

Die Zukunft und die Ingenieure

Projektionen zur Dampfturbinenkonstruktion und zum Computereinsatz bei der BBC in der Nachkriegszeit

VON WOLFGANG KÖNIG UND HANS-ULRICH NIEMITZ

Überblick

Retrospective Technology Assessment (RTA) vergleicht Erwartungen hinsichtlich der technischen Entwicklung und ihrer Folgen mit dem tatsächlichen Verlauf. In unserem Beitrag geht es um Zukunftserwartungen der Ingenieure – genauer: um die Projektionen von Konstrukteuren und Ingenieuren der schweizerisch-deutschen BBC zum Dampfturbinenbau in der Nachkriegszeit. Zwei Technikbereiche werden untersucht: die Einführung des Rechners in die technischen Abteilungen und die Rohrleitungsplanung, welche die Verrohrung an den Außenwänden der Turbine für Zwecke der Regelung und Steuerung sowie der Schmierung festlegte. Dabei wurden in der Rohrleitungsplanung die dort verwendeten speziellen Zeichenbretter vom Modellbau und dieser von CAD-Systemen abgelöst. Die Rechnereinführung gestaltete das Rechnungswesen um, evozierte Projektionen zu den Fragen analog oder digital, zentral oder dezentral, lokal oder universell und zu den Auswirkungen auf die Kreativität der Konstrukteure.

Das Ergebnis unserer Studie lautet, dass die BBC-Ingenieure über einen begrenzten Problemlösungshorizont (Hellige) verfügten. Sie dachten in kurzen Zeiträumen und gingen von der ihnen vertrauten Technik aus.

Abstract

Retrospective Technology Assessment (RTA) compares technological forecasting with that what really happened. Our article deals with engineers' expectations on the future development of steam turbines in the post-war period. The particular group considered are the designers of the Swiss-German Brown Boveri Company (BBC). The focus is on the introduction of the computer and on the change in the tubing for the turbines' control and oiling. The work at the tubing department changed from special drawing boards over model building to CAD-systems. The computer transformed engineering computations and raised questions whether to adopt analogue or digital methods, central or decentral solutions, local or universal implementations. Furthermore, engineers argued on the computer's impact on designers' creativity.

The result of the research is that BBC-engineers disposed of a limited horizon of problem solving (Hellige). The focus of their short-term thinking was on that technology they were familiar with.

1. Einleitung

Der Begriff Projektion hat beim Konstruieren eine spezifische Bedeutung. Er meint eine bestimmte Technik des zeichnerischen Entwurfs, welche das Entwurfsteil so eindeutig abbildet, dass es allein aufgrund der Zeichnung hergestellt werden kann. Dagegen mangelt es Projektionen im Sinne von Zukunftsentwürfen in aller Regel an Exaktheit. Sie beschreiben mehr oder weniger genau, was man von der Zukunft erwartet, was man erhofft bzw. was man befürchtet. Solche Projektionen wurzeln in Interpretationen der Gegenwart, gehen aber auch über diese hinaus. Die Differenzen zwischen Gegenwart und Zukunftsprojektionen bilden einen interpretationsbedürftigen Untersuchungsgegenstand. Sie bringen Erfahrungen, Weltbilder, Reflektionen und Phantasien der Projektanten zum Ausdruck, sind also immer subjektive Konstrukte.¹ Häufig sagen Projektionen mehr über die Urheber aus als über die Zukunft.

Methodisch steht diese Arbeit in der Tradition der RTA-Studien.² Retrospective Technology Assessment (RTA), Rückblickende Technikbewertung, vergleicht in der Vergangenheit angestellte Prognosen mit der tatsächlich eingetretenen Entwicklung. Das Ziel solcher Studien liegt darin, Irrtümer bei Prognosen herauszuarbeiten und diese aus den jeweiligen Umständen zu erklären. Damit lässt sich das kritische Bewusstsein gegenüber Projektionen schärfen, und möglicherweise lassen sich strukturelle Schwächen von Projektionen beseitigen oder mildern. Das ändert nichts daran, dass Prognosen immer an unüberwindbare Grenzen stoßen, die in der Offenheit und damit Unvorhersehbarkeit des historischen Prozesses liegen.

Retrospective Technology Assessment stellt eine bislang wenig genutzte Spezialität des Technology Assessment (TA) dar, der Technikbewertung. Technology Assessment entstand in institutionalisierter Form in den USA um 1970 – mit dem Anspruch, die Auswirkungen technischer Projekte auf Umwelt und Gesellschaft abzuschätzen. Heute ist man bezüglich der Ziele vorsichtiger. So will die VDI-Richtlinie 3780 „Technikbewertung – Begriffe und Grundlagen“ einen Beitrag zur Bewusstseinsbildung über den Wert-hintergrund alternativen technischen Handelns leisten. Ähnlich groß ist die Bandbreite der mit RTA verbundenen Ansprüche. Einige Autoren wollen Reflektionsprozesse bei politischen Entscheidungen unterstützen, indem sie diese mit ähnlichen Entscheidungssituationen in der Vergangenheit sowie den Fol-

- 1 Hans Albert, Probleme der Theoriebildung, in: ders. (Hg.), Theorie und Rationalität, Tübingen 1964, S. 3-70, bes. S. 63.
- 2 Joel A. Tarr (Hg.), Retrospective Technology Assessment – 1976, San Francisco 1977; Howard P. Segal, Assessing Retrospective Technology Assessment: A Review of the Literature, in: Technology in Society 4, 1982, S. 231-246; Wolfgang König, Retrospective Technology Assessment – Technikbewertung im Rückblick, in: Technikgeschichte 51, 1984, S. 247-262; Arne Andersen, Historische Technikfolgenabschätzung am Beispiel des Metallhüttenwesens und der Chemieindustrie 1850-1933 (Zeitschrift für Unternehmensgeschichte. Beiheft 90), Stuttgart 1996.

gen der getroffenen Entscheidungen konfrontieren.³ Andere wollen – ähnlich wie die moderne Technikgeschichte – Wechselwirkungen zwischen der technischen Entwicklung und ihren sozialen Kontexten herausarbeiten.⁴ Anderen Studien geht es um die in der Einführungsphase einer Technik stattfindenden Diskussionen und damit um die Technikgenese. Gewarnt wird vor simplen historischen Analogien zwischen der Genese einer älteren und der einer modernen Technik, zum Beispiel zwischen der Entstehung der Eisenbahn und jener der Raumfahrt.⁵ Ein Bündel von RTA-Studien entstand im Rahmen eines von der National Science Foundation Mitte der 1970er Jahre initiierten Programms.⁶ Von diesen steht die Arbeit von George Wise über die Energietechnik der vorliegenden Arbeit am nächsten.⁷ Ebenso wie uns geht es Wise um Aussagen von Experten. Sein Untersuchungsgegenstand ist allerdings allgemeiner, und der Zeithorizont der von ihm untersuchten Projektionen ist weiter als bei uns.

Die Recherchen zu diesem Aufsatz fanden im Rahmen der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft zwischen 1987 und 1992 geförderten Forschergruppe „Konstruktionshandeln. Nicht-technische Determinanten des Konstruierens bei zunehmendem CAD-Einsatz“ statt. In der Forschergruppe arbeiteten mit: Wolfgang Beitz (Konstruktionstechnik), Günter Spur (Fertigungstechnik) zusammen mit Frank-Lothar Krause (Industrielle Informationstechnik) und Dieter Specht (Wissensbasierte Systeme in der Produktionstechnik), Holger Luczak (Arbeitswissenschaft), Arnold Upmeyer (Psychologie), Rainer Mackensen und Bernhard Badura (Soziologie) sowie Hans Poser und Christoph Hubig (Philosophie). Die Ergebnisse unseres Teilprojekts zur Konstruktionsgeschichte sind bereits breit publiziert.⁸ Eine Ausnahme bilden unsere Untersuchungen zu den Projektionen und zum Problemlösungs-

- 3 Vary T. Coates u. Bernard Finn, *A Retrospective Technology Assessment: Submarine Telegraphy - The Transatlantic Cable of 1866*, San Francisco 1979.
- 4 Tarr (wie Anm. 2); Ithiel de Sola Pool, *Forecasting the Telephone: A Retrospective Technology Assessment of the Telephone*, Ablex, Norwood, New Jersey 1983.
- 5 Bruce Mazlish (Hg.), *The Railroad and the Space Program. An Exploration in Historical Analogy (Technology, Space, and Society)*, Cambridge, London 1965.
- 6 A.K. Nelsen u. G. Foster, *A Retrospective Technology Assessment of Management Technology. The Case of the United States Industrial Commission 1898-1902*, Manuskript NSF, Washington D.C. 1977; Joel A. Tarr, Francis Clay Mc Michael, James Mc Curley, Terry F. Yo-sie, Clay Mc Shane u. David Wojick, *A Retrospective Assessment of Wastewater Technology in the United States: 1800-1972*, Pittsburgh 1977; Tarr (wie Anm. 2).
- 7 George Wise, *Past Efforts at Technology Assessment and Prediction: 1890-1940*, in: Tarr (wie Anm. 2), S. 245-264.
- 8 Rainer Mackensen (Hg.), *Konstruktionshandeln. Nicht-technische Determinanten des Konstruierens bei zunehmendem CAD-Einsatz*, München, Wien 1997; Hans-Ulrich Niemitz, *Dampfturbinenkonstruktion bei der Brown Boveri AG & Cie nach dem Zweiten Weltkrieg*, Frankfurt a.M. 1993; Wolfgang König, *Künstler und Strichezieher. Konstruktions- und Technikkulturen im deutschen, britischen, amerikanischen und französischen Maschinenbau zwischen 1850 und 1930*, Frankfurt a.M. 1999; weitere Publikationen in diesen Büchern.

horizont der Konstrukteure. Dies wird an dieser Stelle nachgeholt, wobei Auszüge aus den damaligen Erhebungen mit konstruktionsgeschichtlichen und geschichtstheoretischen Überlegungen verbunden werden.

Gegenstand der Studie sind Projektionen von Konstrukteuren des Unternehmens BBC zur Entwicklung des Dampfturbinenbaus sowie zur Einführung digitaler Rechner. Dabei handelt es sich einerseits um in unterschiedlichen Entstehungszusammenhängen verfasste schriftliche, andererseits um mündliche Äußerungen anlässlich von Interviews, die für diese Studie durchgeführt wurden. Die ausgewerteten schriftlichen Texte spiegeln die Problemzusammenhänge der jeweiligen Zeit wider. Meist wurden sie nicht explizit als Projektionen verfasst, sondern die Zukunft scheint in den Texten implizit auf. Andere Texte lassen sich als rudimentäre Aussagen zum Retrospective Technology Assessment lesen. Ihre Verfasser erklären, weswegen bestimmte Erwartungen nicht eingetroffen sind oder warum es zu überraschenden Entwicklungen gekommen ist. Da solche Äußerungen unabhängig von unserer Untersuchung entstanden sind, besitzen sie einen hohen Quellenwert. In der Sprache der historischen Methodologie handelt es sich um „Überreste“, während die in der Studie erhobenen Interviews „Tradition“ darstellen. Die in den Interviews getätigten Äußerungen sind also mit größerer Vorsicht zu behandeln. Die dabei evozierten Erinnerungen und Erklärungen sind überformt durch die jüngere Vergangenheit und die Gegenwart. Außerdem ist davon auszugehen, dass es den Interviewten um die Legitimation früherer Auffassungen und Handlungsstrategien ging. Die Interviews stellen also bereits verarbeitete, wenn man so will: konstruierte Geschichte, dar. Ihre Bedeutung lag in erster Linie darin, dass in ihnen Differenzen zwischen Zukunftserwartungen und dem tatsächlichen Gang der Dinge benannt wurden, denen dann mit Hilfe schriftlichen Materials weiter nachgegangen werden konnte.

Die Untersuchung konzentrierte sich auf drei Fragenkomplexe:

- (1) das Verhältnis zwischen den Projektionen und der tatsächlichen Entwicklung,
- (2) den Entstehungszusammenhang der Projektionen,
- (3) den in den Projektionen zum Ausdruck kommenden Problemlösungshorizont der Ingenieure.

Diesen Fragen wird an zwei Fallbeispielen nachgegangen: der Rohrleitungsplanung und der Einführung des Digitalrechners in den Konstruktionsabteilungen. Rohrleitungen an Dampfturbinen dienen dem Steuern und Regeln sowie der Schmierung. Elektronische Rechner wurden zuerst für spezifische Probleme eingesetzt, ehe mit der Zeit ihre Datenbestände zusammenwuchsen.

Im Prozess des Konstruierens werden Funktionsanforderungen in eine technische Gestalt in Form einer Zeichnung oder einer anderen Datei ge-

bracht, welche die Fertigung anleitet. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden hierfür eigene Konstruktionsabteilungen eingerichtet, die bald in das Zentrum der Unternehmen rückten.⁹ Die Konstrukteure und Zeichner fertigten bemaßte Schwarz-Weiß-Zeichnungen in orthogonaler Projektion an, welche von der Werkstatt in gegenständliche Produkte umgesetzt wurden. Seit dem späten 19. Jahrhundert entstanden quasi als Gedächtnis der Fabrik umfangreiche Zeichnungsregistraturen. In die gleiche Zeit fällt die Einführung der Zeichenmaschine, bestehend aus Steilbrett und daran angebrachten Zeichengeräten. Die Zeichenmaschine verbreitete sich in den Konstruktionsbüros nur langsam; in den 1930er Jahren dürfte sie zum Standard gehört haben. Seit den 1970er Jahren wurde die Zeichenmaschine durch Computer Aided Design, durch CAD-Systeme, ersetzt.¹⁰

Das Konstruktionsbüro war arbeitsteilig organisiert. Die hierarchische Gliederung reichte vom Chefkonstrukteur über für ganze Maschinen oder für Maschinenteile verantwortliche Konstrukteure bis zu Zeichnern und Pausern für die repetitiven Arbeiten. Die Konstruktion stellte das wichtigste Beschäftigungsfeld für Ingenieure dar.¹¹ In den Jahrzehnten um die Mitte des 20. Jahrhunderts dürften in Deutschland etwa 10% der Konstrukteure eine Hochschulausbildung besessen haben, zwei Drittel kamen von den Ingenieurschulen und der Rest war geringer qualifiziert. In der Zeit des Nationalsozialismus litten die Firmen aufgrund des durch Rüstung und Autarkie verursachten Auftragsschubs unter einem Mangel an Konstrukteuren und Zeichnern. Die Mangelsituation setzte sich in der wirtschaftlichen Aufschwungsphase nach dem Zweiten Weltkrieg fort. So sah sich die schweizerische BBC 1957 veranlasst, eine firmeneigene Konstruktors- und Zeichnerschule ins Leben zu rufen.

Im Maschinenbau bildeten Konstruieren und Berechnen zunächst eine Einheit. Die Konstrukteure verwandten eine Vielzahl von Rechenhilfsmitteln: Rechenschieber, Logarithmentafeln, spezielle Tabellen für mechanische, strömungstechnische und thermische Berechnungen; graphische Hilfsmittel, bei denen sich die Werte direkt ablesen ließen, erfreuten sich großer Beliebtheit.

Im 20. Jahrhundert wurden im Zusammenhang mit Rationalisierungsmaßnahmen mehr und mehr Arbeiten aus dem Konstruktionsbüro ausgelagert.

-
- 9 John K. Brown, *The Baldwin Locomotive Works, 1831-1915. A Study in American Industrial Practice* (Studies in Industry and Society 8), Baltimore 1995; König (wie Anm. 8); John K. Brown, *Design Plans, Working Drawings, National Styles: Engineering Practice in Great Britain and the United States, 1775-1945*, in: *Technology and Culture* 41, 2000, S. 195-238.
 - 10 Erik Arnold, *Computer-Aided Design in Europe* (Sussex European Paper 14), Sussex 1984.
 - 11 Heinrich J. Ströer, *Mehr Technik – mehr Ingenieure. Der Mangel an Maschinenbau-Ingenieuren. Ursache, Umfang, Abhilfe*, Frankfurt a.M. 1957.

gert.¹² Hierzu gehörten die Forschung und Entwicklung, die Materialprüfung, die Normung, die Produktionsplanung, die Kostenkalkulation und spezielle technische Berechnungen.

Die Firma BBC (heute ABB, d.h. Asea Brown Boveri) wurde 1891 in der Schweiz gegründet als Unternehmen zum Bau elektrischer Anlagen, insbesondere solche der elektrischen Energieerzeugung.¹³ Die technischen Leiter gelangten bald zu der Auffassung, dass Dampfmaschine und Dynamomaschine den zukünftigen Anforderungen nicht genügen würden. Die Dampfmaschine konnte als Antriebsmaschine die Drehzahl nicht genau genug halten und ihre Leistungsdichte – ebenso wie jene der von ihr angetriebenen Dynamomaschine – war zu gering. Als Konsequenz konstruierte Charles E. L. Brown einen Turbogenerator und koppelte diesen mit der gerade einsatzfähigen Dampfturbine. Im Jahre 1900 erwarb BBC eine Lizenz des englischen Dampfturbinenpioniers Charles A. Parsons. Dieser Ingenieur und Unternehmer hatte eine mehrstufige Turbine entwickelt, die Brown mit dem Generator zur Turbogruppe oder zum Turbosatz zusammenfasste, eine ideale und auch heute noch aktuelle Kombination. Bereits 1905 nahmen Dampfturbinen eine herausragende Stellung im Fabrikationsprogramm der BBC ein.

Die schweizerische, in Baden ansässige BBC gründete eine Reihe von Tochterfirmen im Ausland. Von diesen erlangte die deutsche BBC, später BBC-Mannheim, die größte Bedeutung. Der BBC-Konzern profitierte von dem einsetzenden „Turbinenboom“, und es gelang ihm, mit der rasanten Turbinenentwicklung Schritt zu halten. Die Leistungseinheiten wurden ständig erhöht, ebenso der thermische Wirkungsgrad sowie Frischdampftemperatur und Frischdampfdruck. 1928 erreichten Turbosätze in Europa 85 MW, in den USA 160 MW Leistung. Nach dem Zweiten Weltkrieg setzte sich diese dynamische Entwicklung fort. In Europa startete man mit 125 MW und gelangte um 1980 zu 1300 MW. Heute baut man im Allgemeinen nur noch Turbosätze von 800 MW, weil sich diese Größe für die existierenden Stromverbundnetze als günstig erwiesen hat. Die Frischdampftemperatur stieg bis in die 1960er Jahre auf 560 Grad, erhöhte sich aber dann nicht mehr. Dieser Wert bildete insofern eine Grenze, als man bei höheren Temperaturen eine teurere und schwerer zu bearbeitende Stahlqualität hätte einsetzen müssen.

- 12 Hans-Ulrich Niemitz u. Hartwig Paulsen, Konstruktionspraxis im deutschen Maschinenbau von 1917 bis 1945, in: LTA-Forschung. Reihe des Landesmuseums für Technik und Arbeit in Mannheim 9, 1992, S. 2-33, hier S. 2f.; Niemitz (wie Anm. 8), S. 15f., 33, 175f. u. 185.
- 13 Zur Geschichte des Dampfturbinenbaus bei der BBC: Albrecht Strobel, Zur Einführung der Dampfturbine auf dem deutschen Markt 1900 bis 1914 unter besonderer Berücksichtigung der Brown, Boveri & Cie. AG Baden (Schweiz) und Mannheim, in: Kaspar Elm u.a. (Hg.), Landesgeschichte und Geistesgeschichte. Festschrift für Otto Herding zum 65. Geburtstag, Stuttgart 1977, S. 442-482; Niemitz (wie Anm. 8).

Das um 1970 festgeschriebene technische Niveau eröffnete die Möglichkeit, für die kleinen Turbinen, die „Industrieturbinen“, Baukastensysteme zu entwickeln. Dramatische Veränderungen der zentralen Parameter Leistung bzw. Größe, Druck und Temperatur erwartete man in diesem Marktsegment nicht mehr. Bei den Großturbinen hielt das Größenwachstum bis in die achtziger Jahre an. Danach begann man auch hier mit der Entwicklung von Baukastensystemen. Die Großturbinen wurden jedoch weiterhin spezifischen Anforderungen angepasst, was aufwendige Konstruktions- und Berechnungsarbeiten erforderte. In dieser Situation erleichterte der in den siebziger Jahren seinen technisch-wissenschaftlichen Anwendungsbereich erweiternde Digitalcomputer den Übergang zum Baukasten.

In der Nachkriegszeit expandierten die Konstruktionsabteilungen aufgrund des Turbinenbooms, der Leistungssteigerungen und der zunehmenden Komplexität der Turbinen. Den parallel hierzu wachsenden Schwierigkeiten begegnete man mit Spezialisierungen, die anfangs einzelne Personen verkörperten, bald ganze Abteilungen. So verselbständigten sich z.B. die Regelung 1950, die Mechanische Festigkeitsrechnung 1955 und die Rohrleitungsplanung 1958. Die Rohrleitungsplanung ging 1962/63 vom Zeichenbrett zum Modellbau über und 1983/84 vom Modellbau zu einem CAD-System, genannt RAPAS. Bis 1970 fanden bei der BBC eine ganze Reihe von Reorganisationen statt, um die mit dem Firmenwachstum und der Turbinennachfrage verbundenen Probleme zu beherrschen. So rief das Unternehmen Entwicklungsabteilungen ins Leben, die sich auch mit anderen Strömungsmaschinen, Gasturbinen und Turboverdichtern, beschäftigten. Um 1970 entwickelte BBC – wie bereits erwähnt – für kleine Turbinen Baureihen bzw. Baukästen. Hieraus resultierte eine Entfremdung zwischen Großturbinen- und Kleinturbinenkonstruktoren. Die schiere Größe der Turbinen, das Auftragsvolumen und die hohe Komplexität ließen es lohnend erscheinen, standardisierte Konstruktionsmethoden einzuführen. Einer der beiden professoralen Autoren des im deutschsprachigen Raum bedeutendsten Buches über Konstruktionsmethoden, Gerhard Pahl, entstammte der BBC.¹⁴ Seit etwa 1980 kann man bei der BBC für den gesamten Turbinenbereich von einer einheitlichen konstruktionsmethodischen Grundlage sprechen. Hierbei spielt der Computer eine wichtige Rolle. Der gesamte Konzern arbeitet mit standardisierten Rechenprogrammen und Konstruktionselementen und nutzt die sich daraus ergebenden Möglichkeiten des teilautomatisierten Konstruierens.

2. Arbeitsmittel in der Rohrleitungsplanung

2.1 Von der Zeichnung zum Modell

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts wurden Dampfturbinen mit Hilfe einer Ölhdraulik über Rohrleitungen gesteuert und geregelt. Zusätzlich benötig-

14 Gerhard Pahl u. Wolfgang Beitz, Konstruktionslehre, Berlin 1977.

ten Turbinen Schmierölleitungen. Die Verrohrung für Steuerung, Regelung und Schmierung bildete bei BBC die Aufgabe einer speziellen Abteilung: der Rohrleitungsplanung. Nach 1950 erhöhten sich die Anforderungen an die Rohrleitungsplanung aufgrund neuer Turbinentypen und des enormen Größenwachstums der Turbinen.

Bis 1962 arbeiteten die Rohrleitungsplaner bei der Firma BBC mit Zeichnungen. Größere und komplexere Turbinen verursachten Probleme bei der zeichnerischen Darstellung. Der Umfang des Darzustellenden wuchs, und der Zeichnungsmaßstab ließ sich nur bis zu einem gewissen Maß verkleinern. Die – konventionelle – Problemlösung bestand in immer größeren Zeichenbrettern. Es handelte sich um Spezialanfertigungen mit seitlicher Aufrollautomatik. Das grundsätzliche Problem blieb jedoch bestehen: Die Zeichnungen verloren an Übersichtlichkeit. Den Konstrukteuren und anderen Mitarbeitern fiel es zunehmend schwer, allein aus der Zeichnung eine räumliche Vorstellung von der Verrohrung zu gewinnen.

Auf diese Problemlage reagierte die BBC 1962 mit der Einführung des Modellbaus. Man kann den Modellbau so interpretieren, dass damit – wenn auch in Form des Modells – an frühere Möglichkeiten der direkten „Konstruktion“ an der Turbine angeknüpft wurde. Als die Turbinen noch vergleichsweise klein waren und eine Probemontage und ein Probelauf im Werk stattfinden konnten, bestimmten die Konstrukteure direkt an der Turbine, wie die Rohrleitungen zu verlegen seien. Seit den frühen 1950er Jahren ließen die Turbinengrößen dieses Verfahren nicht mehr zu. Das Modell holte sozusagen die Vorteile der unmittelbaren Konstruktion an der Turbine wieder zurück. Mit den dreidimensionalen Modellen ließen sich falsche oder umständliche Rohrführungen schnell erkennen und korrigieren.

Der Modellbau kam nicht aus der BBC selbst, sondern von außen. In den USA hatte er sich in den 1950er Jahren beim Bau petrochemischer Anlagen bewährt, und deutsche Firmen wie Lurgi und die BASF übernahmen ihn.¹⁵ Die BBC knüpfte unmittelbar an das der Anlagentechnik entstammende Know-how an, indem sie 1961 einen von der Lurgi kommenden Fachmann einstellte. Dieser baute zusammen mit einem BBC-Konstrukteur, der nicht aus dem Rohrleitungsbau kam, eine neue Abteilung auf und entwickelte eine auf die Firmenanforderungen zugeschnittene Arbeitsmethodik. Der Modellbau entstammte also nicht der Rohrleitungsplanung, sondern die Unternehmensführung kaufte eine Technik ein und ließ sie an die Bedingungen bei BBC anpassen. Die Mitarbeiter der Rohrleitungsplanung wurden mit einer Entwicklung konfrontiert, mit der sie nicht im Geringsten gerechnet hatten.

Mit dem Modellbau verband das Unternehmen eine Reihe von Hoffnungen. Man wollte den Konstruktionsprozess anschaulicher machen. Und man

15 Stefan Rogg, Die Entwicklung des Konstruktionsmodellbaus bei der Aufstellungs- und Rohrleitungsplanung in der chemischen und petrochemischen Industrie (Studienarbeit an der TU Berlin), Berlin 1991, S. 44.

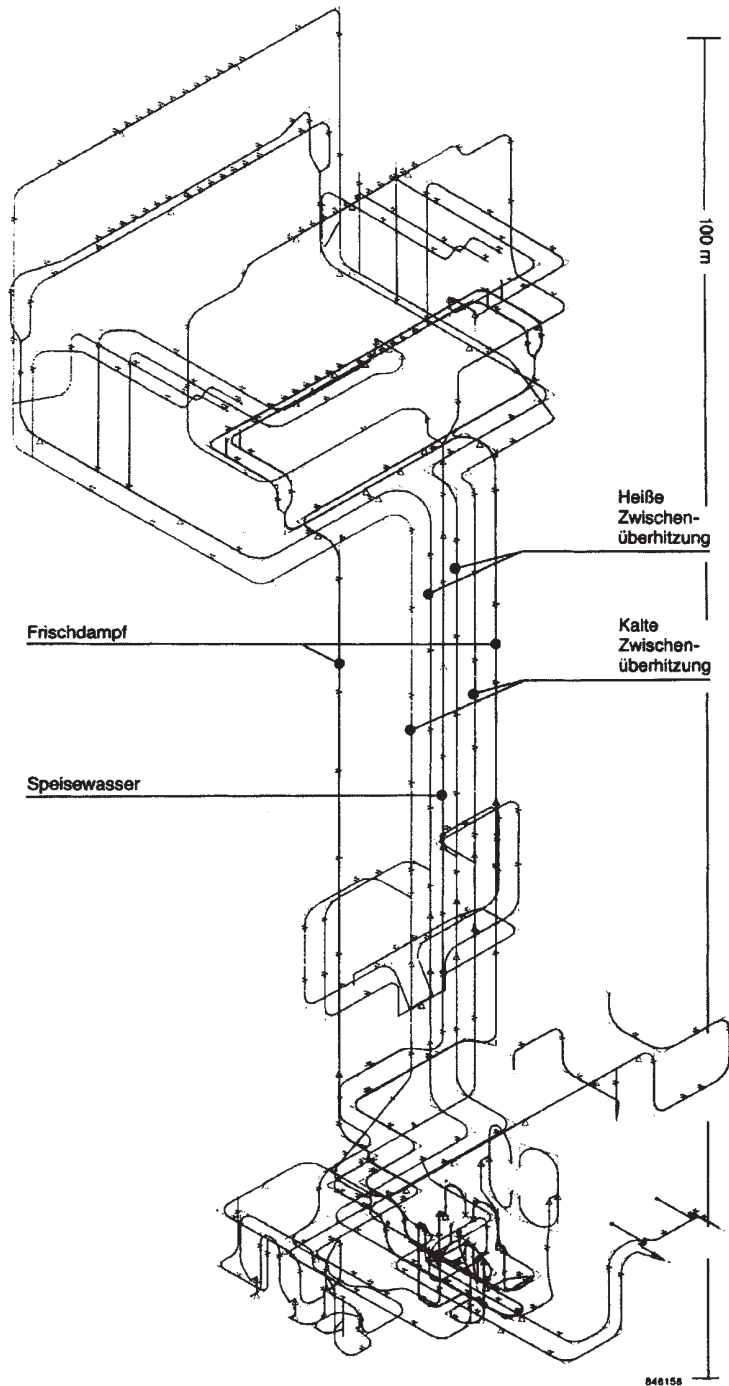


Abb. 1: Isometrische Darstellung von Hochdruckrohrleitungen eines großen Kraftwerkblockes.
Quelle: BBC-Nachrichten 66, 1984, S. 165.

erwartete sinkende Anforderungen an die Qualifikation der Rohrleitungsplaner. In der Expansionsphase der Nachkriegszeit hatte die BBC größte Schwierigkeiten, ausreichend qualifizierte Ingenieure zu gewinnen. Schließlich versprach man sich Erleichterungen bei der Montage der Turbinen. Man stellte sich vor, dass das Modell als Montageanleitung dienen und Zeichnungen ganz entfallen könnten. Beide Erwartungen erfüllten sich nicht.

Tatsächlich kam es in der Rohrleitungsplanung zu einer Arbeitsteilung zwischen der Planung des Modells, dem eigentlichen Modellbau sowie der Herstellung der Fertigungsunterlagen. Der erste und dritte Arbeitsgang blieben die Domäne qualifizierter Rohrleitungskonstrukteure. Die neue Form der Arbeitsteilung diente in erster Linie dazu, den steigenden Auftragseingang zu bewältigen. Entgegen den Erwartungen verschwanden Zeichnungen nicht völlig aus der Montage. Allerdings arbeitete man jetzt im Unterschied zu früher mehr mit isometrischen Zeichnungen. Dabei handelte es sich um quasi-perspektivische und die Lage der Rohre in drei Dimensionen angegebende Zeichnungen. Sie fanden Verwendung für Teilsysteme der Verrohrung. Solche isometrischen Zeichnungen ließen sich auf der Basis der Modellvorlage relativ unproblematisch erstellen. Die Dreidimensionalität des Modells schlug sozusagen auf die Zeichnung zurück.

Eine dritte Erwartung ging in Erfüllung. Der Modellbau verminderte die Fehlerrate bei den Stücklisten und verbesserte die Terminplanung. Das Modell wurde zur Kontrolle der Stücklisten eingesetzt. Vom Modell ausgehend, wurden mehr Bauteile im Unternehmen oder von Zulieferern angefertigt; vorher übliche Fertigungs- und Anpassungsarbeiten auf der Baustelle entfielen. Terminplanung und -kontrolle schienen beim Modellbau am besten angesiedelt zu sein. Die Anfertigung des Modells stellte eine Art Probemontage dar, bei dem sich Termin- und Informationsprobleme antizipieren ließen. Die Tendenz ging also in Richtung eines erweiterten Aufgabenbereichs des Modellbaus, welcher Elemente der Kraftwerksplanung übernahm.¹⁶

Änderungen zeichneten sich mit dem 1970 eingeführten Computer ab. Der Computer übernahm mit der Zeit alle algorithmisierbaren Aufgaben. Das Modell wurde auf seine ursprüngliche Funktion reduziert: die konstruktive Anschaulichkeit zu erhöhen. Die neue Form der Arbeitsteilung wurde 1983 von zwei bei der Lurgi und der Modellbaufirma Ibero beschäftigten Autoren so interpretiert: „Infolge der Entwicklung der Mikroelektronik kann man dem Einsatz von CAD-Anlagen in der Anlagenplanung eine große Zukunft voraussagen. Die Grundlage für eine CAD-Planung wird jedoch weiter das Modell bleiben.“¹⁷ Die Autoren wiesen also dem Computer, in welchem das

16 Eckhard Grundke u. Dieter Reinstein, Planung von Kernkraftwerken mit Modellen, in: BBC-Nachrichten 58, 1976, S. 191-194, hier S. 194.

17 E. Diegelmann u. H. Benesch, Industrie Modelle – Methodik, Technik, Abwicklung, in: 3R international 22, 1983, S. 535-541, hier S. 541.

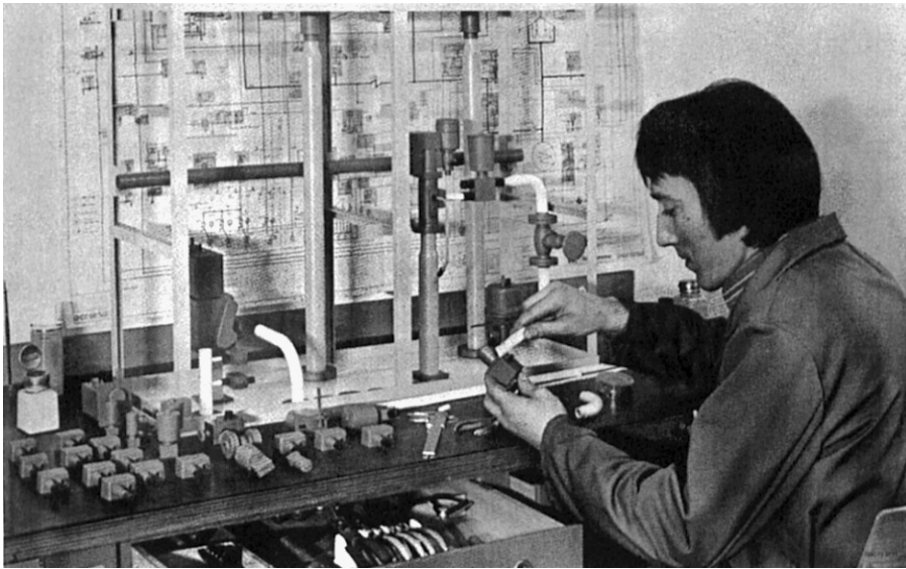


Abb. 2: Der Zusammenbau eines Modells einer Turbinenreglergruppe. Man erkennt das Baukastenprinzip. Im Vordergrund liegt ein Satz Modellteile. Quelle: BBC-Nachrichten 55, 1973, S. 259.

Modell damals noch nicht darstellbar war, eine Hilfsfunktion zu; das Modell interpretierten sie weiterhin als Zentrum der konstruktiven Arbeiten.

Der Modellbau wies jedoch nicht nur Vorteile, sondern auch eine Reihe von Nachteilen auf. Seine Vorteile lagen im Bereich der Konstruktion sowie beim Turbinen- und Anlagenbau selbst. Nachteile traten bei den umfangreichen Dokumentationsanforderungen zu Tage: für die Genehmigung, die Erstellung von Betriebsanweisungen, die Archivierung der Unterlagen für spätere Konstruktionen usw. Das Modell konnte als Unikat diesen Anforderungen nicht gerecht werden. Ein Rückgriff auf zweidimensionale Zeichnungen hätte die ganze Umstellung ad absurdum geführt. Außerdem wäre man damit wieder an die durch den Mangel an Konstrukteuren und Zeichnern gesetzten Grenzen gestoßen. Zwei Techniken schienen eine Alternative zu bieten: der Computer und die Fotografie.

Die Fotodokumentation geriet ins Blickfeld, als der Modellbau von der anfänglichen Drahttechnik zur Vollrohrtechnik überging. Mit Draht ließen sich die Rohrmittellinien darstellen, also die räumliche Situierung der Rohre, aber nicht die Dimensionierung. Vollrohrmodelle dagegen konnte man für dokumentarische Zwecke fotografieren. Allerdings besitzen Fotografien eine Reihe von Nachteilen gegenüber technischen Zeichnungen: Fotografien enthalten keine Maße. Die Graustufen von Fotos werfen Reproduktionsprobleme auf. Änderungsanweisungen lassen sich auf Fotos schwerer anbringen als auf Zeichnungen. Schließlich weisen Fotos perspektivische

Verzerrungen auf, welche ja gerade durch die orthogonale technische Zeichnung ausgeschlossen werden.

Die Projektionen der Modellbauer, wie man diese Schwierigkeiten und Nachteile überwinden könne, gingen in verschiedene Richtungen. Der Leiter des Modellbaus bei der schweizerischen BBC in Baden setzte seine Hoffnungen auf eine die Perspektive weitgehend ausschaltende Fototechnik. Er wollte das Modell mit Hilfe eines Teleobjektivs aus sehr großer Entfernung aufnehmen, um die hintereinander liegenden Teile in einer Ebene abzubilden. Mathematisch ausgedrückt: Wenn man ein Objekt aus dem Unendlichen fotografiert, so wird es in orthogonaler Projektion dargestellt, wie bei der technischen Zeichnung.

Die angestrebte Technik erwies sich jedoch als so teuer, dass ihr Protagonist seinen Hut nehmen musste. Sein Nachfolger gab die hinsichtlich Kosten und Erfolg kaum abschätzbaren Entwicklungsarbeiten auf und griff auf konventionelle Fototechnik zurück. Er ließ einfach alle relevanten Details fotografieren, was sich bei einer Turbinenverrohrung auf bis zu 300 Aufnahmen summierte. Damit entschied er sich für eine konservative quantitativ aufwendige Lösung und gegen eine risikoreiche qualitative Innovation. Außerdem legte er weitere Überlegungen zu den Akten, wie das Einbringen von Minikameras in das Modell oder die Nutzung bewegter Bilder.

Die Entwicklung des Modellbaues wie jene der Fotografie brachten dem Unternehmen Vorteile und Nachteile. Es zeigte sich, dass es einfacher war, die Stärken der neuen Techniken zu nutzen als ihre Schwächen zu überwinden. Lösungen für die Nachteile wurden eher im Kontext radikaler Innova-

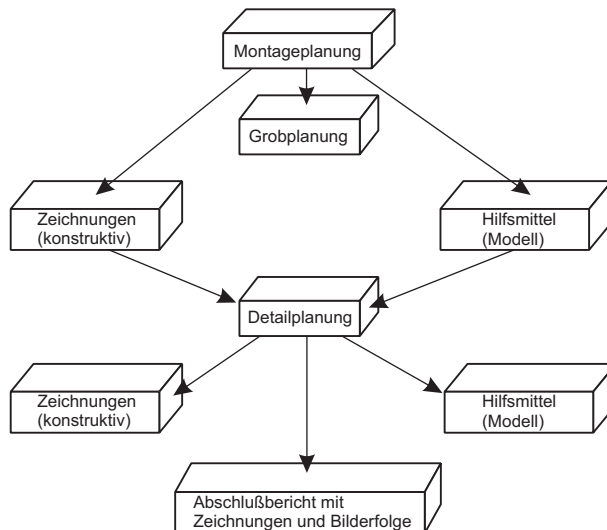


Abb. 3: Die Zusammenhänge bei einer Montage- bzw. Demontagestudie. Quelle: BBC-Nachrichten 58, 1976, S. 192.

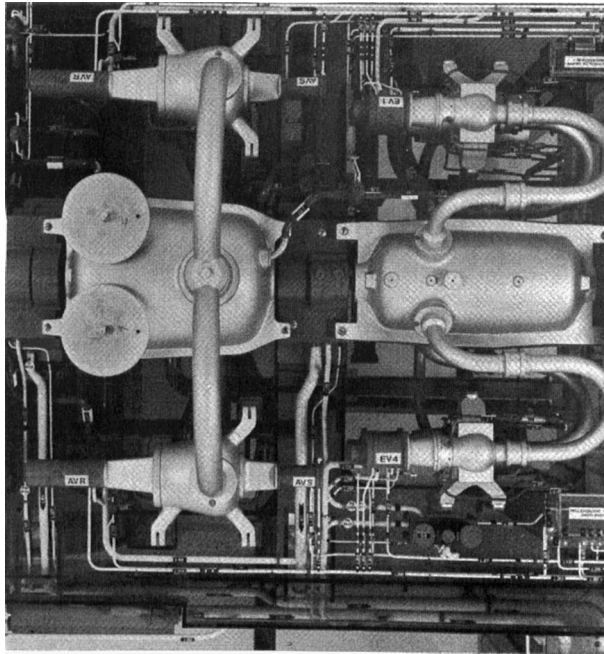


Abb. 4: Detailaufnahme der Rohrleitungen. 300 MW-Turbogruppe mit Zwischenüberhitzung. Aufnahmen dieser Art können leicht bis auf DIN A-0-Format vergrößert werden. Quelle: BBC-Nachrichten 55, 1973, S. 258.

tionen gefunden wie der elektronischen Datenverarbeitung. Als die Rohrleitungsplanung in der ersten Hälfte der 1960er Jahre auf den Modellbau umstieg, waren Computer noch nicht in der Lage, anspruchsvolle Grafiken zu erzeugen und komplexe geometrische Strukturen abzubilden. Bei den Problemlösungsbemühungen der Rohrleitungsplaner spielten sie deswegen nicht die geringste Rolle. Mit Rechnern konnte man damals Daten verwalten und verarbeiten. Überlegungen zum Rechnereinsatz konzentrierten sich bei der BBC dann auch zunächst auf die Datenverarbeitung. 1970 führte die BBC die Dynamische Kapazitäts- und Terminkontrolle (DTK) ein, mit der sich betrieblich relevante Texte und Zahlen verarbeiten ließen. Parallel dazu erhielt die Zeichnungsverwaltung Computer, die den Zugriff auf die in Mikrofilmen niedergelegten Zeichnungen erleichterten. Im Modellbau selbst wurden Computer eingesetzt, um Stücklisten zu speichern und Materialauszüge oder Bestelllisten zu erzeugen.

Überlegungen der Modellbauer zur Computerverwendung bewegten sich im Rahmen der Datenverarbeitung. Es kam ihnen nicht in den Sinn, dass der Computer in der Lage sein könne, das Modell selbst zu ersetzen. Projektionen bezogen sich höchstens auf die Erzeugung einfacher Isometrien mit Hilfe des Computers. Dabei sollten fotogrammetrische oder mit Lasern ausgestattete Anpeilsysteme aus dem Modell Daten gewinnen, die dann durch den

Rechner zu verarbeiten seien. Angeblich kam der Leiter des Modellbaus auf den Gedanken, als er bei einer Fernsehübertragung der Olympischen Spiele sah, wie die Resultate der Weitspringer berührungslos gemessen wurden. Bei der BBC blieb es bei Überlegungen. Die Lurgi stellte entsprechende Entwicklungsarbeiten Ende der 1970er Jahre ein.¹⁸

Die Modelle der Rohrleitungsplanung ließen sich bei der BBC wegen des großen Platzbedarfs nicht aufbewahren. Das Unternehmen übereignete die Modelle meist den Kunden, die sie zur Repräsentation oder für Schulungszwecke nutzten. Bei der BBC verblieben Fotografien der Modelle. Darüber hinaus tauchte der Gedanke auf, von den Modellen Holografien anzufertigen, also dreidimensionale Verkörperungen. Nicht ganz klar war deren Verwendungszweck, da sich Holografien nicht umgestalten und für Veränderungskonstruktionen hätten nutzen lassen. Später stellten übrigens französische CAD-Forscher Überlegungen an, computererzeugte Hologramme oder dreidimensionale Quasi-Hologramme für das Konstruieren im Maßstab 1:1 zu verwenden.

2.2 Vom Modell zum CAD-System

In der Rohrleitungsplanung wurde der Modellbau letztendlich durch ein CAD-System ersetzt. Für den begrenzten technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizont der Rohrleitungsplaner ist es bezeichnend, dass sie keinerlei Überlegungen in Richtung CAD anstellten. Möglicherweise empfanden die Modellbauer ihre Arbeit als so befriedigend, dass sie wenig geneigt waren, über Veränderungen nachzudenken. Als 1984 die Einführung des CAD vor der Tür stand, versuchten die Modellbauer die Entwicklung mit dem Argument aufzuhalten, dass die Kunden mit der weiteren Lieferung von Modellen rechneten. Gegen die innerbetrieblichen Rationalisierungsvorteile von CAD kamen sie damit nicht an.

Hinter der Einführung von CAD standen bei der BBC zwei Entwicklungen: Die gestiegene Leistungsfähigkeit der Rechner und Ansätze für Software-Lösungen versprachen Einsparungen in einer Reihe von Anwendungsbereichen. Zudem hatte die BBC Schwierigkeiten, das gestiegene Auftragsvolumen bei Kraftwerken zu bewältigen. BBC projektierte jetzt auch große Kernkraftwerke, welche zusätzliche Anforderungen stellten. Die Entwicklung eines CAD-Systems für die Kraftwerks- und damit auch für die Rohrleitungsplanung basierte auf 1982 erworbenen Programmsystemen der chemischen Industrie bzw. von deren Softwarelieferanten. 1984 begann die Kraftwerksplanung, mit einem CAD-Programm zu arbeiten, und übernahm in diesem Zusammenhang auch die Rohrleitungsplanung. Damit kehrte sich die Entwicklung wieder um: In den 1960er und 1970er Jahren hatte sich die Rohrleitungsplanung in Teile der Kraftwerksplanung eingegliedert.

18 Rogg (wie Anm. 15), S. 49.

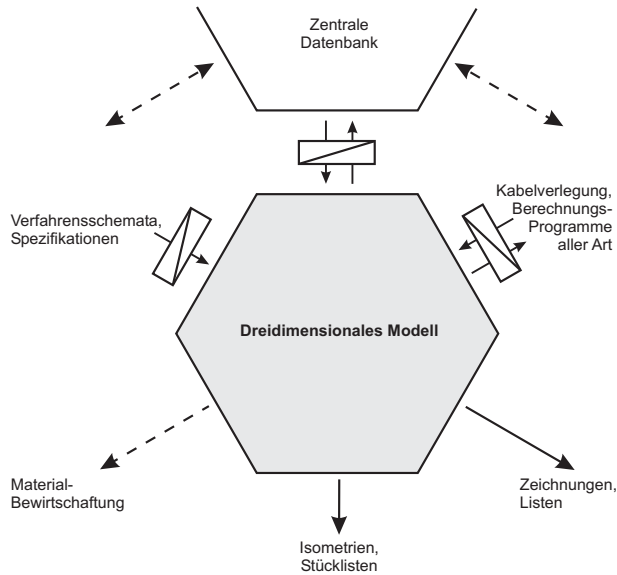


Abb. 5: Durchgängig rechnergestütztes Planungssystem mit dem dreidimensionalen rechnerinternen Modell (RIM) als zentralem Baustein. Quelle: BBC-Nachrichten 66, 1984, S. 85.

Die ersten Überlegungen zur Einführung CAD-ähnlicher Techniken, die in der zentralen Dienstleistungsabteilung des Unternehmens angestellt wurden, hatten noch die beschränkten graphischen Möglichkeiten des Computers zu berücksichtigen. Die Planer dachten zunächst darüber nach, durch den Computer Konstruktionszeichnungen typisierter Maschinen, wie z.B. von Transformatoren, „automatisch“ erstellen zu lassen. Dabei sollte das System selbst keine Zeichnungen anfertigen, sondern errechnete Maßzahlen in Schema-Konstruktionszeichnungen einsetzen. Dies war mit Sicherheit zu realisieren und versprach Einsparungen.

Das schließlich 1984 in der Kraftwerksplanung eingeführte System RAPAS (Rechnergestütztes Anordnungs-Planungs-System) ging als interaktives Konstruktionssystem wesentlich weiter. RAPAS bildet das Turbinenäußere und die Verrohrung in einem „rechnerinternen Modell“ (RIM) ab. Das Modell enthält alle wichtigen Geometrie-, Gestalt- und Lageinformationen sowie darüber hinaus Werkstoffdaten und Informationen über die Schnittstellen mit anderen Bauteilen. Die Daten werden von einem Programm verwaltet, das alle räumlichen und funktionalen Bezüge der Modellteile zueinander kennt und die bei Änderung eines Teils notwendig werdenden Anpassungen vornimmt.

Mit der Einführung des CAD-Systems RAPAS verbanden sich große Hoffnungen. Man glaubte, damit auf lange Sicht die Konstruktion mit der Produktion verbinden zu können. Tatsächlich gelangte man auf diesem Weg später zum Computer Integrated Manufacturing (CIM). Die Protagonisten des CAD

erkannten die Notwendigkeit, die neue Technik von zentraler Stelle aus einzuführen, weil mehrere Abteilungen betroffen waren. In einer Hinsicht griffen die Zukunftsplanungen jedoch zu kurz. Zwar entschied sich der gesamte BBC-Konzern in der Kraftwerks- und Rohrleitungsplanung für das System RAPAS, aber für ihren allgemeinen Maschinenbau wählten BBC-Baden und BBC-Mannheim unterschiedliche CAD-Systeme. BBC-Baden optierte für das System CATIA und BBC-Mannheim für Computervision, was 1989 eine weitere Vereinheitlichung zugunsten von CATIA erforderlich machte.

Die im Vorstehenden deutlich gewordene Beschränkung des technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizonts der Ingenieure rührt nicht zuletzt aus ihren Alltagserfahrungen her. Sie erleben oft genug, dass sich luftige Zukunftsvisionen als nicht realisierbar erweisen und manchmal sogar nahe liegende Innovationen verhindern. Bei der BBC nahmen die Umstellungen in der Kraftwerksplanung so viel Kraft in Anspruch, dass wenig für weiter in die Zukunft reichende Überlegungen blieb. Weitere Schwierigkeiten ergaben sich bei der Suche nach einem vernünftigen Mittelweg zwischen Zentralität und Dezentralität. Zentrale Lösungen können das Unternehmen einheitlicher und schlagkräftiger machen, dezentrale sorgen für mehr Flexibilität und lassen der Kreativität der Mitarbeiter mehr Raum.

Das gewählte CAD-System RAPAS entfaltet seine Vorteile besonders bei Wiederhol- und Variantenkonstruktionen. Dabei wird auf Standardbausteine früherer mit Rechnerhilfe erstellter Konstruktionen, so genannte Makros, zurückgegriffen. Wenn ältere konventionelle Konstruktionen in den Rechner eingebracht werden sollten, verlangte dies einen beträchtlichen Arbeitsaufwand. Die Ingenieure wünschten sich in diesen Fällen eine Art Scanner, welcher aus Zeichnungen oder Fotos ein rechnerinternes Modell erzeugt. Weitere Schwierigkeiten traten bei der Kommunikation zwischen verschiedenen CAD-Programmen auf. Hierfür waren jeweils Schnittstellenprogramme zu erstellen.

Die Einführung von CAD in der Kraftwerksplanung erleichterte die Anfertigung technischer Zeichnungen für Projektausschreibungen und Genehmigungsverfahren. BBC konnte damit seine Chancen auf dem expandierenden Kraftwerksmarkt wahren. Gleichzeitig explodierte der Umfang der bei der Genehmigung von Kraftwerken, insbesondere von Kernkraftwerken, eingeforderten Unterlagen. Hinter der Renaissance der Zeichnung standen also nicht zuletzt von außen kommende wirtschaftliche und politische Anforderungen.

Dem Konstrukteur diente die Zeichnung nicht mehr in derselben Form als Hilfsmittel wie früher. Heute arbeitet der Konstrukteur direkt am Bildschirm und verändert mit seinen Eingaben das rechnerinterne Modell. Die Programme kontrollieren teilweise die Konstruktionsarbeit, und zwar während des Konstruktionsprozesses wie gegebenenfalls nach dessen Abschluss. Die Kontrolle dient der Qualitätssicherung. Darüber hinaus eröffnet sie aber

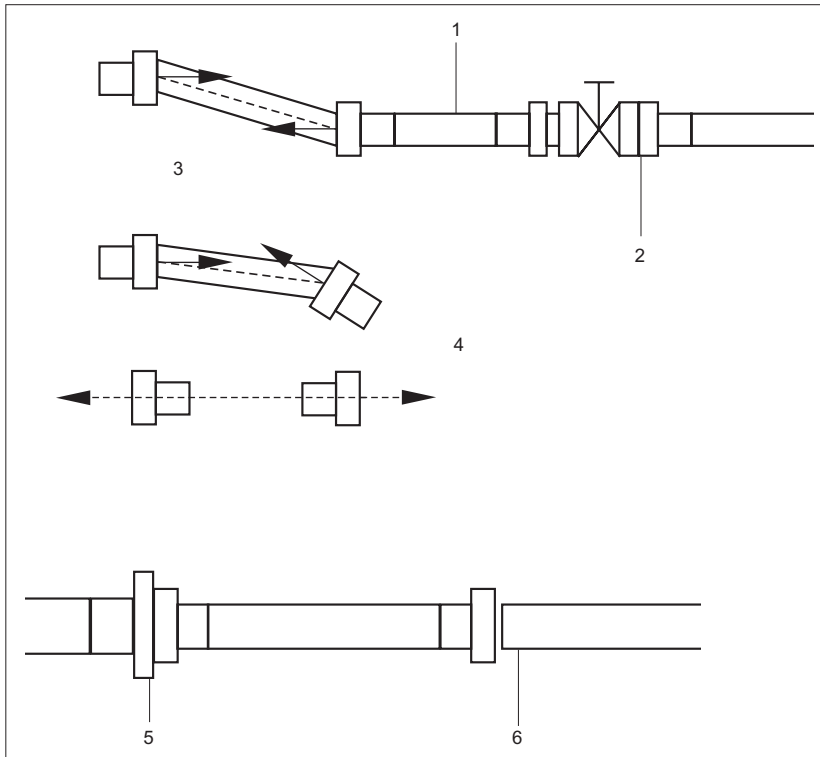


Abb. 6: Beispiele für die Prüfung der Rohrleitungsverbindungen. Quelle: BBC-Nachrichten 66, 1984, S. 86.

auch Möglichkeiten, die Arbeitsleistung der Konstrukteure zu überwachen und zu bewerten.¹⁹

Während der Modellbau von den Konstrukteuren in der Rohrleitungsplanung als Dequalifizierung empfunden wurde, wies CAD den Konstrukteuren in der Kraftwerksplanung erweiterte Verantwortung zu. Eine Denkschrift zu RAPAS betonte 1983, also noch vor Einführung des Systems: „Die zeichnerische Darstellung zerlegt den 3-dimensionalen Raum in ... Ansichten und Schnitte, die vom Ingenieur seiner Vorstellung entsprechend räumlich zusammengesetzt werden.“ Das Zitat hebt einerseits die durch das CAD-System gegebenen gestalterischen Möglichkeiten hervor, andererseits definiert es die Kraftwerksplanung als Ingenieursache. RAPAS grenzte sozusagen die Konstruktion von der Werkstatt und der Montage ab. Jetzt mussten nicht mehr die Konstrukteure ihre Vorstellungen in ein räumliches Modell umsetzen, sondern die Monteure waren wieder gezwungen, Zeichnungen, die originäre Sprache der Ingenieure, zu lesen.

19 U. Möller u. H. Brobeck, RAPAS Rechnergestütztes AnordnungsPlanungs-System. BBC Druckschrift-Nr. D GK 1806 83 D, 1983, S. 11.

Es drängen sich Parallelen zur Arbeit von David F. Noble über die Einführung computergesteuerter Werkzeugmaschinen in den USA auf.²⁰ In den zugespitzten Fassungen seiner Untersuchung behauptet Noble, dass die Ingenieure technische Strategien verfolgten, die ihnen an Stelle der Facharbeiter die Verfügungsgewalt über die Werkstattarbeit sicherten. Das Machtstreben der Ingenieurberufsgruppe habe sich dabei sogar über ökonomische Vorteile hinweggesetzt – oder anders ausgedrückt: ökonomische Nachteile in Kauf genommen. In unserem Beispiel, der Rohrleitungsplanung, ließe sich dies so formulieren, dass die Konstrukteure mit Hilfe von CAD die Verfügungsgewalt über das Konstruieren von den Modellbauern zurückgewannen. Die Einwände gegen eine solche Interpretation sind die gleichen wie gegen Nobles Interpretation der NC-Steuerung. Wie die Computersteuerung erwies sich auch das CAD auf mittlere und längere Sicht als wesentlich kostengünstiger als die technischen Alternativen. Außerdem erlaubten CAD und NC-Steuerung Arbeiten, die über das technische Potenzial des Konstruierens am Reißbrett bzw. der spanenden Metallbearbeitung hinausgingen. Insgesamt zeigen beide Beispiele die Dominanz der ökonomischen Rationalisierung im Unternehmen, ohne dass damit ausgeschlossen wird, dass sich auch Interessen einzelner Gruppen in der Wahl und Ausformung technischer Lösungen niederschlagen.

Bei der BBC förderten Abteilungen das CAD, welche in erster Linie an die Kosten- und Gewinnsituation des Unternehmens dachten. Sie hatten das Unternehmen in seiner Gesamtheit und die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Betriebsteilen im Blick. Dagegen reichte der Problemlösungshorizont der Modellbauer nicht über die unmittelbare Aufgabe ihrer Modelle hinaus. Es lag ganz außerhalb ihres Problemlösungshorizonts, dass die Vorteile des rechnerinternen Modells nicht nur in der Konstruktion, sondern auch in der Fertigung, Dokumentation und an anderen Stellen zum Tragen kamen.

2.3 Zwischenergebnis: Der Wechsel der Arbeitsmittel und seine Folgen

Als Zwischenergebnis lässt sich formulieren, dass sich die Projektionen innerhalb begrenzter technisch-wissenschaftlicher Problemlösungshorizonte bewegten. Diese ergaben sich aus den professionellen Erfahrungen der Ingenieure und ihren zentralen Arbeitsmitteln. Die an bestimmte Arbeitsmittel gebundenen Gruppen zogen in keiner Weise den Wechsel der von ihnen be-

20 David F. Noble, *Forces of Production - A Social History of Automation*, New York 1984; zur Kritik an Noble – mit ganz unterschiedlichen Argumenten: Volker Benad-Wagenhoff, *Arbeitsmaschinen als Vergegenständlichungen von Rationalisierungskonzepten: Dreharbeit im Maschinenbau 1800-1914. Ein Beitrag zur Diskussion um die soziale Konzeptionierung von Technik* (LTA Forschung. Reihe des Landesmuseums für Technik und Arbeit in Mannheim 7), Mannheim 1992; Hartmut Hirsch-Kreinsen, *Nationale Entwicklungspfade der Fertigungstechnik: NC-Technik in den USA und Deutschland*, in: *Technikgeschichte* 71, 2004, S. 305-326.

nutzten Werkzeuge in Erwägung. Dies gilt für die am Zeichenbrett arbeitenden Konstrukteure, die den Modellbau ignorierten, ebenso wie für die Modellbauer, welche die Möglichkeiten des Computers nicht sahen. Nachdem von außen Planungen zur Ablösung des Arbeitsmittels auftauchten, erblickten sie darin – sicher nicht zu Unrecht – in erster Linie eine Bedrohung.

Die Zukunftsplanungen der an ein Arbeitsmittel gebundenen Ingenieure und Techniker konzentrierten sich darauf, die Stärken der vorhandenen Technik auszubauen bzw. ihre Schwächen zu überwinden oder zu kompensieren. Schwächen der Zeichenbretter kompensierte in der Rohrleitungsplanung die Einführung großer Rollbretter. Die Ablösung der Drahttechnik durch die Vollrohrtechnik baute die Stärken des Modellbaus aus. Mit solchen Modifikationen ließen sich die Grenzen des Systems hinausschieben, aber nicht grundsätzlich überwinden. Grundlegende Veränderungen standen meist im Zusammenhang akuter Krisen wie des wachsenden Auftragseingangs, der sich nicht durch Einstellung weiterer Konstrukteure auffangen ließ. Eine systematische Erkundung der mit neuer Technik verbundenen Möglichkeiten fand dagegen kaum statt.

In den geschilderten Fällen erwies sich das technische Krisenmanagement letztendlich als erfolgreich. Mit Modellbau und RAPAS wurden Probleme gelöst, die sich mit der alten Technik nicht bewältigen ließen. Gleichzeitig schufen die neuen Techniken im Unternehmen jedoch zusätzliche soziale Spannungen. Die Konstrukteure interpretierten die Einführung des Modellbaus als Dequalifizierung und verließen teilweise die Abteilung. Dies wurde weder von den Planern noch von den unmittelbar Betroffenen antizipiert.

3. Der Computer: Erwartungen und Realität

Mit den digitalen Rechnern und ihrem Einsatz in Wirtschaft und Gesellschaft verbanden sich in der breiten Öffentlichkeit zahlreiche Hoffnungen und Ängste. In den Unternehmensleitungen sah man dagegen vor allem das in den Computern liegende Rationalisierungspotenzial. Bislang hatte sich die Rationalisierung vor allem in der Produktion abgespielt, jetzt schien auch die Verwaltung Rationalisierungsmaßnahmen zugänglich. Zudem versprach man sich eine größere Genauigkeit und weniger Fehler in der Konstruktion und damit eine technische und ökonomische Optimierung.

Die Ängste verhielten sich dazu spiegelbildlich. Rationalisierung mit Hilfe des Computers werde Arbeitslosigkeit hervorrufen. Eine Taylorisierung der Kopfarbeit werde auf breiter Front zu Dequalifizierungen führen. Kreative Arbeit werde an Wert verlieren und teilweise von der Maschine übernommen werden. Die schlimmsten Befürchtungen summierten sich zur Vision einer algorithmisierten seelenlosen Welt.

Weniger globale und spektakuläre Auswirkungen der Computertechnik traten demgegenüber in der öffentlichen Diskussion in den Hintergrund. Wenig rezipiert wurden Hinweise, dass der Computer Berechnungen wirt-

schaftlich machte, bei denen man sich bislang mit Annäherungen beholfen hatte. Hierbei waren allerdings auch Experten nicht vor gravierenden Irrtümern gefeit, wie die Diskussion um Vor- und Nachteile von Analog- und Digitalrechnern zeigt.

3.1 Analog oder digital?

Bei der BBC wurden eine Zeitlang analoge und digitale Rechenprinzipien nebeneinander verwandt. Die BBC-Baden entwickelte 1953 einen großen Analogrechner, mit dem sich das Verhalten von Stromnetzen simulieren ließ. Zudem kam der Rechner für thermodynamische und strömungstechnische Aufgaben zum Einsatz sowie für Schwingungs- und Festigkeitsrechnungen. Allerdings benutzte man ihn nur in wichtigen und schwierigen Ausnahmefällen, weil jede Rechnung aufwendig und damit teuer war. Die später im Badener Rechenzentrum eingesetzten Digitalrechner dienten zunächst vor allem der Lohnabrechnung sowie Bilanzrechnungen und drangen erst später in das technische Rechnungswesen ein. Aufgrund der guten Beziehungen zur TH Darmstadt griff man bei BBC-Mannheim früher zum Digitalrechner. Seit 1954 führten die Mannheimer Ingenieure technische Rechnungen digital durch. Sie erkannten schnell, dass Digitalrechner nicht nur genauer, sondern auch einfacher zu bedienen waren. Anschaffungen hingen damals in erster Linie von der Preisentwicklung ab. Analoge Rechner wurden mit der Zeit in wenige Anwendungsnischen zurückgedrängt.

Erleichtert wurde die Einführung des Digitalrechners durch die wachsende Zahl von Computersprachen. Die Bedeutung der Computersprachen lässt sich mit der des Kalküls in der Mathematik vor etwa 400 Jahren vergleichen. Beide konnten angewandt werden, ohne dass man zugrunde liegende Prinzipien genau zu verstehen brauchte. So wurden komplizierte Modelle bzw. Programme entwickelt und genutzt, die den Betrieb technischer Anlagen wiedergaben oder das Stoff- und Strömungsverhalten des Wassers oder Wasserdampfes.

Hier soll der Übergang vom analogen zum digitalen Rechner am Beispiel des Steuerns und Regelns dargestellt werden. Steuerung bedeutet, durch einen Eingriff von außen technische Größen, z.B. Umdrehungszahlen, zu verändern. Solange es keine Regelungen und Computer – hierfür als Prozessrechner eingesetzt – gab, geschah dies unmittelbar durch die menschliche Hand. Regelung bedeutet, dass ein zusätzliches technisches System die Maschine zwingt, vorgegebene Werte einzuhalten. Dabei kann, wenn ein Prozessrechner als Regler eingesetzt wird, dieser wiederum den von außen vorgegebenen Wert sozusagen automatisch verändern, d.h. die „Regelung steuern“. Dies geschieht z.B. beim An- und Abfahren der Turbine, aber auch, wenn im Betrieb andere Laufzustände erwünscht sind. Solche Steuerungseingriffe erfolgten früher per Hand, nun vermittelt durch den Prozessrechner, der wiederum entweder durch ein Programm oder per Hand angeleitet wurde.

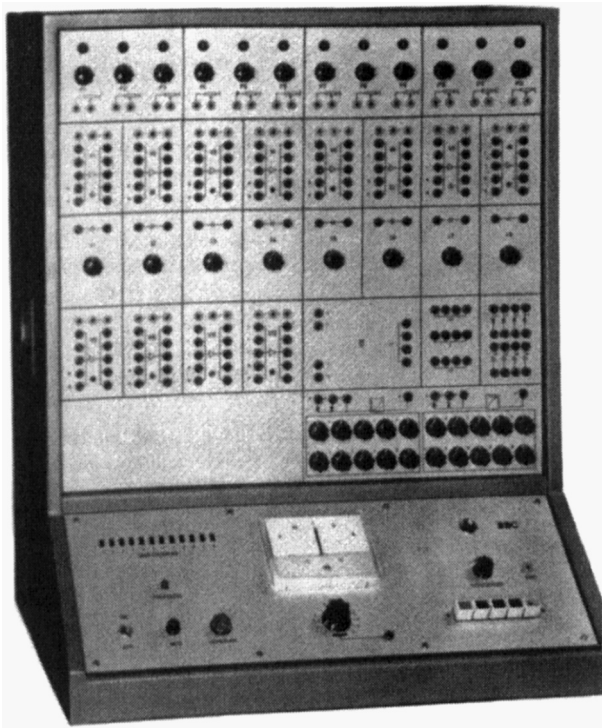


Abb. 7: BBC-Tischanalogrechner. Quelle: BBC-Nachrichten 43, 1961, S. 369.

Die Steuerung und Regelung von Maschinen und Anlagen beruhte anfangs weitgehend auf analogen Verfahren. Dies nicht zuletzt, weil man mit analog wirkenden Messfühlern arbeitete. Weil die Regelungsspezialisten an die Grenzen ihrer Berechnungsmöglichkeiten stießen, entwarfen sie für komplexe technische Anlagen mechanische, elektrische oder hydraulische Modelle. Diese sind als „Analoga“ zu bezeichnen, weil viele Bauteile im übertragenen Sinne modelliert wurden, also z.B. eine Turbine nicht in Form einer Miniturbine, sondern als elektrisches System, das sich einer Turbine analog verhält. Um diese Arbeit effizient verrichten zu können, entstanden „Analogrechner“, welche Standardteile enthielten, welche dann, den jeweiligen Anforderungen entsprechend, zusammengeschaltet wurden. Die so erstellten oder „programmierten“ Modelle maßen die Ingenieure aus – sie führten sozusagen Probeläufe am Modell durch – und machten auf dieser Basis der Konstruktion Vorgaben oder antizipierten das Steuern und Regeln der Anlage. In die Modelle bzw. generell in die Analogrechner wurden Elemente der bei den verwirklichten Maschinen eingesetzten Regelungssysteme integriert. Dies ließe sich auch so interpretieren, dass die Analogrechner aus den Regelungssystemen heraus entstanden sind.

Projektionen zur Zukunft des Steuerns und Regels bewegten sich im Rahmen der analogen Rechnerwelt. Sie bezogen sich auf größere und kom-

plexere Modelle, auf eine Verkleinerung der Analogrechner oder auch auf anschaulichere Darstellungen der Messergebnisse mit Hilfe von Oszillographen bzw. Elektronenröhren. Als die Digitalrechner aufkamen, stellten Regelungstechniker Überlegungen zu Hybridrechnern an, bei denen analoge Rechnerkomponenten Mängel der Digitalrechner ausgleichen sollten.

Als Ausgangspunkt für die Erörterung der bei den Dampfturbinen der BBC stattfindenden Entwicklung vom analogen Regeln zum digitalen Steuern kann ein Artikel von K. Kraemer aus dem Jahre 1942 dienen.²¹ Der Artikel nimmt noch keine begriffliche Trennung zwischen analog und digital vor. Wenn Krämer auf Messungen eingeht, dann versteht er diese als analog. Wenn er schreibt, dass ein Signal bei der Überschreitung von Grenzwerten zum Ausschalten der Maschine führen soll, dann lässt sich dies als digital (über?)interpretieren. Die Messung als Grundlage der Maschinenregelung erfolgt über den Vergleich der Sollwerte einer simulierten Turbine mit den Istwerten der realen Turbine. In unserem Zusammenhang ist die Forderung von Interesse, die Messinstrumente in einem Schrank neben der Turbine zu konzentrieren. In dieser Projektion ist eine Separierung und Verselbständigung der Regelung angelegt, die als Schritt auf dem Weg zur automatischen Turbinensteuerung begriffen werden kann.

Explizit taucht die Forderung in einem 1957 erschienenen Artikel über die Grundlagen der Regelungstechnik in einem Sonderheft der BBC-Nachrichten 1957 auf. Indem die Regelgröße als veränderlich behandelt wird, verwandelt sie sich zur Steuergröße. Bei der bisher üblichen Steuerung bestimmter Betriebszustände der Turbinen per Hand ergaben sich Schwierigkeiten bei im Netz zusammengeschalteten Turbinen. 1958 trennte die BBC schließlich die Sicherheits- und Überwachungseinrichtungen von der Turbine.²² Sie wurden in einem Überwachungsschrank zusammengefasst, aus welchem wenig später das Anfahrpult entstand. 1960 systematisierte ein Artikel die vorgenommenen Maßnahmen und die erkennbaren Tendenzen. Der Verfasser ging davon aus, dass der Elektrizität als Informationsträger für die Steuerung und Regelung die Zukunft gehören werde; Regelung und Steuerung würden zur Informationstechnik zusammenwachsen.²³

Damals standen bei der BBC analoge und digitale Systeme noch nebeneinander. Das komplizierte Regelverhalten elektrischer Netzwerke simulierte man mit Analogrechnern, während Regelung und Steuerung digital abliefen.²⁴ Dass

21 K. Kraemer, Einrichtungen zur Sicherung und Überwachung von Dampfturbinen, in: BBC-Nachrichten, Okt./Dez. 1942.

22 Reinhold Kempers, Sicherheits- und Überwachungseinrichtungen für Dampfturbinen, in: BBC-Nachrichten 40, 1958, S. 410ff.

23 A. Stopp, Normalkonstruktionen der BBC-Elektronik eines einheitlichen Geräteprogramms für elektronische Steuerungen und Regelungen, in: BBC-Nachrichten 42, 1960, S. 199-207.

24 Max Syrbe, Regelungstechnik gestern und heute: Grundlagen, Technik und wirtschaftliche Bedeutung, in: BBC-Nachrichten 42, 1960, S. 327ff.

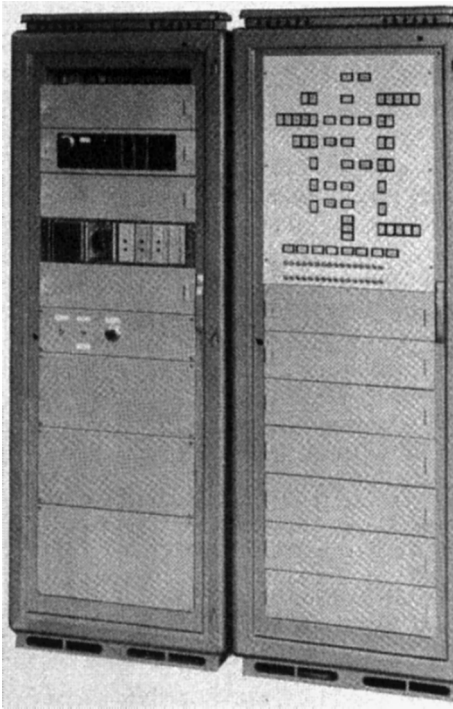


Abb. 8: Elektronische Turbinenautomatik „Turbomat“. Quelle: BBC-Nachrichten 46, 1964, S. 132.

es durchaus Differenzen hinsichtlich der Zukunft der Analog- und Digitalrechner gab, dokumentiert ein 1961 erschienener Artikel.²⁵ Für den Verfasser gehört dem Analogrechner im Bereich des Steuerns und Regels die Zukunft. Er hebt seine Anschaulichkeit hervor und die Möglichkeit, ihn mit Regelaufgaben zu verknüpfen. Dagegen erscheint ihm der Digitalrechner in mehrerlei Hinsicht als zu kompliziert.

Ein 1963 von dem Kybernetiker Syrbe verfasster Aufsatz bezeichnet zwar analoge und digitale Signale als gleichberechtigt und erwähnt zahlreiche Analog-Digital-Umsetzer. Seiner Auffassung nach müsste jedoch die Berechnung von Führungsgrößen in einem zentralen Digitalrechner erfolgen.²⁶ Zurgleichen Zeit taucht erstmals der Begriff „Programm“ im Zusammenhang mit Steuerungseinrichtungen für Dampfturbogruppen auf. Die für die Steuerung von Dampfturbinen notwendige sequenzielle Abarbeitung von Befehlen könne nur durch einen Digitalrechner geleistet werden.²⁷ 1964 wurde dann ein entsprechendes System vorgestellt, der „Turbomat“, eine fest programmierte elektronische

²⁵ Hans Kielgas, Elektronische Analogrechner, in: BBC-Nachrichten 43, 1961, S. 361ff.

²⁶ Max Syrbe, Steuern, Regeln, Rechnen: Entwicklungsschritte der Nachrichtentechnik in der Industrie, in: BBC-Nachrichten 45, 1963, S. 182ff.

²⁷ Ulrich Schmudlach, Elektronische Einrichtung zur automatischen Steuerung von Dampfturbogruppen, in: BBC-Nachrichten 45, 1963, S. 226ff.

Einrichtung zur automatischen Steuerung von Dampfturbogruppen.²⁸ Mit dem Turbomat ging die Bedienungskompetenz zum Teil von der Kraftwerksmannschaft auf die Hersteller über, die kritische Phasen beim Turbinenbetrieb durch in die Computersoftware eingebaute Vorschriften absicherten. Das entsprach den Vorstellungen der Hersteller, dass sie kompetenter seien als die Betreiber.

3.2 Zentral oder dezentral, lokal oder universell?

Die Segmentierung des Denkens und der innovatorischen Maßnahmen spiegelte sich in der Vernachlässigung des Transfers elektronisch gespeicherter Daten zwischen den einzelnen technischen Abteilungen wider. Ein solcher Datentransfer gehörte in den kaufmännischen Abteilungen schon lange zur Routine. Die technischen Abteilungen, wie Projektierung, Berechnung, Konstruktion und Fertigung, kommunizierten dagegen lange Zeit ausschließlich mit Formularen und Zeichnungen. Erst in den 1970er Jahren machten sie sich Gedanken darüber, wie ihre elektronischen Datensätze für die anschließenden Arbeiten zu nutzen seien. So arbeiteten zwei Abteilungen unabhängig voneinander an CAD-ähnlichen Programmen für die Berechnung der Turbinenwelle. Erst spät wurde ihnen bewusst, dass sie sich besser von vornherein auf gemeinsame Übergabeprotokolle verständigt hätten. Ebenso erfolgte nach der Anschaffung von NC-Maschinen kein direkter elektronischer Datentransfer zwischen Konstruktion und Fertigung. Stattdessen gab die Werkstatt die in der Konstruktion mit Hilfe von CAD-Systemen erzeugten, aber in konventioneller Form ausgedruckten Daten erneut in die Werkzeugmaschinen ein.

Um 1970 führte die BBC eine computergestützte Daten-Termin-Kapazitätskontrolle (DTK) ein. Mit der DTK war das Management in der Lage, sich einen Überblick über die verschiedenen Unternehmensaktivitäten zu verschaffen und diese zu steuern. Der Computer wurde also im Interesse einer zentralen hierarchischen Kontrolle eingesetzt. Er diente nicht der Kommunikation zwischen den Abteilungen. Es gab einige Ansätze in diese Richtung, wie die Organisation der Stücklisten und des Werkstattbestellzettels (WBZ) sowie die Einführung von Fertigungsstufen, aber dabei handelte es sich um isolierte, ad hoc ergriffene Maßnahmen. Einerseits standen noch nicht die technischen Mittel für einen Datenaustausch auf breiter Front zur Verfügung, andererseits fehlten den Ingenieuren entsprechende Visionen. Einen Schub erhielt die computergestützte Kommunikation zwischen den Abteilungen durch den verstärkten Einsatz von Baukästen seit den 1970er Jahren. Insbesondere der seit 1981 eingeführte Großturbinenbaukasten verlangte eine Verzahnung von Konstruktion und Fertigung.

28 H. Bloch, Festprogrammierte elektronische Einrichtung zur automatischen Steuerung von Dampfturbogruppen, in: BBC-Nachrichten 46, 1964, S. 131-149.

In den 1980er Jahren entstand eine Art Matrix-Organisation. Große Entwicklungsprojekte, wie die Einführung von Baukästen, der Wertanalyse oder allgemeiner Konstruktionsmethoden, wurden zentral angegangen. Anderes, wie Baukastennormen, Fertigungspläne und Qualitätssicherung, fand mehr dezentrale Lösungen. Zentralisierung und Dezentralisierung standen nicht unbedingt als konkurrierende Prinzipien nebeneinander, sondern ergänzten und bedingten sich teilweise. So kann man den erstellten Baukasten für kleine Industrieturbinen als Element der Zentralisierung begreifen. Doch ermöglichte die Einführung und Durchsetzung des Baukastens auch dezentrale kundenspezifische Modifikationen, wenn die Kunden bereit waren, dafür zu zahlen.

3.3 Erweiterung der konstruktiven und rechnerischen Möglichkeiten

Der Einsatz von Digitalcomputern in der Berechnung begann in den 1950er Jahren bei Schwingungsrechnungen und gelangte dort bis Ende der 1960er Jahre zu einem gewissen Abschluss. In den 1970er Jahren folgten die Festigkeitsrechnung sowie Lebensdauerrechnungen. Bei der Festigkeitsrechnung befruchteten sich die Formulierung genauer Berechnungsvorschriften (die „Festigkeitsbände“) sowie das Erstellen von Rechenprogrammen wechselseitig. Mit den Lebensdauerrechnungen wollten die Turbinenbauer einerseits die Revision der verkauften Turbinen verbessern bzw. verbilligen und andererseits die dabei gewonnenen Erfahrungen für die Entwicklung einer neuen Generation von Großturbinen nutzen. Im Folgenden geht es darum, inwieweit erweiterte Einsatzfelder des Rechners im vorhinein erkannt wurden.

Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts hatte Aurel Stodola in seinem Grundlagenwerk über Dampfturbinen Verfahren für die Bestimmung der biegekritischen Drehzahl einer Turbinenwelle angegeben.²⁹ Dabei ging es darum, dass die Eigenschwingungen der Welle nicht im Bereich der Turbinendrehzahlen liegen durften. Die Konstrukteure berechneten graphisch oder algebraisch näherungsweise die kritische Drehzahl, indem sie von vereinfachten Annahmen, die sich damals berechnen ließen, auf den komplexen Anwendungsfall schlossen. Die an der kritischen Drehzahl orientierte Betrachtungsweise bedeutete eine erhebliche konstruktive Einschränkung. Man berechnete nämlich nicht das tatsächliche Schwingungsverhalten, sondern nur den kritischen Wert, von dem Abstand zu wahren war. Auf diese Weise schloss man von vornherein eine gegebenenfalls aus technisch-wirtschaftlichen Gründen erwünschte und schwingungstechnisch noch tolerierbare Annäherung an die kritische Drehzahl aus. Letzten Endes hieß dies, dass die zur Verfügung stehenden Rechenmethoden die Auslegung der Turbine determinierten. Die darin enthaltene Beschränkung war kaum einem Turbinenkonstrukteur bewusst.

29 Aurel Stodola, Die Dampfturbinen mit einem Anhang über die Aussichten der Wärmekraftmaschinen und über die Gasturbine, Berlin 1904.

Das Umdenken setzte ein mit der Entwicklung noch größerer Turbinen in den 1950er Jahren. Den Anlass bildeten Laufruheprobleme deutscher Großturbinen. Untersuchungen ergaben, dass noch weitere Größen die Wellenschwingungen beeinflussten, wie das Fundament, die Beschaufelung und die Wellendichtungen. In Frankreich traten die genannten Probleme übrigens nicht auf, da man dort früher zu elaborierten Schwingungsrechnungen übergegangen war. 1958 starteten die BBC, die AEG und die Siemens-Schuckertwerke ein Gemeinschaftsprogramm. Dabei ging es insbesondere um den Einfluss der Lager und der Fundamente auf die Schwingungen. Mit Hilfe des Computers gelangte man zu anspruchsvolleren Modellen und Rechenprogrammen. Nach Lösung der grundlegenden Aufgabenstellungen beendeten die Firmen ihre Gemeinschaftsarbeit. Insgesamt zeigt die Entwicklung der Schwingungsrechnungen, dass zur Verfügung stehende Hilfsmittel und Methoden konstruktionstechnische Denkhorizonte bestimmten.

Aus den neuartigen Schwingungsberechnungen ergaben sich Herausforderungen im Außen- wie im Innenbereich des Unternehmens. Bei den Kunden führten die neuen Berechnungsweisen zunächst zu Irritationen, weil das leicht nachvollziehbare Kriterium der biegekritischen Drehzahl seine Bedeutung verlor und komplexere Vorschriften für die Sicherstellung der Laufruhe an deren Stelle traten. Innerhalb der BBC erweiterten die Spezialisten für Schwingungsrechnungen, von der Welle ausgehend, ihren Aufgabenbereich; seit den frühen 1980er Jahren mündete dies in eine Art Abteilung für Schwingungsberechnungen.

Bei den Festigkeitsrechnungen orientierten sich die Dampfturbinenbauer zunächst an Sicherheitsvorschriften, die aus dem Kessel- und Hochdruck-Rohrleitungsbau stammten. Bei der BBC empfand man dies in den 1950er Jahren als unbefriedigend und strebte nach Regeln, die speziell auf Dampfturbinen abgestellt waren. Es dauerte bis in die 1970er Jahre, ehe man hierfür Lösungen anzubieten hatte. Einerseits benötigte man zusätzliche Daten, so zur Zeitstandsfestigkeit der Turbinenteile. Die Daten gewann man entweder aus Betriebserfahrungen oder durch Laboruntersuchungen. Andererseits fehlten zunächst geeignete Rechenmethoden. Brauchbare Programme, die auf der Methode der finiten Elemente beruhten, standen erst in den 1970er Jahren zur Verfügung.

Die Methode der finiten Elemente (FEM) gehörte bereits längere Zeit zum ingenieurwissenschaftlichen Wissensbestand. Ihre Anwendung in der Praxis war aber wegen des immensen Rechenaufwands sehr teuer und damit begrenzt. FEM kam zuerst dort zum Einsatz, wo die Kosten keine große Rolle spielten, wie in der Raumfahrt. Es folgten Anwendungen im Großserienbau, wie in der Automobilindustrie, wo sich die Kosten über die Stückzahlen amortisierten. Erst leistungsfähigere und preisgünstigere Rechner rückten eine Verwendung in der Kleinserien- und Einzelfertigung, wie bei den Turbinen, in den Bereich des Möglichen. Mit FEM ließen sich nun auch

komplexe Formen berechnen und vorher nicht mögliche Leichtbaukonstruktionen in Angriff nehmen. Bei der BBC arbeitete man seit der zweiten Generation der Großturbinen mit FEM. Mit FEM-Programmen ließ sich die gesamte Turbine schwingungstechnisch erfassen. Im Endeffekt führte dies bei der Welle und beim Gehäuse zur Aufhebung der bisherigen Trennung von Berechnung und Konstruktion. Ein unerwartetes Ergebnis der elaborierten Rechnungen war, dass die Bauteile eine kürzere Lebensdauer erreichen würden als zuvor angenommen. Als Konsequenz informierte man die Kunden und suchte sie zu überzeugen, vorsorglich Reparaturen durchführen zu lassen oder Neukäufe zu tätigen.

Schließlich ermöglichte der Computer komplexe Lebensdauerrechnungen. Die Konstrukteure hatten auch vorher schon die Turbinen für eine bestimmte Lebensdauer ausgelegt, aber dies beruhte auf Belastungsannahmen, bei denen es sich um erfahrungsgestützte Mittelwerte handelte. In den 1970er Jahren wurde bei der BBC das Projekt „Lebensdauerberechnung“ initiiert. Das unter Leitung L. Busses stehende Projekt stellte traditionelle Denkweisen der Turbinenbauer in Frage. Bislang hatte sich die Turbinenentwicklung nach dem Motto „größer, stärker, thermisch effizienter“ abgespielt. Mit dem Lebensdauerprojekt legte man den Schwerpunkt stattdessen auf die Verfügbarkeit der Turbine. Dahinter stand die Erkenntnis, dass die ökonomischen Vorteile thermischer Wirkungsgradsteigerungen durch Ausfälle oder langwierige Revisionsarbeiten aufgefressen oder sogar umgekehrt werden konnten. Das Projektziel lag darin, die Betriebsdaten durch den Computer zu erfassen und in einer Form zu verarbeiten, dass Angaben über die zu erwartende Lebensdauer entstanden. Dieses Ziel, das manchem als visionär erschien, wurde vollständig erreicht. Mit Computerhilfe ließ sich jetzt jeder Start, jedes Abfahren und jeder Lastwechsel in die verbleibende Lebensdauer einrechnen. Der Computer übernahm also die Aufgabe eines komplexen Mess- und Planungsgeräts.

Mit der Einführung von Rechnern verbanden sich Hoffnungen, die Kreativität der Konstrukteure zu steigern. Besonders die Hardware- und Softwarehersteller nährten solche diffusen Erwartungen. Interessanterweise distanzierte sich bei der BBC eine Reihe von für die Entwicklung neuer Dampf- und Gasturbinen verantwortlicher Projektleiter von solchen Versprechungen. Sie hielten es für ausgeschlossen, dass der Computer eine wesentliche Rolle bei Erfindungen und grundlegenden Neukonstruktionen spielen werde. Zwar könne er durch Kombinatorik konstruktive Möglichkeiten aufzeigen und durch Datenbanken Informationen zur Verfügung stellen. Doch gebe er damit nur die Ergebnisse vorangegangener kreativer Prozesse wieder, welche in die Maschine eingespeist worden seien. Die eigentliche Kreativität bestehe in der Bewertung der konstruktiven Möglichkeiten, und hierfür könne der Computer wenig Hilfe bieten.

Ähnlich äußerten sich die Praktiker bei der BBC zur Möglichkeit, Konstruktionsmethoden in CAD-Programme zu überführen. Sie kommentier-

ten damit Äußerungen von Konstruktionswissenschaftlern an den Universitäten oder der Entwickler von CAD-Systemen. Die Projektionen waren nicht von vornherein unbegründet, konnte man doch Analogien zwischen der Computerlogik und dem Funktionsdenken in der Konstruktionsmethodik sehen. Man kann die hier aufscheinenden Differenzen zwischen Konstruktionsmethodikern und Konstruktionspraktikern als Fortsetzung der perennierenden Auseinandersetzung zwischen Theorie und Praxis in der Technik interpretieren.

Eine ähnlich kritische Beurteilung fanden unter den BBC-Konstrukteuren Projektionen zu Expertensystemen, welche konstruktives Wissen zur Verfügung zu stellen versprochen. Allgemein formuliert sahen sie das Problem darin, dass das Wissen von Expertensystemen auch nur von denen genutzt werden könne, die sich dieses Wissen bereits angeeignet hätten und es bewerten könnten. Defizite der Expertensysteme erwarteten sie also nicht im Bereich des Wissens, sondern in der Bewertung und Verarbeitung des Wissens.

Für die Konstrukteure stellte die durch den Computer gegebene Möglichkeit, maßgetreue und quasi-perspektivische Zeichnungen auf dem Bildschirm oder per Plotter zu erzeugen, die entscheidende Neuerung dar.³⁰ Wie wichtig das räumliche Bild für das konstruktive Arbeiten war, geht schon daraus hervor, dass die Konstrukteure bei der unübersichtlichen Verrohrung von Turbinen zum Ausweg des aufwendigen und damit teuren Modellbaus griffen. Mit den CAD-Systemen ließen sich z.B. schnell und bequem mehrere Varianten der Montage durchspielen und nach Kriterien wie Revisionsfreundlichkeit oder Verfügbarkeit bewerten. Die Konstrukteure nahmen solche neuartigen Computeranwendungen nach anfänglichem Zögern und anfänglicher Skepsis doch rasch und positiv auf, da sie eine Lösung für unmittelbare Arbeitsprobleme darstellten. Entlegene Anwendungen antizipierten sie kaum.

Über die Lösung alltäglicher Arbeitsprobleme hinausgehende Überlegungen wurden nicht in den Konstruktionsabteilungen angestellt, sondern in zentralen Planungsabteilungen. Solche Abteilungen bestanden schon länger für die Normung und für Konstruktionsmethoden. Auf lange Sicht gesehen erwiesen sich manche dieser Überlegungen als fruchtbar. Eine Reihe von Ansätzen zur Einführung computergestützter Methoden scheiterte jedoch zunächst. Die Gründe lagen in Unzulänglichkeiten der Hardware und Soft-

30 Vgl. zum „visual thinking“ der Ingenieure: Brooke Hindle, *Emulation and Invention*, New York 1982; Eugene S. Ferguson, *Engineering and the Mind's Eye*, Cambridge, Mass., London 1992; Kathryn Henderson, *On Line and On Paper: Visual Representations, Visual Culture, and Computer Graphics in Design Engineering*, Cambridge 1999; kritisch dazu: Steven Lubar, *Representation and Power*, in: *Technology and Culture* 36, 1995, Suppl., S. S54-S81; David MacGee, *From Craftmanship to Draftmanship. Naval Architecture and the Three Traditions of Early Modern Design*, in: *Technology and Culture* 40, 1999, S. 209-236.

ware oder auch in der unzureichenden Kompetenz und Schulung der Konstrukteure.³¹ Der arbeitsökonomische Umgang mit CAD-Programmen musste erst zeitaufwendig erlernt werden. So verbrauchte anfänglich der Bildaufbau derart viel Rechenzeit und Speicherplatz, dass sich die Arbeit am Rechner nur lohnte, wenn es gelang, durch Nutzung von Symmetrieeigenschaften oder mit Hilfe von Vergrößerungsstrategien den erforderlichen Aufwand zu reduzieren.

3.4 Zwischenergebnis: Projektionen zum Computer

Der Zusammenhang zwischen Projektionen im Unternehmen BBC und der Einführung der elektronischen Datenverarbeitung lässt sich folgendermaßen zusammenfassen: In aller Regel gingen die Projektionen und Visionen der Konstrukteure von ihren Arbeitszusammenhängen aus. Das heißt, sie wurden in ihrer alltäglichen Arbeit mit Problemen und Defiziten konfrontiert, für die sie entweder konkrete Lösungsstrategien erarbeiteten oder diffuse Hoffnungen auf Veränderungen entwickelten. Als der Computer auftauchte, prüften die Konstrukteure, inwieweit er in der Lage war, Lösungen für vorhandene und erkannte Probleme zu bieten. In zahlreichen Fällen wurden sie dabei fündig. Die Konstrukteure sahen in dem Computer also in erster Linie ein neuartiges Werkzeug, das in den bestehenden Arbeitszusammenhang einzuordnen sei. Nur in geringem Umfang antizipierten sie, dass die Computereinführung Arbeitszusammenhänge änderte oder dass die Änderung von Arbeitszusammenhängen Voraussetzung für die Computerisierung war.

Eine andere mögliche Betrachtungsperspektive wurde von den Konstrukteuren nicht eingenommen. Sie untersuchten nicht systematisch die Einsatzmöglichkeiten des Computers. Sie nahmen also nicht den Rechner als Ausgang ihrer Projektionen, sondern stattdessen ihre Arbeitszusammenhänge. Rechnerzentrierte Projektionen kamen im Unternehmen BBC nicht aus der Konstruktion, sondern aus zentralen Abteilungen. Auf diese Weise entstanden Lösungen wie die dynamische Daten- und Terminkontrolle (DTK), welche den Ingenieuren dann quasi übergestülpt wurde.

4. Zusammenfassung

Retrospektive Überprüfungen technischer Zukunftserwartungen haben sich bislang nahezu ausschließlich mit öffentlichen Technikdiskursen beschäftigt, wie sie ihren Niederschlag in Publikationen, in Studien und in Debatten finden. An diesen beteiligen sich Politiker, Manager, Wissenschaftler, Ingenieure und Journalisten. Unsere Untersuchung bezieht sich dagegen größtenteils auf nicht-öffentliche Zukunftsprojektionen in einem Industrieunternehmen. Die Projektionen repräsentieren ein weites Spektrum, das von wenig formalisierten Überlegungen über Projektplanungen bis zu konkreten Maßnahmen reicht.

31 H. Bauch, Technisches Zeichnen, Richtlinien, Rationalisierungsmöglichkeiten, Brown, Boveri & Cie AG, Mannheim 1975.

Wir haben uns vor allem auf die technischen Abteilungen konzentriert und weniger die kaufmännischen in den Blick genommen. Unser Ziel war die beispielhafte Analyse des technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizonts³² der Industrieingenieure. Damit nahmen wir Praktiker und Nicht-theoretiker als eine Untergruppe von „Experten“ in den Blick, deren Zukunftserwartungen bislang wenig untersucht worden sind.

In zugespitzter Formulierung zeichnet sich der in den Zukunftsprojektionen zum Ausdruck kommende technisch-wissenschaftliche Problemlösungshorizont der Industrieingenieure durch eine nur kurzzeitige Perspektive und eine starke Zentrierung auf die Technik aus. Die Ingenieure entwickeln ihre Projektionen pragmatisch aus aktuellen Arbeitszusammenhängen und fassen in erster Linie die nahe Zukunft ins Auge. Revolutionäre Gedanken und weit in der Zukunft angesiedelte Vorstellungen wird man bei ihnen selten finden. Unseres Erachtens resultiert dieser enge Zeithorizont der Prognosen einerseits aus den betrieblichen Aufgabenstellungen der Ingenieure, andererseits aus ihren praktischen Erfahrungen mit der Technikentwicklung.

Die von uns untersuchten Texte und Stimmen sind in betrieblichen Zusammenhängen entstanden, besitzen also betriebsoffiziellen oder -offiziösen Charakter. Die Projektanten und ihre Auftraggeber und Adressaten sind in betriebliche Hierarchiezusammenhänge eingebunden. In diesem Kontext wird von den Ingenieuren nicht erwartet, dass sie „Utopien“ oder „Träumereien“ nachgehen, sondern dass sie Vorschläge für die Lösung konkreter Probleme unterbreiten. Es lässt sich nicht ausschließen, dass die Ingenieure außerhalb des Unternehmens eine weit größere Bereitschaft zeigen, ihren technischen Projektionshorizont auszuweiten.

Darüber hinaus erwächst der begrenzte Zeithorizont der Projektionen aber auch aus den Erfahrungen der Ingenieure mit der technischen Entwicklung. Sie erleben nur zu oft, dass sich technische Neuerungen nur durchsetzen, wenn sie Anschluss an die vorhandene Technik halten und sich in die vorhandene technisch-organisatorische Umgebung einpassen.³³ Technikentwicklung besitzt einen additiv-kombinatorischen Charakter, das heißt Neuerungen greifen auf Teile des Wissensbestands zurück und fügen ihnen immer nur kleinere Elemente hinzu. Hinter dieser Anknüpfung an Bewährtes steht technisch-ökonomische Rationalität. Sie spart Forschungs-, Entwicklungs- und Konstruktionskosten und vermindert das mit jeder Neuerung verbundene Risiko, sich im praktischen Betrieb nicht zu bewähren. Der begrenzte Zeithorizont von Ingenieurprognosen stellt also eine durch Erfahrung gewachsene realistische Perspektive dar. Das bedeutet aber auch, dass die Industrie-

32 Hans Dieter Hellige, Von der programmatischen zur empirischen Technikgeneseforschung: Ein technikhistorisches Analyseinstrumentarium für die prospektive Technikbewertung, in: Technikgeschichte 60, 1993, S. 186-223.

33 Wolfgang König, Technik, Macht und Markt – Eine Kritik der sozialwissenschaftlichen Technikgeneseforschung, in: Technikgeschichte 60, 1993, S. 243-266, hier S. 248ff.

ingenieure häufig nicht in der Lage sind, grundlegende Veränderungen zu erkennen und in ihr Kalkül einzubeziehen. Solche weitreichenden revolutionären Projektionen werden eher von außen in die Welt der Industriepraktiker hineingetragen. Dabei erweist sich vieles als nicht realisierbar, aber manches führt zu einer weitgehenden Umgestaltung der technischen Arbeit.

Das zweite Ergebnis unserer Untersuchung liegt darin, dass der Problemlösungshorizont der Industrieingenieure vor allem auf die Technik zentriert ist. Projektionen beziehen sich auf Maschinen, Geräte und Verfahren, mit welchen die Ingenieure in der alltäglichen Arbeit umgehen. Überlegungen zur Leistungsfähigkeit und zum Zukunftspotenzial allgemeiner Entwicklungen, wie zu den technischen Prinzipien digital oder analog, tauchen eher selten auf. Vor allem aber fassen die Ingenieure soziale Auswirkungen technischer Neuerungen kaum ins Auge. Mögen sie noch über unmittelbare Folgen für ihren eigenen Arbeitsplatz reflektieren, weitere Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation oder das Qualifikationsniveau im Unternehmen kommen kaum zur Sprache. Man kann die Technikzentrierung und die Ausblendung sozialer Zusammenhänge als eine Form beruflicher Deformation der Ingenieure begreifen. In dem engen Zeithorizont der Ingenieurprojektionen sehen wir ein Spezifikum, das aus den industriellen Arbeitszusammenhängen erwächst. Die Zentrierung von Prognosen auf bestimmte Gegenstandsbereiche, bei den Industrieingenieuren auf die Technik im engeren Sinn, scheint allgemein ein Charakteristikum von Expertenmeinungen zu sein. Experte zu sein, heißt immer auch, Spezialist zu sein. Solche Spezialisten konzentrieren sich nahe liegender Weise auf ihren Wissens- und Arbeitsbereich und überschätzen häufig dessen Stellenwert in größeren Zusammenhängen. Die Ergebnisse unserer Untersuchung können insofern auch als zusätzliches Argument die Auffassung stützen, Zukunftsprognosen und Technikbewertung nicht den Experten zu überlassen. Allerdings können Industrieingenieure auch als kritisches Korrektiv fungieren, mit dem sich allzu luftige Projektionen wieder an die Erde rückbinden lassen.

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. Wolfgang König, TU Berlin, Institut für Philosophie, Wissenschaftstheorie, Wissenschafts- und Technikgeschichte, TEL 12-1, Ernst-Reuter-Platz 7, D-10587 Berlin; Prof. Dr. Hans-Ulrich Niemitz, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Arbeitsstelle Technikgeschichte, D-04251 Leipzig.

