich auch nur durch Personalaufstockung und organisatorische Rationalisierung (Hierarchisierung) in den Konstruktionsabteilungen behoben und nicht durch eine

wissenschaftliche Konstruktionslehre.

Erst ein erneuter und verschärfter Ökonomisierungsdruck führte zu einem neuen Anlauf einer Rationalisierung des Konstruktionsprozesses. Der verschärfte Wettbewerb auf dem Weltmarkt nach dem Ersten Weltkrieg und der Rationalisierungsrückstand Deutschlands gegenüber den USA ließen nach dem Ende der Inflation erneut einen empfindlichen Mangel an qualifizierten Konstrukteuren entstehen. Dazu stieß die Rationalisierungsbewegung in der Fertigung ständig auf nicht "werkstattgerechte" Entwürfe. Im Laufe der 20er Jahre kam es daher zu einer Intensivierung der "Konstrukteurerziehung" und zur Formulierung von Gestaltungsrichtlinien für die "wirtschaftlichste" und "fertigungsgerechte Konstruktion."<sup>16</sup> Die forcierte Durchsetzung der Fließfertigung von Massenprodukten sollte zusätzlich durch normungs- und typengerechtes Konstruieren unterstützt werden: "Die höchste Einheit zwischen Entwerfen und Herstellen ist in der fließenden Fertigung gegeben, wo nicht nur die Form des Werkstückes, sondern der ganze Fertigungsgang im voraus geplant, festgelegt, entworfen wird."<sup>17</sup>

Unter dem Einfluß der Taylorismus- und Fordismus-Rezeption traten jetzt die ersten Forderungen nach einer Arbeitsvorbereitung in den Konstruktionsbüros auf. Detaillierte "Arbeitspläne" sollten, zusammen mit einer vermehrten Arbeitsteilung und rationellen Systemen der Zeichnungs- und Stücklistenverwaltung, zum Teil sogar mit Vorformen einer Erfassung der Konstruktionszeiten, die Konstruktionskosten senken und eine bruchlose Kooperation von Arbeits- und Konstruktionsbüro gewährleisten.<sup>18</sup> Da die Firmenleiter und Betriebsingenieure über die Zeitkalkulation jedoch nicht an das komplexe, unzergliederte Erfahrungswissen der Ingenieure herankamen, blieb es bei äußerlichen arbeitsorganisatorischen Maßnahmen und dem Appell an die Selbstdisziplinierung der Konstrukteure. So forderte ein Artikel über "das wirtschaftliche Arbeiten im Konstruktionsbüro" 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>19</sup> Zu konkreten Versuchen, das "unsichtbare geistige Fließband" in die Realität umzusetzen, kam es jedoch erst in der Zeit nach 1936/37 im Rahmen der nationalsozialistischen Rüstungskonjunktur bzw. Kriegswirtschaft. Der erneute 'Engpaß Konstruktion' und die kriegsbedingte Ausweitung der arbeits- und rohstoffsparenden Massenproduktion bildeten den Entstehungsanlaß für eine Methodenlehre des Konstruierens, die nicht mehr den Konstruktionsgegenstand und die Maschinenelemente, sondern den Ablauf des Konstruktionsprozesses und seine einzelnen Denkschritte in das Zentrum rückte.

## **2. Der historisch-gesellschaftliche Kontext der Anfänge der wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik**

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 - verweist darüber hinaus auf einen engen Zusammenhang der Entstehung der wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik mit der elektrotechnischen Produktivkraftentwicklung. Auch noch nach dem Zweiten Weltkrieg kamen die meisten frühen Vertreter der technischen Hochschuldisziplin Konstruktionswissenschaft aus der Feinwerktechnik oder dem elektrotechnischen Großanlagen- bzw. Elektromaschinenbau. Waren es im Bereich der Energieumwandlung vor allem die Größe und Komplexität der Aggregate, die ein systematischeres methodisches Vorgehen nahelegten, so waren es auf dem Gebiet des elektrotechnischen Feingerätebaus das Nebeneinander von mechanischen, akustischen, optischen, elektromechanischen und elektronischen Bauelementen und Bauteilen, die Aufteilung der Konstruktion in einen abstrakteren Schaltungsentwurf und dessen folgende physikalische Realisierung sowie die größere Bedeutung von Großserien, die über die herkömmliche maschinenbauorientierte Konstruktionsmethodik hinausdrängten. Aufgrund dieser technisch-ökonomischen Besonderheiten und Probleme, ging die führende Rolle des Kraftmaschinen- und Werkzeugmaschinenbaus als Promotor der Systematisierung und Theoretisierung der Konstruktion nach dem Ersten Weltkrieg auf die Elektrokonstruktion über.

Der nach dem Ende der Inflation ab 1923/24 voll auf die deutsche Industrie durchschlagende Ökonomisierungsdruck zwang die Unternehmen zur gesteigerten Produktion von Massenfabrikaten und Austauschteilen mit drastisch verringerter Paßarbeit sowie zur teilweisen Übernahme von fließenden Fertigungsmethoden. Zusammen mit der breiteren Diffusion vieler neuer elektrotechnischer, feinmechanischer und maschinenbaulicher Produkte führte dies zu einer starken Zunahme der Konstruktionsarbeit.<sup>20</sup> Dem Aufgabenzuwachs entsprach jedoch kein vergleichbarer Bedeutungszuwachs des Konstruktionsbüros. Im Gegenteil, unter Hinweis auf das "wirtschaftliche bzw. werkstattgerechte

Konstruieren" hatte sich das Arbeitsbüro eine ganze Reihe konstruktionsplanerischer Kompetenzen angeeignet. Die Konstruktionsabteilung wurde, nach Ansicht vieler Konstrukteure, zum "Zeichenbüro" degradiert.<sup>21</sup> Die Folge war ein Rückgang an qualifiziertem Konstrukteurnachwuchs und, nach dem Einsetzen der NS-Rüstungskonjunktur, ab 1935/36 ein ausgesprochener Konstrukteurmangel, der offenbar über den allgemein herrschenden Ingenieurmangel noch hinausging.<sup>22</sup> Das unzureichende betriebliche und berufliche Sozialprestige ihrer Profession bildete daher für Wögerbauer und Kesselring einen wichtigen Ausgangspunkt für eine theoretische Grundlegung der Konstruktionsarbeit.

*Konstruktionsbüro des Schaltwerks in Berlin-Siemensstadt im Jahre 1929 (Abb. aus Haus Beiersdorf, Das Schaltwerk der Siemens-Schuckertwerke A.G.), in: ETZ 50 (1929) 15, S.531.*

*Im Unterschied zu den anderen Büros, wo es einen "fließenden Durchlauf der Schriftstücke" gab, war das Fließprinzip in der Konstruktion nur visuell angedeutet.*

So begann Kesselring seinen ersten konzeptionellen Entwurf für eine wissenschaftliche Konstruktionslehre mit einer Darlegung über die Gründe der geringen Akzeptanz des Konstrukteurberufes: "1. Das Konstruieren wird vielfach als eine Ingenieur Tätigkeit zweiten Ranges angesehen. 2. An den technischen Hochschulen wird mit ganz wenigen Ausnahmen die 'Lehre von der konstruktiven Gestaltung' auch heute noch etwas stiefmütterlich behandelt. (...) 3. Von seiten der Industrie wird dem Konstrukteur und seiner Arbeit oft noch nicht die Anerkennung gezollt, die er bzw. sie verdient", ja es sei sogar der Standpunkt weit verbreitet, "Konstruieren sei eine für den Akademiker unwürdige Tätigkeit." In einer Erhebung des Konstruierens zu einer sich auf den "Gesetzen der Natur" begründenden Wissenschaft und in der akademischen Verankerung dieser Disziplin an den Technischen Hochschulen - und zwar im Range eines Hauptfaches - sah Kesselring daher besonders wichtige Schritte, um dem Konstrukteur die frühere professionelle und gesellschaftliche Achtung zurückzugewinnen.<sup>23</sup>

Hugo Wögerbauer knüpfte in seinen ersten Plänen für eine "exakte Konstruktionswissenschaft" unmittelbar an Kesselrings berufsständische Argumentation an. Dabei sah er den Hauptgrund für die mangelnde Anerkennung des Konstrukteurs in der an amerikanischen Leitbildern orientierten Rationalisierung bzw. "Überrationalisierung": Das neue System der "Betriebsorganisation" habe den Betriebsingenieuren die führende Rolle im Unternehmen verschafft und den Konstruktionsingenieur, der den Wert seiner Arbeit nicht buchmäßig belegen könne, um seine "dienstliche und gesellschaftliche Anerkennung" gebracht. Infolge dessen sei dem "Produktionsmittel 'Konstrukteur'" und seiner Arbeitsweise keinerlei theoretische Aufmerksamkeit geschenkt worden. Das Fehlen einer "Konstruktionswissenschaft" sei wiederum eine wesentliche Ursache für den "einschneidenden Ingenieurmangel" geworden. Von einer wissenschaftlichen Begründung des konstruktiven Arbeitens versprach sich Wögerbauer neben Rationalisierungseffekten vor allem auch eine gerechtere Beurteilung der Leistungen des Konstruktionsingenieurs: "Erst dann, wenn neben die heutige rein gefühlsmäßige Wertung auch ein objektives Wissen um die Bedeutung tritt, kann dieser Beruf die ihm zukommende Werkschätzung innerhalb und außerhalb der Technik finden und damit das Interesse des technischen Nachwuchses finden. Erst dann kann auch die bis jetzt fehlende, oft verlangte Konstruktionslehre geschaffen werden, welche es dem Lehrer ermöglicht, den schöpferisch begabten Nachwuchs schon in der Schule konstruktiv auszurichten."<sup>24</sup> Es waren also nicht primär technikwissenschaftliche Problemstellungen oder fachwissenschaftliche Kontroversen innerhalb der Theorie des Maschinenbaus und der allgemeinen Ingenieurwissenschaften, die den entscheidenden Anstoß zu einer wissenschaftlichen Analyse des Konstruktionsprozesses gegeben haben, vielmehr waren es vorrangig Legitimationsprobleme und Statusdefizite der Konstrukteursprofession in einer Phase drastisch zunehmender Nachfrage nach Konstruktionsleistungen.

Mit dem sich verschärfenden 'Engpaß Konstruktion' traten indessen professionell-berufsständische Intentionen und Legitimationsstrategien zurück und stattdessen Kosten- und Rationalisierungsaspekte in den Vordergrund. Damit änderte sich auch die Zielrichtung der Verwissenschaftlichung des Konstruierens: nicht mehr das akademische Renomé der Konstrukteure stand im Mittelpunkt, sondern die Leistungssteigerung im Konstruktionsbüro mit Hilfe exakter Methoden und einer "bewußten Systematik in der Durchführung der Arbeiten".<sup>25</sup> Wögerbauer brachte diese Rationalisierungstendenzen der frühen konstruktionswissenschaftlichen Bestrebungen am deutlichsten zum Ausdruck: Der Konstruktorsmangel "zwingt uns die Frage auf, ob sich die Konstrukteurarbeit nicht irgendwie theoretisch fassen läßt. Theoretisch fassen mit dem praktischen Zweck, den Wirkungsgrad und die Intensität des Konstruierens zu steigern, die Anlernzeiten zu verringern und eine Fehlleitung von schöpferisch begabten Ingenieuren zu verhindern. (...) Unser letztes Ziel ist, mit Hilfe eines auf wissenschaftlich begründetem Wege gewonnenen Wissens über die konstruktive Arbeit diese zu beeinflussen, zu rationalisieren."<sup>26</sup>

Schließlich gewannen unter dem Druck der Rohstoffknappheit materialsparende Konstruktionsweisen eine immer größere Aufmerksamkeit. Die konstruktionswissenschaftlichen Ansätze Wögerbauers und Kesselrings wurden so mehr und mehr Bestandteil jenes technisch-ökonomischen Strategiebündels der NS-Technologiepolitik, mit dem durch Konstruktionsvereinfachung, vermehrten Austauschbau und Baukastenkonstruktionen, Normierung und Typenreduzierung aus der vorhandenen materiell-technischen Basis und dem technisch-wissenschaftlichen Arbeitskräftepotential die höchste Leistung herausgeholt werden sollte. Ziel war jetzt bei beiden eine an die tayloristische Aufgabensegmentierung anknüpfende "Rationalisierung der geistigen Arbeit des Ingenieurs"<sup>27</sup> und eine Verengung der Gestaltungskriterien für technische Produkte auf solche der betriebswirtschaftlichen Kostenorientierung. Die Konstruktionswissenschaft wurde so schon im Entstehungsprozeß als eine im Ablauf möglichst zwangsläufige und kontrollierbare Methode konzipiert, die vermeintlich ineffiziente intuitiv-kreative Vorgehensweisen tendenziell ausschaltet und die Dequalifikation des Konstruktionspersonals gestattet. Diese Intentionen haben lange Zeit auch die Entwicklungsrichtung der auf Kesselring und Wögerbauer aufbauenden Konstruktionsforschung in der BRD, der DDR und der Schweiz bestimmt und dies im Unterschied zur angelsächsischen "design theory", die von Beginn an viel stärker auf Techniken der Lösungsfindung und Kreativitätsförderung zielte. Doch heute, nach mehr als 50 Jahren, wird immer deutlicher, daß sich gerade die Erwartungen hinsichtlich der personellen Rationalisierungswirkungen konstruktionsmethodischer Ansätze in den Konstruktionsbüros nicht erfüllt haben.

### **3. Fritz Kesselrings Ansatz einer Rationalisierung des Konstruktionsprozesses durch kostenorientierte Verfahren der Konstruktionsbewertung**

Kesselring (1897-1977) stammte aus der Schweiz, studierte an der ETH Zürich, erfuhr jedoch seine entscheidende technisch-wissenschaftliche Prägung durch seine Konstruktionstätigkeit in der deutschen elektrotechnischen Großindustrie. Seit 1924 war er Entwicklungsleiter für den Bereich Hochspannungs-Schaltgeräte im Siemens-Schuckert-Schaltwerk in Berlin-Charlottenburg, 1942-44 sogar dessen Leiter.<sup>28</sup> Kesselrings Ansatz für eine allgemeine Konstruktionslehre oder, wie er sie seit 1942 eindeutig nennt, "Gestaltungslehre",<sup>29</sup> ist eng mit seinen eigenen Entwicklungsarbeiten am Expansionsschalter und den technisch-ökonomischen Problemen des Schaltgerätebaus verknüpft.

Dieser Technik- und Wirtschaftszweig hatte, ähnlich wie die elektrische Feinwerktechnik, einen sehr raschen Strukturwandel erlebt, der zu massiven Konstruktionsproblemen führte, die ihrerseits den Nährboden für konstruktionswissenschaftliche Bestrebungen bildeten. Die lange Zeit vorherrschende Schalterkonstruktion "aus dem Handgelenk" nach vorhandenen Mustern hielt mit der sich seit dem Ersten Weltkrieg rasch ausbreitenden Kupplung von Hochspannungsnetzen nicht mehr Schritt. Das Schalterproblem wurde schließlich zum Engpaß für die weitere Ausdehnung der Verbundwirtschaft und zwang daher die großen Starkstromfirmen, allen voran AEG und Siemens, zu einer systematischen Suche nach neuen Lösungen für Höchstleistungsschalter. Bei den unteren und mittleren Spannungsbereichen, wo noch die Ölschalter dominierten, ließen starke Konkurrenz, schneller Produktwechsel bei zunehmender Annäherung der Bauweisen sowie die sehr große Zahl von Konstruktionselementen und Wiederholteilen den Wunsch nach größtmöglicher Einheitlichkeit entstehen.<sup>30</sup> Doch die fehlende theoretische Durcharbeitung des Schaltgerätebaus, insbesondere das Fehlen einer Bauelemente-Systematik, behinderten die Standardisierung und den Übergang zur Baukastenkonstruktion.

Das mit der Rüstungskonjunktur des Dritten Reiches drastisch ansteigende Konstruktionsvolumen bei einem gleichzeitig immer empfindlicher werdenden Ingenieurmangel verschärfte den "Engpaß Konstruktion" dermaßen, daß nun auch für die Konstruktionsbüros nach grundlegenden Rationalisierungsmethoden gesucht wurde. Vor diesem Hintergrund müssen die konstruktionsmethodischen Bestrebungen Kesselrings und des Siemens-Schaltgeräte-Werkes gesehen werden. Am Beginn standen seit 1930 die systematische Aufarbeitung der Schalterkonstruktion und eine verallgemeinernde Auswertung der Methodik bei der Entwicklung des Expansionsschalters.<sup>31</sup> Diese Überlegungen wurden, wie es Reiseberichte von Kesselring und anderen Siemens-Konstrukteuren belegen, mit betriebswirtschaftlichen Verfahren der Konstruktionsbewertung verknüpft, wie man sie in

Ansätzen bereits in der US-Elektroindustrie praktizierte: ständige Kostenkontrolle durch das "Time-Study-Wesen" und gezielte Reduzierung des spezifischen Gewichts- und Raumbedarfes der Produkte. Zusätzlich führte das Siemens-Schaltgerätewerk bereits Mitte der 30er Jahre die "Vorkalkulation anhand von Entwurfszeichnungen" ein, um zum frühestmöglichen Zeitpunkt die wirtschaftlichsten konstruktiven Lösungen ermitteln zu können.<sup>32</sup> Etwa zur gleichen Zeit kamen noch Bewertungsverfahren für den Materialbereich hinzu, die von VDI und ADB zur Rohstoffeinsparung propagiert wurden.<sup>33</sup>

Der enge Bezug zur Rohstoffknappheit und dem Arbeitskräftemangel der NS-Rüstungskonjunktur und der folgenden Kriegswirtschaft zeigt sich besonders in dem materialkosten-orientierten Bewertungsansatz Kesselrings: danach galt als zentrales "Gestaltungsgesetz": "Die konstruktive Entwicklung ist so zu lenken, daß die Materialkosten ein Minimum werden".<sup>34</sup> Bezeichnenderweise entstand aus ähnlichen Bestrebungen nach Kriegsbeginn bei der General Electric Company in den USA die Wertanalyse bzw. das value engineering.<sup>35</sup> Auch die von Kesselring später beibehaltene Definition des zentralen Gestaltungszieles läßt den engen Bezug zum "Werkstoffsparen" und zum "menschenarmen Betrieb" erkennen: "Aufgabe ist, mit einem Minimum an Menschen aus einer gewissen Werkstoffmenge, die in diesem Umfange fortlaufend zur Verfügung steht, ein Maximum an 'starken', vom Markt aufnahmefähigen Erzeugnissen zu erzielen."<sup>36</sup>

In den Jahren 1937-42 integrierte Kesselring diese Ansätze zu einer von ihm "Gestaltungslehre" genannten Methodik des Konstruierens. Deren Kern bildete ein verbindlicher sogenannter "Gestaltungsplan", der den Ablauf der Bewertungsverfahren zur Ermittlung der technischen, wirtschaftlichen und kombinierten Wertigkeit regelte und die effektivste Selektion und Züchtung starker, auf dem Markt überlebensfähiger Konstruktionen gewährleisten sollte (vgl. die Abb. auf S. 20). Kesselring wollte damit den bisherigen ineffektiv gefühlsmäßigen Konstruktionsablauf der exakten Berechnung und damit einer Kontrolle zugänglich machen und begründete dies mit der zunehmenden "Verknappung an Ingenieuren", die gebieterisch "die Einführung einer strengen Wirtschaftlichkeit der Geistestätigkeit" verlange.<sup>37</sup>

*Schaubilder aus F. Kesselrings Aufsatz Die "starke" Konstruktion. Gedanken zu einer Gestaltungslehre, in: ZVDI 86 (1942) 21/22, S. 322, 327.*

Grundlage von Kesselrings "Gestaltungslehre" war keine Beobachtung und systematische Analyse empirischer Konstruktionsprozesse, sondern die weitgehende abstrakte Übertragung von Rationalisierungskonzepten der Fertigung auf die Entwicklung und Konstruktion: So wie der gesamte Produktionsprozeß, den sich der Elektrotechniker Kesselring als einen Regelkreis bzw. ein Blockschaltbild von Menschen- und Güterströmen vorstellte, zur Vermeidung von Stockungen geregelt und soweit wie möglich automatisiert werden müsse,<sup>38</sup> so solle auch die Konstruktion rationell durchgeplant werden und zwar als ein Prozeßablauf "vom allgemeinen Übergeordneten zum Speziellen, einzelnen (...), wobei dieses Fortschreiten nach einem formal zusammenfassenden Plan" zu erfolgen habe.<sup>39</sup> Dieser sollte auch in der Konstruktion die Tendenz zum "menschenarmen Betrieb" durchsetzen und zwar durch die "Schaffung einer Methode zur Bewertung neuer Ideen, durch die verhütet wird, daß Menschen ihre geistige Arbeit an unfruchtbare Gedanken vergeuden" und die "Aufstellung von Gesetzen und Richtlinien, mit deren Hilfe es möglich ist, die als brauchbar erkannten Ideen unter weitgehender Vermeidung von Umwegen zu verwirklichen." 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."<sup>40</sup> Als das letztlich anzustrebende methodische Ideal für das Konstruieren sah er das mathematische Problemlösen an, die Lösung mathematischer Aufgaben durch konvergierende Näherungsverfahren. Weniger die Erweiterung des technischen Problemlösungshorizontes und die Hebung der Attraktivität der Konstruktionsarbeit standen also, wie Kesselring es anfangs immer wieder postuliert hatte, im Zentrum dieses Ansatzes, als vielmehr die Disziplinierung und Rationalisierung der Konstruktionstätigkeit auf der Basis von frühkybernetischen und logistischen Modellvorstellungen über den großindustriellen Produktions- und Konstruktionsprozeß.

Eingebettet war dies alles in eine sozialdarwinistische Technikphilosophie, die mit ihrer Kampf-ums-Dasein-und Höherzüchtungsmethaphorik deutliche Bezüge zur zeitgenössischen Rassenlehre und Sozialbiologie aufwies. So verglich Kesselring die Arbeit des Konstrukteurs mit der eines Biologen bzw. Genetikers. Wie dieser die Entstehungen "biologischer Mutationen" untersucht und nach den Bedingungen des Überlebens in der Natur fragt, so sollte der Konstrukteur die "technischen Mutationen" erforschen und die Kriterien der Stärke technischer Produkte bewußt herausarbeiten und gezielt anwenden: "'Stark' aber ist nur, was sich auch gegenüber dem unwahrscheinlichsten Angriff zu behaupten vermag; daher müssen wir jeder möglichen Gefahr durch Hochzüchten einer Abwehrkraft (starken Eigenschaft) des zu schaffenden Erzeugnisses von vornherein entgegenwirken."<sup>41</sup> Die One-best-way-Auffassung Taylor'scher Prägung ging hier eine enge Verbindung mit dem Nietzscheanischen Stärke-Kult, sozialdarwinistischem Auslese-Denken und Carl Schmitt'scher Freund-Feind-Ideologie ein. In leicht abgeschwächter Form durchzieht das Vokabular vom "Überleben" und der "Abwehrkraft starker Konstruktionen" auch noch das

1954 erschienene Hauptwerk Kesselrings, die "Technische Kompositionslehre".<sup>42</sup> Mit seiner spezifischen Mischung von sozialtechnischer Modernisierung und Rationalisierung einerseits und von irrational-sozialreaktionären Ideologieversatzstücken sowie berufsständischem Rechtfertigungs- und Prestigedenken andererseits kann Kesselring als ein Musterbeispiel jenes "Reactionary Modernism" angesehen werden, der nach Jeffrey Herf für große Teile der Technischen-Wissenschaftlichen Intelligenz des nationalsozialistischen Deutschland typisch war.<sup>43</sup>

#### **4. Hugo Wögerbauers "Technik des Konstruierens" als Versuch einer Überwindung des "Engpasses Konstruktion" in Feinwerktechnik und Rüstungsproduktion**

Wögerbauers konstruktionswissenschaftliche Bestrebungen müssen ebenfalls vor dem Hintergrund großindustrieller Rationalisierungsstrategien und rüstungs- bzw. kriegswirtschaftlicher Konstruktionsanforderungen gesehen werden, auch wenn seine "Technik des Konstruierens" wesentlich breiter und prinzipieller angelegt ist als Kesselrings kostenorientierter Konstruktionsbewertungsansatz.

Hugo Wögerbauer (1904-1976), ein gebürtiger Wiener, studierte an der TH seiner Heimatstadt und konstruierte nach dem Diplom in den Wiener Siemenswerken elektrische Uhren und Regeleinrichtungen. Anfang 1939 wechselte er in das Zentrale Konstruktionsbüro des Wernerwerks für Fernmeldegeräte in Berlin, wo er getriebetechnische Aufgaben in Drehwählern, Radio-, Tonband- und Schmalfilmgeräten bearbeitete und nebenher in der Schulung des Konstrukteurnachwuchses tätig war. Ende des Jahres 1940 wurde er dann Professor für Feingerätebau und Betriebskonstruktion an der TH München.<sup>44</sup> Seine technischen Studien, Patente und seine Dissertation beschäftigen sich vor allem mit Konstruktionsproblemen antriebsloser elektrischer Kleinstmotoren, die zunehmend in Uhren und Regler eingesetzt wurden. Dabei war es sein Ziel, den konstruktiven Entwurf und die Dimensionierung vom "technischen Gefühl des Konstrukteurs und seinen Vorbildern" unabhängig zu machen.<sup>45</sup> Wögerbauers 1937 einsetzende Aufsätze und Vorträge zur Konstruktionswissenschaft können aber nur zum Teil aus seinen technischen Arbeiten abgeleitet werden. Wie bei Kesselring war es auch bei Wögerbauer das Zusammentreffen von technik- und branchenspezifischen Bedingungen mit professionell-berufsständischen Aspirationen und unmittelbar politisch-gesellschaftlichen Faktoren, das zur Entstehung seines konstruktionswissenschaftlichen Ansatzes führte. Dies wird besonders deutlich, wenn man nicht nur sein berühmtes Hauptwerk von 1942/43 heranzieht, sondern dieses im Zusammenhang mit den vielen verstreut publizierten Aufsätzen und Vorträgen interpretiert.

Das mir aus dem Nachlaß zugänglich gewordene Gesamtwerk zeigt meines Erachtens viel klarer Wögerbauers umfassendes konstruktionswissenschaftliches Programm und dessen gesellschaftlichen Kontext. Die Vorstudien und ersten Entwürfe für "Gestaltungslehren" der Fernmeldetechnik, Kinotechnik, Schwachstromtechnik usw. lassen aber auch den feinwerktechnischen Entstehungshintergrund noch deutlicher erkennen.

Der elektrische, mechanische und optische Feingerätebau war nach jahrzehntelangem Verharren auf der Stufe handwerklich-manufakturerer Präzisionsherstellung durch den gewaltigen Aufschwung von Nachrichtentechnik, Meßgeräten sowie von Rechen- und Büromaschinen in kurzer Zeit in das Stadium großindustrieller Massenproduktion gelangt. Die hieraus resultierenden quantitativen und qualitativen Konstruktionsprobleme ließen sich aber nur zum geringen Teil mit den Konstruktionsprinzipien und Berechnungsmethoden des klassischen Maschinenbaus bzw. Elektromaschinenbaus bewältigen.<sup>46</sup> Denn in der Feinwerktechnik spielten die dort üblichen Festigkeits-, Wirkungsgrad- und Dimensionierungskriterien nur eine untergeordnete Rolle. Statt dessen kam es bei den Massenerzeugnissen des Feingerätebaus vor allem auf Funktionsgenauigkeit, fertigungsgerechte, möglichst spanlos herzustellende Bauweisen sowie auf Leichtbau, Miniaturisierung und leichte Bedienbarkeit an.<sup>47</sup> Der Bedarf an fertig ausgebildeten Konstrukteuren und an rationellen Konstruktionsverfahren, die von der Einzelerfahrung der Konstrukteure unabhängig und lehrbar waren, veranlaßte nach dem Ersten Weltkrieg unter der Führung der Firma Siemens intensive konstruktionspädagogische und konstruktionstheoretische Initiativen: so die vor allem durch Siemens & Halske betriebene Gründung der "Gauß-Schule" (1923) und die Erarbeitung der ersten feinmechanischen Bauelemente-Lehre durch die im Siemens-Fernmelde- und Meßgerätewerk tätigen Ingenieure Otto Richter und Richard von Voß.<sup>48</sup> Im Hinblick auf maximale Stückzahlen hatten von Voß und Richter nach möglichst allgemeinen Konstruktionselementen aller feinwerktechnischen Zweige gesucht, waren aber mit ihren an Reuleaux und den klassischen Maschinenelemente-"Generalnenner-Ansatz" nicht über die niederen Konstruktionselemente hinausgelangt.

Hier setzten nun Wögerbauers eigene konstruktionswissenschaftlichen Überlegungen an. Im Gegensatz zu der seiner Meinung nach gescheiterten Zielsetzung einer "universell feinwerktechnischen Konstruktionslehre" plädierte er dafür, zunächst mit besonderen Konstruktionslehren für Teilgebiete des Feingerätebaus zu beginnen.<sup>49</sup> Dabei sollten nach dem Vorbild der elektrischen Nachrichtentechnik die höheren Konstruktionselemente (Relais, Schalter usw.) die Grundlage der Elementarisierung bilden. Erst nachdem in den Teilgebieten der jeweilige "innere Aufbau" des "technischen Organismus" praxisnah analysiert und die Zusammenhänge zwischen Gestaltung, Werkstoff, Herstellung und Wirtschaftlichkeit herausgearbeitet waren, sollte nach grundlegenden strukturellen und

funktionalen Übereinstimmungen bzw. Zusammenhängen der mechanischen, elektrischen, optischen und akustischen Wirkprinzipien und Bauweisen geforscht werden.<sup>50</sup> So konzipierte Wögerbauer einerseits Konstruktionslehren für Fernmeldegeräte, die Schmalfilmtechnik und andere "schwachstromtechnische" Gebiete.<sup>51</sup> Er reihte sich hier in die zeitgenössischen Systematisierungsansätze auf der Ebene der Einzeltechniken ein, wie sie Rudolf Franke auf dem Gebiet der elektrischen Getriebe anstrebte und wie sie Alexander Varren und Christel Hamann mit ihren Arbeiten zu einer vergleichenden Schalt- und Getriebelehre für Rechenmaschinen versuchten.<sup>52</sup>

Andrerseits wollte Wögerbauer aber über die Ebene spezieller Konstruktionslehren zu einer allgemeinen feinwerktechnischen "Gestaltungslehre" vorstoßen, die mehr war als nur eine "systematisch geordnete Sammlung von wirklich elementaren Bausteinen der Konstruktion" ohne innere logische konstruktionstheoretische Verknüpfung, wie er sie in der Materialsammlung von von Voß und Richter kritisierte.<sup>53</sup>

*Gebiete-Systematik der Feinwirktechnik und Schwachstromtechnik, aus Wögerbauers Aufsatz "Grundsätze der Konstruktion schwachstromtechnischer Geräte", in: EuM 56 (1938) 19, S.246, mit handschriftlichen Korrekturen Wögerbauers.*

Mit seinem Angriff auf den Bauelemente-Ansatz von Richter und von von Voß und der ihnen folgenden Gauß-Schule löste Wögerbauer einen mehrjährigen Methodenstreit in der feinwerktechnischen Konstruktionslehre aus.<sup>54</sup> In dieser Auseinandersetzung übersahen seine Gegner, daß es Wögerbauer nicht mehr nur um den besten Weg für eine Elementarisierung ging, sondern daß er wegen der Komplexität und Heterogenität der feinwerktechnischen Konstruktion den Mathematik- und Kinematik-orientierten Grundansatz der klassischen Konstruktionslehre des Maschinenbaus für völlig unzureichend hielt: "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 Konstruieren kann als eine Geistestätigkeit ureigenen Gepräges nur nach eigenen Gesetzen gelehrt werden."<sup>55</sup>

Sein eigenes Ziel war daher eine von der Reuleaux'schen Tradition losgelöste "allgemeine feinwerktechnische Konstruktionslehre", die neben den niederen und höheren Konstruktionselementen auch grundlegende Konstruktionsprinzipien sowie die Technik der Werkstoffe und der Herstellungsverfahren einbezieht. Er griff hier sowohl frühere Bestrebungen von Betriebsingenieuren für fertigungsgerechtes Konstruieren auf als auch nationalsozialistisch-technokratische Ansätze zu einer gesamtwirtschaftlichen Ausrichtung der Technik. Mit der von ihm anvisierten "Theorie der wirtschaftlichen Gestaltung", die er in die Konstruktionslehre integrieren wollte, hoffte Wögerbauer, die Konstrukteure in die Lage zu versetzen, "eine gestellte Aufgabe nicht nur funktionsmäßig, sondern auch herstellungstechnisch und betriebstechnisch richtig, also privat- und volkswirtschaftlich zu lösen."<sup>56</sup> Noch mehr entfernte sich Wögerbauer schließlich von den zeitgenössischen Ansätzen für eine feinwerktechnische Konstruktionslehre durch die Einbeziehung psychologischer bzw. psychotechnischer Ansätze. Mit Hilfe einer "allgemeinen Theorie des Konstruierens" wollte er 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 des Konstruktionsprozesses und der Methoden ihrer Verknüpfung. Die von der Industrie in der Aufrüstungskonjunktur geforderte zügige Rationalisierung der Konstruktionsarbeit und schnellere Konstrukteurausbildung hielt er letztlich nur für möglich, wenn die zu schaffende Konstruktionswissenschaft den "geistigen Vorgang der konstruktiven Gestaltung", die "zusammenhängende Kette von Überlegungen - abwechselnd analytischer und synthetischer Natur" auf innere Gesetzmäßigkeiten hin erforscht.<sup>57</sup>

Dieses Programm für eine umfassende, die verschiedenen konstruktionstheoretischen Ansätze integrierende "Gestaltungslehre des Feingerätebaus" überstieg angesichts der

vorhandenen Vorarbeiten offensichtlich Wögerbauers Kräfte. Ein für 1940 angekündigter "Leitfaden der Konstruktionslehre der Fernmeldetechnik" erschien ebenso wenig wie das für 1942 angezeigte "Taschenbuch für den Feingerätebau", das dieses Gesamtprogramm abdecken sollte.<sup>58</sup> Statt dessen blieb es bei Skizzen für spezielle Konstruktionslehren von Teilgebieten der Feinwerktechnik, bei vergleichenden Studien zu einzelnen Konstruktionsproblemen (Getriebe, Werk- und Sparstoffe) und bei separaten Bemühungen um eine "allgemeine Gestaltungslehre". Die früheren Pläne Wögerbauers für eine "Allgemeine Konstruktionslehre der Feinwerktechnik" traten schließlich unter dem Einfluß des Rohstoffmangels und des Konstrukteur-Engpasses in der NS-Kriegswirtschaft völlig zurück hinter Bemühungen um eine konstruktive Systematik der Werkstoffe<sup>59</sup> und eine - im doppelten Sinne - Rationalisierung der Konstruktionsarbeit.

Sein erstes Konzept einer allgemeinen wissenschaftlichen Theorie des Konstruierens entwickelte er bereits in dem Vortrag "Die allgemeinen Gesetze der Konstruktionstechnik" vom 15. Dezember 1937.<sup>60</sup> Diese nur als Umdruck vorliegenden und daher so gut wie unbekanntem Ausführungen zeigen deutlicher als das spätere Hauptwerk das konstruktionswissenschaftliche Gesamtprogramm Wögerbauers. Angeregt durch den bereits erwähnten Aufsatz Kesselrings vom März des Jahres zielte auch sein Ansatz für eine Methodik des technischen Schaffensprozesses auf eine Verkürzung der langwierigen Erfahrungsakkumulation beim Konstruieren. Doch schien ihm der Weg Kesselrings, über die technische Konstruktionsbewertung Kontrolle über den Konstruktionsprozeß zu erlangen, als nicht gangbar, da es keinen exakten Erfolgsmaßstab gebe, der zahlenmäßig den mit einer neuen Konstruktion erzielten Fortschritt messen könne. Als methodisches Leitbild für die zu schaffende Konstruktionswissenschaft wählte er daher nicht den mathematischen Problemlösungsprozeß, sondern, in Anlehnung an Wilhelm Ostwalds "Lehre vom Erfinden" (1931), die "Psychotechnik".<sup>61</sup> eine Konstruktions- bzw. Gestaltungspsychologie, die sich als Untergruppe der industriellen Psychotechnik begreift, sollten die zur Rationalisierung der Konstruktionsarbeit erforderlichen besonderen Eigenschaften, Anlagen und Verhaltensweisen ermitteln. Er bemängelte ausdrücklich, daß das Konstruktionsbüro von der Psychotechnik keiner Analyse gewürdigt worden sei, während sie doch den Fertigungsbereich von Arbeitsplanung bis zum letzten Handgriff des Arbeiters durchforscht habe. In seinem Plan für die künftige Hochschuldisziplin stellte er die Konstruktionspsychologie an die erste Stelle vor die Konstruktionspädagogik und die technischen Grundwissenschaften. Wögerbauer scheint später selber psychologische Beobachtungen und Befragungen von Konstrukteuren durchgeführt zu haben, jedenfalls beruft er sich gelegentlich auf entsprechende Untersuchungen bei Siemens.<sup>62</sup> Dem psychotechnischen Instrumentarium folgend, bildet die Zergliederung des Arbeitsablaufes in die einzelnen Arbeitsschritte den zentralen Ausgangspunkt für die Analyse der "Mechanik der Denkvorgänge". Wögerbauer formulierte ein 5-Phasen-Modell des Konstruktionsprozesses,

das wesentlich konkreter ist als die früheren Stufenkonzepte von Reuleaux, Engelmeyer, Neuhaus, Kothe und Modersohn und in vielem schon an die heutigen VDI-Richtlinien 2222 und 2221 erinnert.<sup>63</sup>

*Abbildungen aus Wögerbauers "Technik des Konstruierens",  
2. Aufl., 1943, S.78, 85.*

Aus diesem Phasenmodell entwickelte er später in der "Technik des Konstruierens" den umfangreichen "Aufgabenplan", in dem das "System der Verknüpfungen der konstruktiven Gedanken" zu einem Gesamtschema integriert wurde, das der Konstrukteur sukzessiv abuarbeiten habe. Dabei geht Wögerbauer von einer auffälligen "Gleichartigkeit in der Behandlung konstruktiver Aufgaben" aus, jedoch, in bewußter Abgrenzung zu Kesselring, nicht von einem zwangsläufigen Mechanismus:<sup>64</sup> "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."<sup>65</sup> Die Vielfalt möglicher Kriterien und das mathematisch nicht lösbare "Variationsproblem" verhindere eine "Mechanisierung der Konstruktionsarbeit": "Der Mensch kann also nie zur Konstruktionsmaschine dressiert werden, während er wohl zu einem Griffmechanismus abzurichten ist."<sup>66</sup> Angesichts dieser Komplexität der Aufgaben des Konstrukteurs trat bei Wögerbauer an die Stelle des linearen Bewertungsschemas Kesselrings die Metapher eines komplizierten magnetischen Feldes (vgl. die Abbildung auf S.30). Die zentralen Teilaufgaben des Konstruierens, das Finden der Funktion, der Wirkprinzipien, der Gestalt sowie die herstellungsgerechte Werkstoff- und Verfahrensfindung werden als Pole eines komplexen Systems von Feldlinien begriffen, deren Bahnen vom Konstrukteur nacheinander abuarbeiten sind.<sup>67</sup> Mit Hilfe dieses diskursiven Konstruktionsprozesses hoffte Wögerbauer die Aufgabenvielfalt zu strukturieren und methodisch zu beherrschen und auf diese Weise Produktivität und Niveau der Konstruktionsarbeit drastisch zu steigern. Mit Hilfe der wissenschaftlichen Methodik, so versprach es der Schutzumschlag der "Technik des Konstruierens" sollte ein Anfänger innerhalb kurzer Zeit das Niveau eines fortgeschrittenen Konstruktionsingenieurs erreichen und dadurch 60% Zeitersparnis beim Konstruieren erzielen können (vgl. die Abbildung auf S.32).

*Schutzumschlag von Wögerbauers "Technik des Konstruierens",  
1942 und 1943.*

In Wögerbauers Schwanken zwischen einer starken Anlehnung an das psychotechnische Begriffs- und Methodeninstrumentarium und einer Absage an allzu mechanistische und tayloristische Richtungen der industriellen Psychotechnik und der Arbeitspsychologie spiegelt sich der für die frühe, zum Teil aber auch noch spätere Konstruktionswissenschaft typische Widerspruch zwischen Rationalisierungsziel und professionell-berufsständischem Prestigebedürfnis wider: Um dem unzureichenden betrieblichen und beruflichen Sozialprestige der Konstruktionsingenieure Rechnung zu tragen, wurde die Komplexität der schöpferischen Ingenieurleistungen und der quasi künstlerische Charakter herausgestrichen. Die Konstruktionswissenschaft erhielt dabei lediglich die Aufgabe, die Vieldimensionalität der Konstruktionstätigkeit zu explizieren und durch diskursive Methoden erlernbar und lehrbar zu machen. Im Hinblick auf das Rationalisierungsinteresse wurde dagegen das rational-analytische, durchaus zergliederbare und kontrollierbare Wesen der Konstruktionstätigkeit betont. Unter den Bedingungen der Kriegswirtschaft trat vor allem der Rationalisierungsaspekt bei Wögerbauer immer deutlicher in den Vordergrund. Jener Widerspruch ist auch die Ursache dafür, daß er sich nicht zu einer eindeutigen Aussage über den Exaktheitsgrad der künftigen Konstruktionswissenschaft entschließen konnte: Einerseits plädierte er für eine deutliche Abgrenzung gegenüber den exakten Naturwissenschaften, auf der anderen Seite sieht er die Konstruktionswissenschaft in seinem szientistischen Entwicklungsmodell auf dem Wege zu einer nahezu exakten Disziplin, die "bei entsprechendem Ausbau genau so 'exakt'(ist) wie jede andere technische Wissenschaft, wie die Festigkeitslehre oder der theoretische Elektromaschinenbau".<sup>68</sup>

Es ist gerade diese Ambivalenz und Widersprüchlichkeit, die Wögerbauers "Technik des Konstruierens" - gegenüber Kesselrings "Gestaltungslehre" als den interessanteren konstruktionswissenschaftlichen Ansatz erscheinen läßt. Die Durchführung seiner ursprünglichen Absicht, das Konstruieren durch ein methodisches Instrumentarium zu einer schnell erlernbaren Technik zu machen, führte nach und nach zu einer immer stärkeren Ausdifferenzierung des Konstruktionsprozesses in eine Vielzahl von Hauptaufgaben, Teilaufgaben und Problemdimensionen, so daß seine Konstruktionstheorie im Resultat wesentlich komplexer und vielschichtiger angelegt ist als viele der computer- und algorithmorientierten konstruktionswissenschaftlichen Ansätze nach dem Zweiten Weltkrieg.

## **5. Die Konstruktionswissenschaft als "Engpaß-Disziplin" und die Folgen für den Technikgestaltungs-Ansatz**

Die vor allem von Wögerbauer und Kesselring ausgehende wissenschaftliche Konstruktionsmethodik wurde in mehrfacher Hinsicht durch den historisch-gesellschaftlichen Entstehungskontext geprägt. Infolge ihres starken Bezuges zur elektrotechnischen Großindustrie bestand von Beginn an eine starke Ausrichtung auf die

Großserienfertigung und die technisch-ökonomischen Rationalisierungsmuster von Großunternehmen. Darüber hinaus waren beide konstruktionswissenschaftlichen Ansätze wesentlich an den Erfordernissen der NS-Aufrüstung bzw. Kriegswirtschaft mit ihrer chronischen Rohstoffknappheit und dem Arbeitskräftemangel orientiert. Die eminente Bedeutung des Werkstoffsparens bei Wögerbauer und die zentrale Rolle der Materialkosten in Kesselrings Ansatz der Konstruktionsbewertung belegen diesen Zusammenhang. In der personellen Mangelsituation vor und während des Zweiten Weltkrieges entstanden, wurde die Konstruktionswissenschaft dadurch vorrangig zur Engpaß-Disziplin. Die Folge waren vor allem

- eine übergroße Betonung von Rationalisierungszielen im Hinblick auf den Konstruktionsprozeß und von betriebswirtschaftlichen Kriterien bei der Produktgestaltung
- eine zu starke Fixierung auf stringente Ablaufpläne und die "Kontrolle" über den Konstruktionsprozeß
- eine Überbewertung diskursiver Vorgehensweisen und eine Unterbewertung kreativer und heuristischer Methoden im Konstruktionsprozeß
- eine Unterschätzung der Bedeutung und der Komplexität der Neukonstruktion sowie des darin enthaltenen Anteils experimenteller Tätigkeiten
- eine Vernachlässigung von außerökonomischen Konstruktionsentscheidungen und schließlich
- ein Verzicht auf eine empirische Erforschung des realen praktischen Konstruktionsverhaltens zugunsten normativer Theorien und Methodenkonzepte.

Während sich die deutlichen Spuren der rüstungs- und kriegswirtschaftlichen Sparstrategien sowie der nationalsozialistischen Ingenieurideologien in den konstruktionswissenschaftlichen Ansätzen Kesselrings und Wögerbauers mühelos abstreifen ließen, wirkten die von ihnen mit der Konstruktionsmethodik verknüpften Rationalisierungsleitbilder weiter, vor allem in der Konstruktionswissenschaft der DDR und der Bundesrepublik.

Unter dem Druck des massiven Personalmangels in der SBZ bzw. DDR wurden die Vorkriegs-Konzepte einer "Rationalisierung des Konstruierens" hier zuerst wieder aufgegriffen. Die sogenannte Ilmenauer Schule, ein Kreis von Dozenten der Konstruktionslehre an der TH Ilmenau und von Konstrukteuren des Jenaer Zeiss-Werkes um **Friedrich Hansen** (1905-1991) und **Werner Bischoff** (\* 1902) entwickelten ab 1951 in bewußter Anlehnung an Wögerbauer eine Methodik des "Rationellen Konstruierens"<sup>69</sup>, die sehr bald unter dem Leitbegriff "Konstruktionssystematik" propagiert wurde.<sup>70</sup> Dieser Ansatz

zielte, ungeachtet gelegentlicher Apostrophierung des "Schöpfertums" und der Kreativität der Ingenieurarbeit auf eine Demystifizierung und rational-logische Zergliederung des Konstruktionsprozesses: Die Konstruktionssystematik sollte den scheinbar künstlerischen Schaffensprozeß auf "objektive Bedingungen und Gesetze", auf die "generelle Gesetzmäßigkeit der Methodik" und eine logisch bestimmte "zeitliche Reihenfolge der wesentlichen Arbeitsgänge" zurückführen und dadurch eine kontrollierte und effiziente Auffindung der Bestlösung unter der Vielzahl möglicher Lösungen anleiten.<sup>71</sup> Der um systemtechnische und kybernetische Methoden und sowjetmarxistisches Gesetzesdenken erweiterte Ansatz einer "Rationalisierung der schöpferischen Arbeit" erfuhr dann eine nochmalige Zuspitzung mit dem Ende der 50er Jahre einsetzenden Einzug von Rechnern in die Konstruktion. Die rationale Zergliederung komplexer Denkoperationen 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 Maschinisierung des Konstruktionsprozesses. Das Fernziel war dabei nicht mehr nur eine rechnergestützte Konstruktion, sondern eine möglichst weitgehende Durchführung des Konstruktionsprozesses durch den Rechner selbst.<sup>72</sup> Das konstruktionswissenschaftliche "Erbe", szientistisches Gesetzesdenken und vor allem die Computer-Fixierung führten in der DDR zu einem ausgesprochenen Methoden- und Wissenschaftsüberhang in der Konstruktionslehre, die sich immer mehr von den realen Praxisbedürfnissen und -bedingungen entfernte.

In der Bundesrepublik entstand erst am Ende der ersten Wiederaufbauphase wieder ein größeres Interesse an konstruktionswissenschaftlichen Überlegungen. Der Übergang von der "Extensivierung" zur "Intensivierung" der Wirtschaft, der verschärfte Wettbewerb in der EWG und vor allem das knapper werdende Arbeitskräfteangebot führten seit Ende der 50er Jahre auch hier zu einem derart empfindlichen Konstrukteurmangel, daß es in den Jahren 1963/64 zwischen Vertretern der Industrie, des VDI und der Konstruktionslehre zu der berühmten Debatte über den "Engpaß Konstruktion" kam.<sup>73</sup> An ihr nahmen mit Bobek als Promotor und Kesselring als Leiter auch maßgebliche Vertreter der Engpaß-Debatte der 30er und 40er Jahre teil. Erneut wurde für die fehlende Attraktivität des Konstrukteurberufes außer der geringen Bezahlung das schlechte berufliche Ansehen, die Gleichsetzung von Konstruktionsbüro und Zeichenbüro, die Überordnung von Planungs-, Entwicklungs- und Versuchsabteilungen sowie die geistlose Arbeit am Zeichenbrett verantwortlich gemacht. Als motivations- und kreativitätssteigernde Gegenmaßnahmen wurden vor allem die Auflösung des "Bretterwaldes" in kleine Arbeitsteams und eine "Regeneration des Konstruktionsbüros" vorgeschlagen, das künftig wieder "zur geistigen Zentrale des technischen Bereiches" werden sollte.<sup>74</sup>

Und wieder war es vor allem die "Lehre von der Konstruktion", die den "geistigen Gehalt der

Konstruktionstätigkeit" sichtbar machen sollte, um das Selbstwertgefühl der Konstrukteure zu heben und die andererseits zugleich durch eine wissenschaftliche Analyse des Konstruierens die Voraussetzungen für einen rationellen Einsatz der Konstrukteure unter Nutzung der EDV zu schaffen hatte. Im Zusammenhang mit der Engpaß-Diskussion griff man nun auch wieder gezielt auf die Konstruktionsmethodik der Vorkriegszeit zurück, und es kam zu einer intensiven Rezeption der inzwischen in der DDR entwickelten "Konstruktions-systematik".<sup>75</sup> Der erneut auftretende Zielkonflikt der konstruktionswissenschaftlichen Bestrebungen zwischen Motivations- und Kreativitätsförderung und Kompetenzvermehrung auf der einen Seite und einer Elementarisierung und Effizienzsteigerung des Konstruktionsprozesses auf der anderen wurde wieder zugunsten der Rationalisierungsstrategie entschieden. Die Wiederbegründung der wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik als "Engpaß-Disziplin" begünstigte wiederum verkürzte, restriktive Ansätze, die sich an Rationalisierungsmustern der Fertigung orientierten und deren weitestgehende Zielvorstellungen die "rechnerorientierte Theorie des Konstruierens", die "Automatisierung des Konstruktionsprozesses" bzw. die "Konstruktion durch den Rechner" waren.<sup>76</sup> Die empirischen Untersuchungen zur Konstruktionsmethodik, wie übrigens auch zur CAD-Anwendung, belegen jedoch, daß die weitgehenden Rationalisierungsversprechen bislang nicht eingelöst werden konnten.<sup>77</sup> So aufschlußreich und anregend viele Erkenntnisse und Ergebnisse der wissenschaftlichen Konstruktionsforschung für die Konstruktionspraxis auch waren, so wenig konnten sich Konstruktionssystematik bzw. -methodik als geschlossene 'tayloristische' Konstruktionsprogramme und Top-down-Phasenmodelle des Konstruierens durchsetzen.

Dabei engten gerade die Reduktion der komplexen Konstruktionstätigkeit auf die effizienteste Funktions-, Wirkprinzip- und Gestaltfindung sowie die aus den Rationalisierungsleitbildern abgeleiteten logistischen Ablaufschemata und systemtechnischen Entscheidungsprozeduren die konstruktionswissenschaftlichen Möglichkeiten zur Bewußtmachung von Konstruktionsgewohnheiten, zur Kreativitätsförderung, zur Ausweitung von Lösungsspektren und last not least zu einer stärkeren Gebrauchswertorientierung drastisch ein. Das sich speziell in Deutschland herausgebildete Grundmuster der Konstruktionsmethodik förderte besonders das One-best-way-Denken und drängte damit die Reflexion über die Kontingenz technischer Entwicklungen und über eine sozial- und umweltbezogene "Technikgestaltung" zurück.<sup>78</sup> Denn die bewußtseinsschaffende Rationalisierung wurde immer wieder vorschnell der betriebswirtschaftlichen Rationalisierung geopfert.

Obwohl deshalb eine qualitativ ausgerichtete Arbeit- und Technikforschung auf den ersten Blick nur wenige Anhaltspunkte im mainstream der wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik findet, zeigen die vielversprechenden Ansätze von van den Kroonenberg und Rolf-Dieter Weege zur Non-Wast Technology bzw. zum recyclinggerechten Konstruieren, sowie

von J.-H. Kirchner für ein ergonomiegerechtes Konstruieren, wie produktiv sich das Instrumentarium einer sich nicht als Rationalisierungstechnik verstehenden Konstruktionsmethodik für gestaltungsorientierte Zwecke einsetzen läßt.<sup>79</sup> Ihre Methode, dem Konstrukteur den gesamten Produktlebenszyklus und sein ökonomisch-soziales Umfeld sowie das Spektrum kurz-, mittel- und langfristiger Problemlösungstypen mit ihren jeweiligen möglichen Folgen vor Augen zu führen, und ihn dann anstelle der üblichen formalen Ablaufschemata durch den gesamten Problemlösungsprozeß zu begleiten, erweist sich jedenfalls als vielversprechender als der bei Kritikern der wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik üblichen Rückkehr zur "Ingenieurkunst".

Die in der Geschichte der Konstruktionslehre immer wieder zu konstatierende Abwehr von Rationalisierungsansprüchen konstruktionswissenschaftlicher Bestrebungen waren mit ihrem pauschalen Rekurs auf den unberechenbaren, intuitiven, quasi-künstlerischen Charakter der Konstruktionstätigkeit meist ebenso folgenlos für eine arbeits- und umweltorientierte Gestaltung von Technik. Denn mit dem Rückzug auf die Künstlermetapher wurde meist auch das Ziel einer bewußtmachenden Rationalisierung von Konstruktionsverfahren und Gestaltungskriterien fallen gelassen. Neue Wege der Technikgestaltung sind aber, wenn überhaupt, nur durch zusätzliche Reflexionsarbeit zu verwirklichen, und da bieten nicht-reduktionistische Konstruktionsmethodiken wertvolle Anhaltspunkte. Die Voraussetzung für eine derartige Anknüpfung wäre jedoch ein Perspektiven- bzw. Leitbildwechsel in der Konstruktionsmethodik: nicht mehr das aus Wiederholteilen zusammengesetzte, möglichst rationell durchlaufende Werkstück der tendenziell tayloristischen Fertigung dürfte das bewußte oder unbewußte Leitbild der Organisation des Konstruktionsprozesses sein, sondern ein kooperativer, interaktiver Arbeitsprozeß zwischen den verschiedenen beteiligten Qualifikationen sowie ein Aushandlungsprozeß zwischen dem vom Produkt bzw. System tangierten Hersteller-, Nutzer-, Klienten- und Betroffenen-Kollektiven. An die Stelle der Zielvorstellung des "unsichtbaren Fließbandes" mit seiner Arbeitsteilung, Aufgabenzerlegung und Phasenbildung tritt in diesem Leitbild also ein kooperativ-kommunikativer Problemlösungsprozeß, der sich der konstruktionsmethodischen Erfahrungen und Instrumentarien bedient, um die verschiedenen Optionen, humanen und ökologischen Dimensionen und sozialen Ausgestaltungen technischer Systeme systematisch-bewußt und methodisch-kontrolliert zu entwickeln. Ansätze für ein solches alternatives Organisationsmodell des Konstruktionsprozesses finden sich u.a. im Netzmodell des Konstruktionshandelns, im Fachkonzept für die Gestaltung von Prozeßleitsystemen sowie vor allem auch in neueren Ansätzen einer das starre Phasenmodell des Software-Engineering überwindenden Software-Konstruktion.<sup>80</sup> Die historische Aufarbeitung der Entstehung der Rationalisierungsleitbilder der dominierenden Engpaß-Disziplin Konstruktionswissenschaft kann meines Erachtens einen solchen Leitbildwechsel unterstützen.

## Anmerkungen

1. Dieser Beitrag ist eine Ausarbeitung von zwei Vorträgen .. auf dem Workshop des Forschungsverbundes Arbeit und Technik "Ingenieurwissenschaftliche und sozialwissenschaftliche Methoden" im November 1988 und auf dem 34. Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium der TH Ilmenau im Oktober 1989.
2. Vgl. bes. Albert Leyer, Konstruktion erneut zur Diskussion gestellt, in: Konstruktion 33 (1981) 2, S. 45-48; Gerhard Pahl; K.H. Beelich, Erfahrungen mit dem methodischen Konstruieren, in: Werkstatt und Betrieb 114 (1981), 11, S. 773-782; Walter Jordan, Die Diskrepanz zwischen Konstruktionspraxis und Konstruktionsmethodik, in: International Conference on Engineering Design (ICED) '83, 2 Bde., Kopenhagen 1983, Bd. II. S. 487-494; Günter Havenstein, Waldemar Schwarzkopf, Arbeitsbereich Konstruktion, Ergebnisse einer Befragung mittelständischer Unternehmen zu Struktur, Aufgaben und Vorgehensweise, in: VDI-Zeitschrift (VDI-Z) 126 (1984) 20, S. 753-759; W. Schwarzkopf, Methodik-Baukastensystem. Hilfsmittel für den Konstrukteur, in: VDI-Z 128 (1986) 1/2, S. 15-20; M. Myrup Andreasen, Design Strategy, in: ICED '87 Boston 1987, S. 171-178; Klaus Ehrlenspiel, Andreas Rutz, Konstruieren als gedanklicher Prozeß, in: Konstruktion 39 (1987) 10, S. 409-414; Johannes Müller, Möglichkeiten und Ergebnisse der analytischen Darstellung konstruktiver Entwurfsprozesse im aktivitäts- und ereignisorientierten Graph, in: Konstruktion 41 (1989) 25, S. 25-34.
3. Karlheinz Roth, Grundlagen des methodischen Vorgehens beim Konstruieren, In: VDI-Z 121 (1979) 20, S. 996.
4. Vgl. Ulrich Riehm, Einige konzeptionelle Mängel der Konstruktionswissenschaft und ihre Auswirkungen auf CAD, In: ICED '83, Bd. I, S. 314-326.
5. Vgl. die historischen Überblicke in Friedrich Hansen, Konstruktionswissenschaft, Grundlagen und Methoden, München, Wien 1975, S. 13-15; Gerhard Pahl; Wolfgang Beitz, Konstruktionslehre, 2. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York 1986, S. 7-20; Andreas Rutz, Konstruieren als gedanklicher Prozeß, Dissertation TU München 1985, S. 11-33.
6. Ferdinand Redtenbacher, Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus, 2. Aufl., Mannheim 1859. Allgemein zu Redtenbacher siehe Klaus Mauersberger: Jacob Ferdinand Redtenbacher, in: Gisela Buchheim, Rolf Sonnemann (Hg.), Lebensbilder von Ingenieurwissenschaftlern, Leipzig 1989, S. 43-59; ders., Die Herausbildung der technischen Mechanik und ihr Anteil bei der Verwissenschaftlichung des Maschinenwesens, in: Dresdner Beiträge zur Geschichte der Technikwissenschaften, Heft 2 (1980), S. 21ff.
7. F. Redtenbacher, Resultate für den Maschinenbau, 2. Aufl., Mannheim 1852, S. IV (Vorrede zur 1. Aufl.) ("Eine Schule, welche für die Verfolgung der mechanisch-technischen Richtung eine geeignete Vorbildung geben will, darf also durchaus nicht eine einseitige wissenschaftliche Richtung verfolgen, sondern sie muß trachten, alle Kräfte zu wecken und zu üben, welche für den Beruf eines Zeichners, eines Constructeurs, eines Ingenieurs und eines Fabrikanten von Wichtigkeit sind." ebda.); ders., Principien, a.a.O., S. 296.
8. F. Redtenbacher, Die Polytechnische Schule, in: Die Residenzstadt Karlsruhe, Festgabe zur 34. Versammlung der Naturforscher und Ärzte, 1858, S. 140, 151.
9. F. Redtenbacher, Principien, a.a.O., S. 285.
10. Carl L. Moll, Franz Reuleaux, Constructionslehre für den Maschinenbau, 2 Bde.,

Braunschweig 1854, Vorrede zu Bd.1, S. XIII, auch zum vorigen. Vgl. allgemein Carl Weihe, Franz Reuleaux und seine Kinematik, Berlin 1925; K. Mauersberger, Die Herausbildung, a.a.O., S. 25ff.

11. Franz Reuleaux, Lehrbuch der Kinematik, 1. Band: Theoretische Kinematik. Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens, Braunschweig 1875, S. VIII, 10 (Er wolle zeigen, daß "in jedem Erfinden eine mehr oder weniger deutliche logische Gedankenfolge enthalten ist"); ders., Der Konstrukteur. Ein Handbuch zum Gebrauch beim Maschinen-Entwerfen, 4. Aufl., Braunschweig 1882/89, S. XVff. (Die Kinematik als "ursächlicher, gesetzmäßiger Zusammenhang der Bewegungen von Maschinen" ist der Ausgangspunkt der Konstruktion).

12. C. Moll, F. Reuleaux, Constructionslehre, a.a.O., S. 78ff., 83; F. Reuleaux, Theoretische Kinematik, a.a.O., S. 23-27, 39ff. und passim; Vgl. auch Hans-Joachim Braun; Wolfhard Weber, Ingenieurwissenschaft und Gesellschaftspolitik. Das Wirken von Franz Reuleaux, in: Reinhard Rürup, Wissenschaft und Gesellschaft. Beiträge zur Geschichte der Technischen Universität Berlin 1879-1979, 2 Bde., Berlin, Heidelberg, New York 1979, Bd. 1, S. 285-300, bes. S. 288.

13. C. Moll, F. Reuleaux, Constructionslehre, 2. Bd., S. 912-980: "Über den Maschinenbaustil. Ein Beitrag zur Begründung einer Formenlehre für den Maschinenbau"; vgl. auch Braun, Weber, Ingenieurwissenschaft, a.a.O., S. 294.

14. Vgl. dazu Taylors Definition und Erklärung der auf die Versuche in der Midvale Steel Co. im Jahre 1881 zurückgehenden Zeitstudien in: The Present State of the Art of Industrial Management, in: Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Vol. 34, (1912) S. 1197-1200 ("Analytical work of time study": "Divide the work of a man performing any job into simple elementary movements (...) Pick out all useless movements and discard them". "Constructive work of time study": "Add together into various groups such combinations of elementary movements as are frequently used in same sequence in the trade (...)"); Siehe auch Ralph M. Barnes, Motion and Time Study, 4. Aufl., Bombay, London, New York 1958, S. 10-20 und Hans-Joachim Braun, Franz Reuleaux und der Technologietransfer zwischen Deutschland und Nordamerika am Ausgang des 19. Jahrhunderts, in: Technikgeschichte 48 (19-81) 2, S. 112-130. Der Zusammenhang zwischen Reuleaux's Kinematik, die bereits 1876 ins Englische übersetzt wurde, der ersten Nutzung der neuen Filmtechnik für kinematische Beobachtungen und den Anfängen der Time Studies in den USA, die der 1978 verstorbene Hans Ebert untersuchen wollte, sind meines Wissens bisher noch immer nicht erforscht.

15. Riedler, der selbst keine Konstruktionslehre verfaßte, äußerte seine Kritik an den "wissenschaftlich sein sollenden Konstruktionslehren" verstreut in einer Reihe von Aufsätzen und Schriften: Alois Riedler, Das Maschinen-Zeichnen, Berlin 1896, S. 20, 24 (gegen die "doktrinäre Formenlehre"); ders., Zur Frage der Ingenieur-Erziehung, Berlin 1895, S. 10-19, 28f. ("Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften können aber nicht durch einmalige theoretisch-abstrakte Belehrung, sondern erst durch die Anwendung beherrscht werden"); ders., Die Ziele der technischen Hochschulen, in: Zeitschrift des VDI (ZVDI), 40 (1896) 12, S. 301-304; ebda. H. 13, S. 337-346 ("Methoden sind ein oft notwendiges, aber ebenso oft richtigem Sehen der Wirklichkeit hinderliches Hilfsmittel, eine Fessel, nur dem Unselbständigen dienlich. (...) Das herrschende Übel ist die vorstellungslose Allgemeinheit, das Übermaß abstrakter Methoden, die den Ausblick hindern, keine lebendige Anschauung bieten", a.a.O., S. 305). Zu Bach siehe Carl Bach, die Maschinenelemente. Ihre Berechnung und Konstruktion, 2 Bde., Leipzig 1913, Bd. 1, S. Xff.; Gerhard Hochmuth, Carl Julius Bach, in: Naturwissenschaft-

Technik-Medizin-Schriftenreihe 4 (1967) 10, S. 118-128 sowie allgemein zum Methodenstreit im deutschen Maschinenbau: Hans-Joachim Braun, Methodenprobleme der Ingenieurwissenschaft, in: Technikgeschichte 44 (1977) 1, S. 1-18; K. Mauersberger, Die Herausbildung, a.a.O., S. 27ff.

16. Vgl. hier vor allem die Aktivitäten der "Gruppe Konstruktion" des VDI zur Konstrukteursschulung, siehe bes. A. Erkens, Beiträge zur Konstrukteurerziehung, in: ZVDI 72 (1928) 1, S. 17-21;

R. Harm, Die Ausbildung und Fortbildung des Konstrukteurs, in: ZVDI 72 (1928) 29, S. 1027f.; E.A. Kraft, Die Fortbildung der in der Praxis tätigen Konstrukteure, in: Maschinenbau (MB) 7 (1928) 15, S. 705-708.

Die Initiative für "fertigungsgerechtes Konstruieren" ging nicht von den Konstrukteuren, sondern von den Betriebsingenieuren und deren Vereinigung aus. Vgl. u.a. Richard Bruck, Formgebung bei Konstruktionsteilen mit Rücksicht auf wirtschaftlichste Fertigung, in: MB (Gestaltung) 1 (1922) 1, S. 1-6; Fritz Modersohn, Verbürgt werkstattgerechtes Konstruieren den Erfolg?, in: MB 9 (1930) 5, S. 164-166; E.A. Kraft, Konstruktion und Fertigung in Wechselwirkung, in: MB 10 (1931) 17, S. 559-562.

17. Carl Erich Volk, Der konstruktive Unterricht und der Anteil des Konstrukteurs an der Gütererzeugung, in: MB 5 (1926) 9, S. 393.

18. Vgl. bes. Heinrich Menge, Aufgaben und Bedeutung des Konstruktions-Büros in Industrie-Unternehmungen, in: MB 3 (1924) 19, S. 679-691 (Ausgehend von den Grund- und Fachnormen soll die Konstruktionsarbeit künftig auch in "rein organisatorischer oder dispositionstechnischer Art" genormt werden, wobei "1. weitestgehende Ausschaltung von Gedächtnisarbeit angestrebt und 2. zeitlich unbegrenzte subjektive Arbeitsmethoden durch solche mit zeitlich begrenzter objektiv-automatischer Selbsteinstellung derart ersetzt werden, daß sich wiederum zwangsläufig 3. die produktiven Leistungen jedes einzelnen Mitarbeiters stetig zunehmend bis zur Höchstleistung steigern", a.a.O., S. 679); Obering. Ebert, Arbeitsvorbereitung im Konstruktionsbüro, in: MB 6 (1927) 12, S. 595-598; Erich Eichwald, Arbeitsvorbereitung im Konstruktionsbüro, in: MB 10 (1931) S. 461-466; ders., Arbeitsvorbereitung bei der Konstruktion, in: MB 21 (1942) 11, S. 475-478; A. Bolwin, Rationalisierung der Konstruktionsbüros in den Vereinigten Staaten von Amerika, in: MB 10 (1931) 23, S. W 249f.

19. Hans Hartwig Schmidt, Wirtschaftliches Arbeiten im Konstruktionsbüro, in: MB 6 (1927) 8, S. 380f. ("Eine Rationalisierung der Arbeiten des Konstrukteurs kann sich zur Hauptsache nur auf die erforderlichen Vor- und Hilfsarbeiten für die Konstruktion erstrecken. (...) Der weitaus größte Teil der Aufgaben des Konstruktionsbüros umfaßt jedoch die Vorbereitungen für die Konstruktion, Nebenarbeiten oder rein zeichnerische Wiedergabe. Nach Zerlegung dieser Arbeiten in ihre Einzelelemente, ihrer Sichtung und ordnungsgemäßen Aneinanderreihung muß der Arbeitsplan für die wirtschaftlichste Entwicklung der Konstruktion bis zur Werkstattreife aufgestellt werden").

20. Vgl. hierzu u.a. C.W. Drescher, Die austauschbare Fertigung im Elektromaschinenbau, in: Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ) 44, (1923) 18, S. 401-410; Adolf Franke, Massenfertigung und Schulungswesen, in: ETZ 46, (1925) 45, S. 1683-1688 und als erstes Ergebnis des Forschungsprojektes "Geschichte des Konstruierens", Wolfgang König, Konstruieren und Fertigen im deutschen Maschinenbau unter dem Einfluß der Rationalisierungsbewegung, in: Technikgeschichte 56 (1989) 3, S. 191ff.

21. Vgl. bes. Fritz Modersohn, Neue konstruktive Gedanken und fertigungstechnische Fortschritte in ihrer Wechselwirkung, in: 72. Hauptversammlung des VDI in Trier 1934, S. 16; Hugo Wögerbauer, Zum Verständnis der konstruktiven Tätigkeit in der Elektrotechnik, in: ETZ 60 (1939) 40, S. 1163f. Der Vorgang wird zusammenfassend dargestellt bei Hartwig Paulsen, Die Entwicklung der Konstruktion im Maschinenbau im Spiegel technischer Zeitschriften, Magisterarbeit TU Berlin 1988, S. 46ff.
22. Zum Ingenieurmangel vgl. Karl-Heinz Ludwig, Technik und Ingenieure im Dritten Reich, Düsseldorf 1974, S. 271-300.
23. Fritz Kesselring, Konstruieren und Konstrukteur, in: ZVDI 81 (1937) 13, S. 365f. 370f. und 82 (1938) 38, S. 1099f.
24. H. Wögerbauer, Der Konstrukteur in der rationalisierten Industrie, in: Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins (ZÖIAV) 89 (1937) 21/22, S. 149f. ders., Zum Verständnis, a.a.O.; ders., Der Konstruktionsingenieur. Einsatz und Mensch, in: Deutsche Technik, 7 (1939) 3, S. 119-122, Zitat S. 120f.
25. Vgl. F. Kesselring, I. Sihler, Leistungssteigerung und Konstrukteur, in: ZVDI 86 (1942) 41/42, S. 617f.
26. H. Wögerbauer, Das Problem des Konstruierens, in: ZÖIAV 90 (1938) 17/18, S. 122; ders., Die allgemeinen Gesetze der Konstruktionstechnik, Vortrag im österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein, Wien, 15.12.1937, vervielfältigtes Manuskript; ähnlich in: Die Technik des Konstruierens, Berlin 1942, Vorwort und 2. Aufl. 1943, S. III.
27. F. Kesselring, Die 'starke' Konstruktion. Gedanken zu einer Gestaltungslehre, in: ZVDI 86 (1942) 21/22, S. 330; H. Wögerbauer (Die allgemeinen Gesetze der Konstruktionstechnik, a.a.O., S. 4) spricht von einer "Rationalisierung der Konstrukteurarbeit".
28. Vgl. den Nachruf in: ETZ-A 98 (1977) 11, S. 776 und die Akte Kesselring in der Schriften- und Aufsatzsammlung von Mitarbeitern des Hauses Siemens im Siemens-Archiv München.
29. F. Kesselring, Die 'starke' Konstruktion, a.a.O., S. 321; 1938 sprach er noch von einer "Lehre für konstruktive Gestaltung" (Konstruieren und Konstrukteur, a.a.O., S. 365).
30. Vgl. u.a. P. Bendmann, Vergleichende Betrachtungen über die Schaltwertigkeit der gebräuchlichsten Ölschalterkonstruktionen, in: ETZ 44 (1923) 11, S. 235f. W. Hüter, Neuere ausländische Höchstspannungsschalter, in: ETZ 44 (1923) 34, S. 801-809; Wilhelm Höpp (SSW), Betriebssichere elektrische Schaltgeräte, in: ETZ 45 (1924) 5, S. 69 ("Daß es mitunter nicht leicht ist, diese günstigsten Maße rechnerisch zu ermitteln, muß zugestanden werden, daß es aber schließlich alles 'aus dem Handgelenk' oder nach bestehenden 'Mustern' konstruiert wird, ist sicher nicht das beste Mittel, den Fortschritt in der gewünschten Weise zu fördern. Es gibt eine große Zahl von Konstruktionselementen und Formen, die immer wiederkehren, und dafür muß es möglich sein, ebenso sichere Grundlagen zu schaffen, wie es im allgemeinen Maschinenbau längst geschehen ist.");  
W. Estorff, Die Entwicklung der Hochspannungsschaltgeräte in Europa, in: ETZ 59 (1938) 44, S. 1186 ("In Europa schienen die Konstruktionsprinzipien ebenso verschieden wie die politischen Meinungen zu sein. In der Technik sollte jedoch eine sachliche Überlegung möglich sein (...). Die Einführung der neuen Schaltgeräte hatte eine Umwälzung im Schaltanlagenbau im Sinne

einer Vereinfachung, größerer Übersichtlichkeit und entsprechend erhöhter Betriebssicherheit bei geringerem Kostenaufwand zur Folge"); allgemein zum Schaltgerätebau: Josef Biermanns, "Hochspannungs-Schaltgeräte" sowie Wilhelm Höpp und Alfred Cohn, "Niederspannungs-Schaltgeräte" in: Forschen und Schaffen. Beiträge der AEG zur Entwicklung der Elektrotechnik bis zum Wiederaufbau nach dem Zweiten Weltkrieg, 3 Bde., AEG Berlin 1965, Bd. 1, S. 357-395.

31. W. Höpp, ebda; F. Kesselring, Die konstruktive Entwicklung des Expansionsschalters, In: Bulletin des Schweizerischen Elektro-Technischen Vereins 22 (1931), Sonderdruck im Siemens-Archiv und vor allem ders., Zehn Jahre Expansionsschalter, In: ETZ 61 (1940), S. 509-515.

32. Reisebericht der Herren Dr. F. Kesselring und Steinbach über ihre Reise nach USA vom 1. Oktober bis 19. November 1937, Berlin-Siemensstadt 30.9.1938, im Siemens-Archiv SAA Lh 607. In dieser vergleichenden Untersuchung über technisch-wirtschaftliche Vor- und Nachteile aller wichtigen Konkurrenzfabrikate kam man zu dem erstaunlichen Resultat, daß die Westinghouse-Produkte - trotz des Fehlens der Siemens'schen Vorkalkulation anhand von Konstruktionszeichnungen - durchweg bessere Werte beim Preis und Raumbedarf aufwies.

33. Vgl. den Überblick über die Aktivitäten der Arbeitsgemeinschaft der Betriebsingenieure, in: Werkstoffersparnis im Betrieb, in: Maschinenbau - Der Betrieb MB 13 (1934) 15/16, S. 405.

34. F. Kesselring, Die 'starke' Konstruktion, a.a.O., S. 327; vgl. auch die Ergänzungen zu dem Aufsatz, in: ETZ 86 (1942) 49/50, S. 751f. "Die statistischen Erhebungen, die zu dem Gestaltungsgesetz führten (...) gründeten sich zunächst im wesentlichen auf elektrotechnische Erzeugnisse (...)." Aufgrund neuerer Untersuchungen könne das Gesetz auch auf chemische Apparate, Verbrennungsmotoren und Werkzeugmaschinen ausgedehnt werden. Wegen dieser statistischen Forschungen beanspruchte Kesselring, die "Kopplung zwischen Material- und Lohnkosten" empirisch nachgewiesen zu haben.

35. Zur Entstehung der Wertanalyse in der Abteilung Purchasing and Transportation der General Electric Company unter H.L. Erlicher während des Zweiten Weltkrieges und vor allem unter Lawrence D. Miles ab 1947 vgl. W.L. Gage, Value Analysis, London, New York 1967, S. 1-8; Jürgen Stange, Wertsteigerung durch Wertanalyse, Frankfurt a.M. 1980, S. 7-15.

36. F. Kesselring, Die 'starke' Konstruktion, a.a.O., S. 322.

37. F. Kesselring, a.a.O., S. 321.

38. Vgl. F. Kesselring, ebda.: "Jedes Industrierwerk kann aufgefaßt werden als Treffpunkt eines Menschenstromes M-M' und eines Güterstromes. Der Menschenstrom erleidet im Gegensatz zum Güterstrom nur im Laufe von längeren Zeitabschnitten (Jahren, Jahrzehnten) eine Veränderung; hingegen ist es Sinn und Zweck eines Industrieunternehmens, die ankommenden Rohstoffe und Halbzeuge G in möglichst kurzer Durchlaufzeit in die Fertigungserzeugnisse G' umzuwandeln." Vgl. die Abb. auf S. 20.

39. F. Kesselring, a.a.O., S. 327.

40. F. Kesselring, a.a.O., S. 321f.

41. Vgl. bes. F. Kesselring, Konstruieren und Konstrukteur, a.a.O., S. 366 ("Das Gesetz, welches alle Entwicklungen seit Anbeginn unserer Welt regelt, lautet: Das Starke überwindet das

Schwache. (...) Was schwach ist, stirbt, wird vernichtet oder versinkt ins Bedeutungslose. Der Weg aller Entwicklung ist der Weg, den das Starke geht oder, auf die Menschen bezogen, den der Starke geht"); ders., Die 'starke' Konstruktion, a.a.O., S. 322f., Das Zitat auf S. 323.

42. F. Kesselring, Technische Kompositionslehre. Anleitung zu technisch-wirtschaftlichem und verantwortungsbewußtem Schaffen, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1954, bes. S. 246ff., 259ff.

43. Jeffrey Herf, Reactionary Modernism. Technology, Culture, and Politics in Weimar and the Third Reich, Cambridge, London 1984, Kap. 1, 7 und 8; siehe hierzu auch Ludwig, Technik und Ingenieure im Dritten Reich, Kap. 2 und 3.

44. Diese Angaben verdanke ich Mitteilungen der Familie H. Wögerbauers.

45. So beschrieb er das Ziel seiner Dissertation folgendermaßen: "Während für alle Bau- und Betriebsarten elektrischer Maschinen ausreichende Berechnungsunterlagen vorhanden sind, ist die Konstruktion des Impulsfeldmotors ganz auf das technische Gefühl des Konstrukteurs und auf seine Vorbilder aufgebaut. Die vorliegende Arbeit stellt einen Versuch dar, Dimensionierungsbeziehungen herzustellen, die wenigstens eine gute Vorausberechnung ermöglichen, bzw., wo selbst dies versagt, eine Unterlage für planmäßiges Probieren liefern." (H. Wögerbauer, Die Dimensionierungsgleichungen des Impulsfeldmotors, Dissertation TH Wien, September 1936, S. 2)

46. Vgl. A. Franke, Massenfertigung, a.a.O., S. 1683ff., bes. S.1686 ("Die Konstruktionselemente der feinmechanischen Massenfertigung unterscheiden sich wesentlich von denen des Maschinenbaus. Während bei den Maschinenelementen die Festigkeit in erster Linie zu berücksichtigen ist, werden die Elemente der feinmechanischen Technik mehr nach den Gesichtspunkten der wirtschaftlichen Fertigung gestaltet. Man kommt infolgedessen durch Verkleinern der Abmessungen der Maschinenelemente nicht auf die der feinmechanischen Technik"); Werner Kniehahn, Konstruktionsaufgaben der feinmechanischen Technik und ihre wirtschaftliche Lösung, in: Zeitschrift für Feinmechanik und Präzision (FuP), 39 (1931) 1, S. 2ff.; ders., Aus der feinmechanischen Technik, in: ZVDI 76 (1932) 2, S. 25; Evers (Siemens-Direktor), Arbeitersparnis durch konstruktive Maßnahmen in der Massenfertigung, in: FuP 47 (1939) 4, S. 49ff.

47. H. Wögerbauer, Grundsätze der Konstruktion schwachstromtechnischer Geräte, in: Elektrotechnik und Maschinenbau (EuM), 56 (1938) 19, S. 245-250; Sieker, Über die Grenzen der 'Feinmechanischen Technik', in: FuP 50 (1942) 1/2, S. 11f; Alfred Kuhlenkamp, Konstruieren und Entwerfen in der Feinwerktechnik, in: Konstruktion 15 (1963) 9, S. 349-356; Werner Linder, Feinwerktechnik, Würzburg o.J., S. 17f.

48. A. Franke, Massenfertigung, a.a.O.; R. v. Voß, Fachschulen für die feinmechanische Technik, in: ZVDI 67 (1923) 8, S. 191f.

O. Richter, Konstruktionselemente der feinmechanischen Technik, in: MB 3 (1924) 20, S. 723f. ders., Feinmechanik und Maschinenbau, in: ZVDI 68 (1924) 42, S. 1089-1092; O. Richter, R. v. Voß, Bauelemente der Feinmechanik, Berlin 1929. Richter war von 1922 bis 1953 Oberingenieur im Wernerwerk für Fernmeldegeräte, v. Voß von 1904 bis 1944 im Konstruktionsbüro des Wernerwerkes für Meßgeräte.

49. H. Wögerbauer, Eine Konstruktionslehre der Fernmeldetechnik, in: Zeitschrift für Fernmeldetechnik, Werk- und Gerätebau (FWG) 18 (1937) 10, S. 153f. ("Zunächst muß der Plan

einer universellen Theorie zurückgestellt und eine in sich abgeschlossene Konstruktionslehre für ein Teilgebiet der Feinwerkindustrie geschaffen werden"); ders., Zur Entwicklung einer feinwerktechnischen Gestaltungslehre, in: FuP 45 (1937) 15, S. 218.

50. H. Wögerbauer, Eine Konstruktionslehre der Fernmeldetechnik, a.a.O., S. 154 ("Eine 'allgemeine feinwerktechnische' Konstruktionslehre kann dann bei Vorliegen mehrerer solcher 'Monographien' unschwer aus dem vorhandenen Stoff zusammengestellt werden").

51. H. Wögerbauer, a.a.O.; ders., Grundsätze der Konstruktion, a.a.O.; ders., Konstruktive Probleme aus der Fernmeldetechnik, In: VDE-Fachberichte 11 (1939), S. 33-36; ders., Die Konstruktion in der Schmalfilmtechnik, In: Kinotechnik 21 (1939) 7, S. 175-178.

52. Vgl. hierzu Hartmut Petzold, Rechnende Maschinen (Technikgeschichte in Einzeldarstellungen, Bd. 41), Düsseldorf 1985, S. 134-137, 169-172; Rudolf Franke, Eine vergleichende Schalt- und Getriebelehre. Neue Wege der Kinematik, München, Berlin 1930; ders., Vom Aufbau der Getriebe. Eine neue, die Getriebe aller technischen Gebiete einheitlich zusammenfassende Lehre für Konstrukteure und Studenten, Berlin 1943-51.

53. H. Wögerbauer, Eine Konstruktionslehre der Fernmeldetechnik, a.a.O., S. 153.

54. Vgl. bes. R. v. Voß, Bauelemente und Gestaltung im Feingerätebau, in: FuP 46 (1938) 6, S. 85f.; ders., "Konstruktionselemente" und "Bauelemente" in einer Konstruktionslehre der Feinwerktechnik, in: ebda., 48 (1940) 9, S. 99f; ders., Die Systematik der "Bauelemente" für Geräte der feinmechanischen Technik, in: ebda., 51 (1943) 23/24, S. 287-291.

55. H. Wögerbauer, Technik des Konstruierens, 2. Aufl., 1943, S. 165.

56. H. Wögerbauer, Eine Konstruktionslehre der Fernmeldetechnik, a.a.O.; ders., Zur Entwicklung einer feinwerktechnischen Gestaltungslehre, in: FuP 45 (1937) 15, 213-218; vgl. auch ders., Die herstellungswirtschaftliche Ausrichtung des konstruktiven Denkens, in: Werkstatttechnik und Werksleiter 33 (1939) 15, S. 369-373.

57. H. Wögerbauer, Eine Konstruktionslehre der Fernmeldetechnik, a.a.O., S. 155; ders., Technik des Konstruierens, a.a.O., S. 71.

58. Vgl. die Ankündigungen des "Taschenbuchs" im Anhang der 1. Aufl. der "Technik des Konstruierens" von 1942 und R. v. Voß, "Konstruktionselemente", a.a.O., S. 99f. (R. v. Voß verwies auf den "in Vorbereitung befindlichen Leitfaden" mit der Bemerkung, Wögerbauer habe zu recht betont, "daß das Gesamtgebiet der feinmechanischen Industrie zu weit ist, als daß es ohne Schwierigkeiten von einem einzelnen umspannt werden könnte" und daß man daher mit der "Konstruktionslehre für ein Teilgebiet" beginnen müßte).

59. Vgl. bes. H. Wögerbauer, Leitgedanken einer konstruktiven Systematik der Werkstoffe, in: FWG 21 (1940) 2, S. 17-22 (Die "Systematik" wird hier ausdrücklich als das "im gegenwärtigen Zeitpunkt wichtigste Teilgebiet der Konstruktionslehre" bezeichnet); ders., Sparstoffe im Feingerätebau, in: FuP 48 (1940) 14, S. 151-156 (Die "Aufgabe des Werkstoffsparens" darf (...) vor allem nicht als vorübergehende Notmaßnahme betrachtet werden"); ders., Werkstoffsparen. Die technischen Zusammenhänge, Widerstände und Fortschritt, in: MB 19 (1940) 8, S. 321-324; ders., Werkstoffumstellung bei Fernmeldegeräten, in: ETZ 61 (1940) 49, S. 1104-1111. Ende 1940 wurde Wögerbauer vom Reichsminister für Bewaffnung und Munition

für die Rüstungsbetriebe zum Sparstoffkommissar berufen und publizierte in dieser Eigenschaft eine Reihe weiterer Aufsätze, Vorträge und Zeitungsartikel.

60. Umdruck des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins, Wien.
61. H. Wögerbauer, a.a.O., S. 3ff. (Die "Konstruktionswissenschaft muß demnach als wichtigstes Einzelforschungsgebiet die Konstruktionspsychologie, ferner die Konstruktionspädagogik und die rein technischen Grundwissenschaften umfassen. (...) Die Gestaltungspsychologie ist eine praktische wissenschaftliche Anwendung der Psychologie. Sie könnte als Untergruppe der industriellen Psychotechnik betrachtet werden (...)). Der Vortrag enthält, wie auch spätere Arbeiten, deutliche Entlehnungen aus Wilhelm Ostwald, die Lehre vom Erfinden, in: FuP 40 (1932) 10, S. 165-169.
62. H. Wögerbauer, Der Konstruktionsingenieur. Einsatz und Mensch, in: Deutsche Technik 7 (1939) 3, S. 119-122, zum Bericht über psychotechnische Untersuchungen "in einem großen Konstruktionsbüro der fernmeldetechnischen Industrie" siehe S. 121f. ders., Ingenieurbetätigungszweige in der industriellen Praxis, in: Berufsausbildung in Handel und Gewerbe, 14 (1939) 8, S. 241; ders., Das Konstruieren in der Fernmeldetechnik, 5 Seiten, Manuskriptdruck des Konstruktionsbüros Wernerwerk F, Berlin-Siemensstadt o.J. ("Statistische Untersuchungen zeigen, daß nahezu 50% aller konstruktiven Arbeiten im Konstruktionsbüro des Wernerwerkes F der Siemens & Halske AG schöpferische Entwicklungsarbeit darstellen". Die "fernmeldetechnische Gestaltung" verlaufe aber nicht willkürlich und regellos, sondern im Gegenteil "durch zahlreiche Erfahrungs-Regeln außerordentlich fest geführt (...)", S. 2).
63. H. Wögerbauer, Die allgemeinen Gesetze der Konstruktionstechnik, a.a.O., S. 4f. Zu früheren Phasenmodellen des technischen Schaffensprozesses siehe oben Anm. 12; Peter K. v. Engelmeyer, Über das Entwerfen der Maschinen, in: Civilingenieur, N.F. Bd. 39 (1893) 7, S. 535-554; ders., Der Dreiakt als Lehre von der Technik und der Erfindung, Berlin 1910; Fritz A. Neuhaus, Wirtschaftliches Denken und konstruktive Tätigkeit, in: Werksstattstechnik 3 (1909) 6, S. 294; Erich Kothe, Konstruktion und Betrieb, in: MB 8 (1929) 4, S. 130.
64. H. Wögerbauer, Technik des Konstruierens, a.a.O., S. 71; vgl. auch S. 92 ("Es ist also im allgemeinen nicht möglich, auf eine konstruktive Lösung zwangsläufig, zielsicher hinzusteuern durch Kombinieren gegebener oder hinzuzufügender Voraussetzungen nach bestimmten mathematischen oder sonstigen logischen Denkregeln").
65. Wie Anm. 63, S. 5.
66. H. Wögerbauer, Technik des Konstruierens, a.a.O., S. 84f.
67. Ebda., S. 78f. Wögerbauer rechtfertigte die komplizierte Struktur seines "Aufgabenplanes" bzw. "Strukturplanes" damit, daß es sich um die "Abbildung eines biologischen Prozesses" handle, der sich weder in "einfache Formeln zwängen, noch auch in einfache Schemata bringen" lasse, wiederum eine indirekte Kritik an Kesselring.
68. H. Wögerbauer, Zur Entwicklung, a.a.O., (vgl. Anm. 56) S. 214f. ("Am Anfang steht der vorwissenschaftliche Zustand, in dem nach Gefühl und Hausverstand gearbeitet wird; diese Phase sei mit der Sammlung und Festlegung der Erfahrungen in dem Buch von Richter und v. Voß abgeschlossen; daran schließt sich die planmäßige Erforschung der Ursachen und Zusammenhänge an, die zur letzten Phase der "Gestaltungswissenschaft" führe, der "Anwendung

theoretisch oder empirisch gewonnener allgemeiner Erkenntnisse zur Erzielung einer willkürlich vorherzubestimmenden praktischen Wirkung."). In der "Technik des Konstruierens" (S. VII f.) dagegen begründet er den Titel mit dem vorwissenschaftlichen Charakter der Konstruktionslehre.

69. Vgl. Werner Bischoff, Friedrich Hansen, Rationelles Konstruieren, Berlin (DDR) 1953.
70. Siehe die Überblicke über die Entstehung der "Ilmenauer Schule", In: Friedrich Hansen, Konstruktionssystematik. Grundlagen für eine allgemeine Konstruktionslehre, 3. Aufl., Berlin 1968, S. 5f. (G. Biniek, der 1951 den Begriff "Konstruktionssystematik" prägte, habe unmittelbar auf den "umfangreichen und wertvollen Analysen Wögerbauers" aufgebaut); ders., Konstruktionswissenschaft, a.a.O., S. 13-15 (Von früheren konstruktionswissenschaftlichen Arbeiten sei "nur das Buch von Wögerbauer dem Kollektiv bekannt" gewesen); vgl. auch Johannes Müller, Zur Entwicklung der Konstruktionstechnik im deutschsprachigen Raum nach 1970 unter besonderer Berücksichtigung der Arbeiten in der DDR, in: Konstruktion 40 (1988) S. 221f.; vgl. auch G. Biniek, Konstruktionssystematik, in: Feingeräte-Technik 2 (1953) 3, S. 286-287.
71. F. Hansen, Konstruktionssystematik, a.a.O., S. 16f., S. 21-31.
72. F. Hansen, Konstruktionswissenschaft, a.a.O., S. 68.
73. Viktor Jarosch, Die konstruktiven, betrieblichen und wirtschaftlichen Forderungen und ihre gegenseitige Beeinflussung im Rahmen einer rationellen Fertigung, in: VDI-Z 102 (1960) 14, S. 559ff.; H.J. Ströer, Ingenieurmangel, in: Industrie-Anzeiger 78 (1956) 7, S. 87-89 (Über die "schweren volkswirtschaftlichen Nachteile des Ingenieurmangels"); Friedrich Sass, Über den Mangel an Ingenieuren, insbesondere an Konstrukteuren in der Maschinenindustrie, in: Konstruktion 9 (1957) 10, S. 385-387; Albert Leyer, Konstruktion und Wissenschaft im Maschinenbau, in: Konstruktion 14 (1962) 1, S. 1-6 ("Konstruktion im Zerfall": "Es ist keine Übertreibung, wenn man sagt, daß die Konstruktion hinter der Forschung um Jahrzehnte zurückgefallen ist.");  
Engpaß Konstruktion. Bericht über ein Gespräch zwischen leitenden Persönlichkeiten aus der Industrie (Mai 1963), VDI-Information 9, Düsseldorf 1964; Engpaß Konstruktion. 2. Gespräch. Bericht über ein Gespräch mit Professoren von Hochschulen und Dozenten von Ingenieurschulen (Februar 1964), VDI-Information 10, 1964; Engpaß Konstruktion 3. Empfehlungen an die Technischen Hochschulen, die Ingenieurschulen und die Industrie, VDI-Information 15, 1967; vgl. auch den Rückblick von Wolfgang Beitz, Engpaß Konstruieren. Situation in der Bundesrepublik Deutschland, in: ICED '83, Bd. 1, S. 7f.
74. Vgl. bes. das erste Gespräch "Engpaß Konstruktion", VDI-Information 9, S. 8-10 (E. Ziebart), S. 18f., S. 23f. (Kesselrings Zusammenfassung).
75. Wögerbauer, der zwischen 1949 und 1951 noch in der "Feinwerktechnik" eine Reihe von Artikeln und Kurzbeiträgen herausgebracht hatte, u.a. in Band 54 (1950) 7, S. 182 über "Rationalisierung im Konstruieren", beteiligte sich danach nicht mehr an der konstruktionswissenschaftlichen Diskussion. Seine Position wurde aber ausführlich in der "Konstruktion" von W.K. Strobel gewürdigt ("Modernes, industrielles Konstruieren", 10 (1958)

5, S. 165-173 - Kesselring arbeitete nach 1950 in sein konstruktionsmethodisches Konzept neue westliche Ansätze, vor allem Zwicky's morphologische Methode, ein (siehe: Bewertung von Konstruktionen, ein Mittel zur Steuerung von Konstruktionsarbeit, Düsseldorf 1951; ders., Technische Kompositionslehre, vgl. Anm. 42). Durch seine maßgebliche Beteiligung an den VDI-Aktivitäten zur Propagierung und Normung der Konstruktionsmethoden, insbesondere der Entstehung der Richtlinie 2221, bildete er das wichtigste Kontinuitätsmoment. - Zur Rezeption der DDR-Konstruktionswissenschaft siehe bes. J. Müller, Zur Entwicklung der Konstruktionsmethodik, a.a.O., S. 221ff.

76. Vgl. u.a. Karlheinz Roth, Ausführung echter Konstruktionsarbeit vom Rechner, in: Konstruktion 40 (1988) S. 81 ("... wird mit Nachdruck daran gearbeitet, immer mehr konstruktive Tätigkeiten Schritt für Schritt dem Rechner zu übertragen und von ihm ausführen zu lassen. Damit ist die Hoffnung verbunden, den Engpaß Konstruktion, der immer noch besteht, (...) zu überwinden, aber auch die Hoffnung gegeben, ein größeres Spektrum von optimierten Lösungen schneller zu finden."); Rudolf Koller, Automatisierung des Konstruktionsprozesses für Maschinen-Baugruppen und Betriebsmittel, in: VDI-Z 121 (1979) 10, S. 485 ("Mit der Verfügbarkeit leistungsfähiger elektronischer Datenverarbeitungsanlagen bietet sich die Möglichkeit, auch Konstruktionsprozesse für technische Systeme zu automatisieren.")

77. Vgl. oben Anm. 2; vgl. Wilfried Müller, Dagmar Cords, Werner Peters, Computer Aided Design und Ingenieurarbeit, Universität Bremen, Mai 1990, bes. S. 73ff.

78. Vgl. u.a. Felix Rauner (HG), Gestalten - Eine neue gesellschaftliche Praxis, Bonn 1988; Hans Dieter Hellige, Die gesellschaftlichen und historischen Grundlagen der Technikgestaltung als Gegenstand der Ingenieurausbildung, in: Technikgeschichte 51 (1984) 4, S. 276-292; Peter Berger, Gestaltete Technik, Frankfurt, New York 1991, bes. S. 13-25.

79. H.H. van den Kroonenberg. The Role of Design Education in Non-Waste Technology, in: Non-Waste Technology and Production, Proceedings of an International Seminar Paris Nov./Dez. 1976, United Nations 1978, S. 583-599; Rolf-Dieter Weege, Recyclinggerechtes Konstruieren, Düsseldorf 1981; 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.

80. Vgl. Magdalene Deters, Frank Helten, Holger Pfaff, Arbeitsplatz- und projektbezogene Netzwerke im Konstruktionsprozeß, in: Forschungsgruppe Konstruktionshandeln, Forschungsbericht 1989-1990, TU Berlin 1991, S. D 1-92; W. Ahrens, M. Polke, Netzmodelle als systemtechnische Informationsbasis für die Prozeßleittechnik, in: Automatisierungstechnik 37 (1989) 4, S. 138-144; Christiane Floyd, Outline of a Paradigm Change in Software-Engineering, in: G. G. Bierknes, P. Ehn, M. Kyng (Hg.), Computers and Democracy. A Scandinavian Challenge, Aldershot u.a. 1987, S. 193-210, Reisin, F.-M., Schmidt, G., STEPS - Ein Ansatz zur evolutionären Systementwicklung, in: Jansen, K.-D., Schwitalla, U., Wicke, W. (Hg.), Beteiligungsorientierte Systementwicklung, Opladen 1989.