

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 104 (1986)
Heft: 7

Artikel: Dampfturbinenkonstruktion mit Hilfe des Computers
Autor: Huwyler, Peter / Roeder, Anton / Schmidt, Erhard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76074>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Dampfturbinenkonstruktion mit Hilfe des Computers

Von Peter Huwyler, Anton Roeder, Erhard Schmidt, Baden

Der Computer soll uns in der Dampfturbinenkonstruktion von Routinetätigkeiten befreien. Vordringliches Ziel dieser Befreiung ist die Verringerung des Personalbestandes und die Senkung der Fixkosten. Dabei ändern sich auch die Anforderungen an unsere Mitarbeiter. Es entstehen neue, beschleunigte Arbeitsabläufe, und abteilungsinterne Organisationsformen sind anzupassen.

In einer technischen Abteilung lassen sich verschiedene Tätigkeiten unterscheiden. Auch wir haben administrative Verwaltungsaufgaben; wir haben Gruppen, die auf verschiedenen Gebieten der Dampfturbinentechnik Grundlagen und Produkte entwickeln. Und schliesslich haben wir für die Abwicklung von Bestellungen Berechnungs- und Konstruktionsgruppen. Verständlicherweise müssen Berechnungsverfahren zur Dimensionierung unserer Dampfturbinen, Materialspezifikationen und Konstruktionsregeln detailliert vorgeschrieben und auch einheitlich angewendet werden. Moderne Systeme der Qualitätssicherung lassen dabei keine Wahl. Hier erhält die tägliche Arbeit ihren Routinecharakter.

Anforderungen

Aus den unterschiedlichen Anforderungen unserer Kunden ergeben sich immer wieder neuartige Aufgabenstellungen. Ohne starken Markt im eige-

nen Land sind wir auf den *Weltmarkt* angewiesen, auf dem ein starres Typenprogramm keinen Erfolg bringen kann. Dennoch müssen wir trotz einer flexiblen Anpassung unserer Turbogruppen an die jeweiligen Marktanforderungen feste Regeln für die Dimensionierung und Konstruktion durchhalten. Wir verstehen die Anwendung dieser Regeln trotz der Komplexität der Aufgaben als Routinetätigkeit, für die der Computer vermehrt einzusetzen ist.

All jene Informationen, welche für die Herstellung der Einzelteile, für deren Zusammenbau und Spedition zur Anlage sowie deren Endmontage benötigt werden, legt die technische Abteilung fest. Aus den gleichen Daten entstehen mittels geeigneter Programmsysteme unterschiedliche Informationen, wie sie z.B. für die Dreharbeiten an einer Turbinenwelle oder für die seetüchtige Verpackung des beschauften Rotors verlangt werden. Der Computer erlaubt den Einsatz durchgängiger Programmsysteme. Diese Systeme verarbeiten Daten der technischen Abteilung in der Arbeitsvorbereitung der Fabrikation,

steuern die Bereitstellung von Material und Werkzeugen, liefern Lochbänder für numerisch gesteuerte Maschinen und beeinflussen die intere Belastungsplanung und Arbeitszeitvorgaben.

Der abteilungsübergreifende Charakter solcher Programmsysteme sei erwähnt, um zu verdeutlichen, welch breite Aufgabenstellung sich dem Informatiker stellen. Wir kennen heute in der technischen Abteilung den direkten Zugriff zu Datenbanken der Einkaufsabteilungen und der Fabrik und die automatische Weitergabe von Daten an diese Stellen.

Die nachfolgenden Ausführungen konzentrieren sich auf ein Teilgebiet der Dampfturbinenkonstruktion, die Turbinenwelle. Kürzlich vollendete sich das erste Jahrhundert der industriellen Nutzung der Dampfturbine in der von *Ch.A. Parsons* eingeführten Reaktionsbauart. Als Lizenznehmer von Parsons hatte BBC 1901 diese Bauart (Bild 1) und mit ihr den Trommelrotor übernommen.

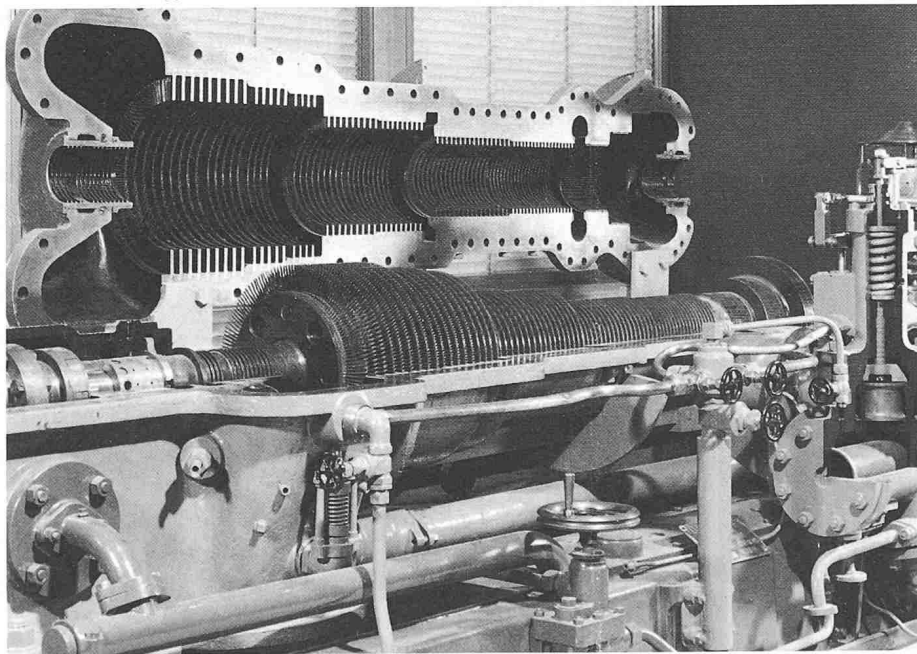
Die Konstruktion der Turbinenwelle eignet sich besonders gut für den Computereinsatz. Zahlreiche Elemente können normiert werden. So erkennt der Fachmann beim Betrachten der konstruktiven Details einer Welle ohne weiteres den Hersteller. Diese Erkennbarkeit ist auf die Anwendung bewährter Regeln zurückzuführen. Hinzu kommt, dass die Welle im Betrieb hohen Spannungen ausgesetzt ist, und dass Schäden in der Regel schwerwiegende Folgen haben. Die Dimensionierung der Welle unterliegt daher eindeutigen Vorschriften.

Mit beidem, den Konstruktionsregeln und den Vorschriften für die Dimensionierung, waren die Voraussetzungen für die Wellenkonstruktion am Bildschirm gegeben. Nach mehrjährigen Entwicklungsanstrengungen ist es heute möglich, in wenigen Tagen Arbeiten durchzuführen, für die bis vor kurzem mehrere Monate einzusetzen waren. Über das hierfür entwickelte Programmsystem soll berichtet werden.

Aufgabenstellung der Wellenkonstruktion

Vor wenigen Jahren entschloss sich BBC, für grosse Dampfturbinen eine Typenreihe zu entwickeln. Die Hauptelemente bleiben als standardisierte Bausteine innerhalb gewisser Leistungsbereiche soweit unverändert, dass z.B. für Gussteile die Modelle im ganzen Bereich verwendet werden können. Die Turbinenwellen sind in dieser

Bild 1. Grossdampfturbine (Hochdruckteil) in Montage



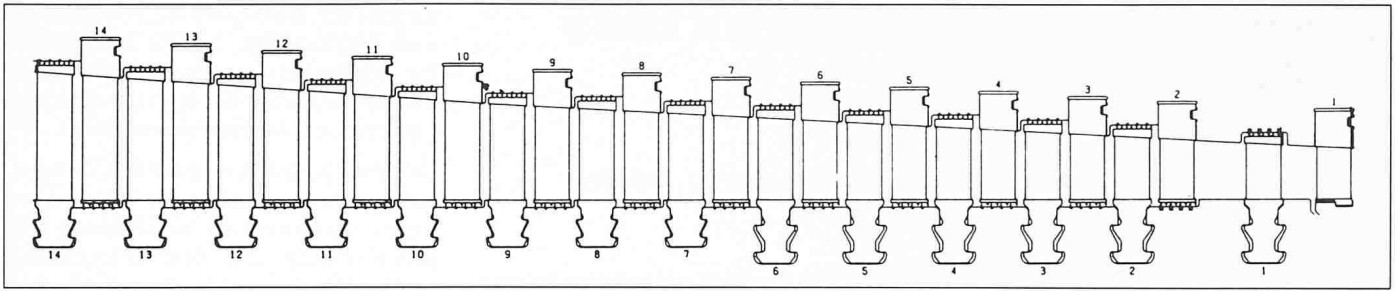


Bild 2. Beschaufelung (Hochdruckteil), Plotterzeichnung

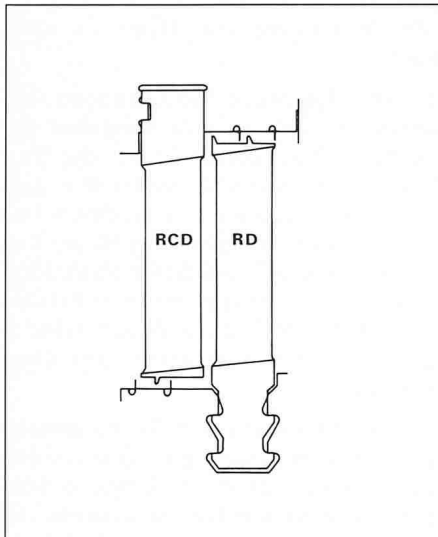
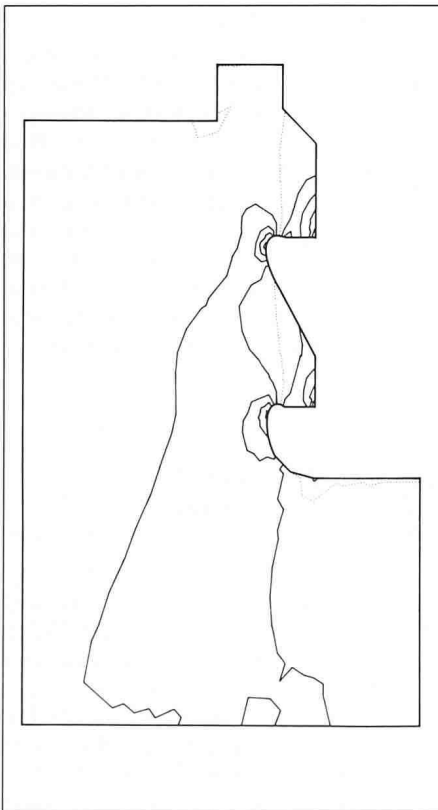


Bild 3. Reaktionsstufe mit RCD Leit- und RD-Laufschaukeln

Bild 5. Spannungsverlauf an der Eindrehung für die Schaufelfuss-Aufnahme, Berechnung und Darstellung mit Hilfe des Computers



Typenreihe flexible Anpasselemente. Ihre Hauptabmessungen werden den spezifischen Anforderungen des Kunden bezüglich Leistung, Drehzahl, Dampfdaten angepasst.

Im Rahmen dieser Randbedingung werden bei der Wellenkonstruktion fünf Teilaufgaben gelöst:

Dimensionierung

Dimensionierung des Schaufelkanals (Bild 2) und der einzelnen Schaufelreihe (Bild 3) mittels thermodynamischer und mechanischer Berechnungen; Dimensionierung der Schaufelfusseindrehungen (Typ, axiale Position).

Konstruktionsentwurf der Welle

Vorhandene Normteile sind gemäss den vorgegebenen Daten einzusetzen. Solche Normteile sind unter anderem die Kupplungen, die Wellendichtungen, die Radial- und Axiallager.

Nachweis zulässiger Spannungen und zulässiger rotordynamischer Eigenschaften

Für grosse Dampfturbogruppen wird heute mit 200 000 Betriebsstunden gerechnet. Die Unsicherheiten der berechneten Spannungen (Bild 4), der langfristigen Materialeigenschaften und der Betriebsbeanspruchungen können mit entsprechend hohen Sicherheitsfaktoren abgedeckt werden. Der heutige Kostendruck zwingt zu möglichst weitgehender Materialausnutzung. Diese erreichen wir mit Hilfe detaillierter Berechnung der Spannungen (Bild 5) in stationären und transienten Betriebszuständen. Gleichzeitige Beschränkung auf Werkstoffe, für die

Langzeiterfahrungen vorliegen, erlaubt den Bau kompakterer Turbinen mit höherer Materialausnutzung.

Die Verfügbarkeit der Turbogruppen wird durch ihre Laufruhe stark beeinflusst. Die Schwingungsamplituden sollen im späteren Betrieb möglichst klein bleiben; daher berechnen wir ausser den kritischen Drehzahlen des Wellenstranges auch seine Empfindlichkeit gegenüber lokal plötzlich auftretenden Unwuchten (Bild 6); in Einzelfällen wird zusätzlich die Laufstabilität gegenüber Selbsterregung untersucht.

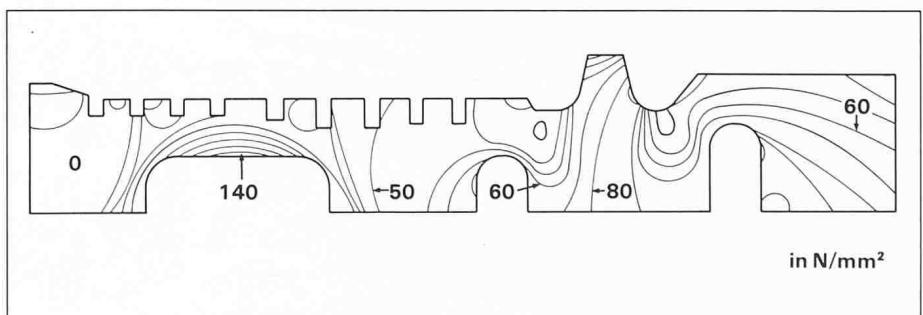
Der Konstruktionsentwurf der Turbinenwelle ist einem umfassenden rechnerischen Nachweis unterworfen. Die Zuverlässigkeit der dabei angewendeten Berechnungsmethoden ist selbstverständlich experimentell überprüft.

Wellenlinie und Lagerbelastungen

Für den ganzen gekoppelten Wellenstrang wird die Wellenlinie berechnet. Unter Berücksichtigung der Eigengewichte beschreiben die Mittellinien der Turbinenwellen eine elastische Biegelinie. Diese wird nun durch entsprechende vertikale Positionierung der Lager derart eingestellt, dass an den Kupplungen keine Biegemomente zu übertragen sind (Bild 7). In der Regel sind die Kupplungen die schwächsten Teile des Wellenstranges. Die gezielte Ausrichtung der Biegelinie sorgt dafür, dass die Kupplungen nur durch Torsionsmomente beansprucht werden.

Aus der Berechnung der Wellenlinie folgt auch die Belastung der Radiallager.

Bild 4. HD Rotor (Hochdruck), Berechnung und Darstellung der Spannungsverteilung mit Hilfe des Computers



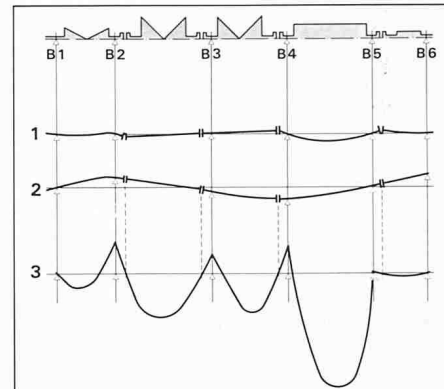
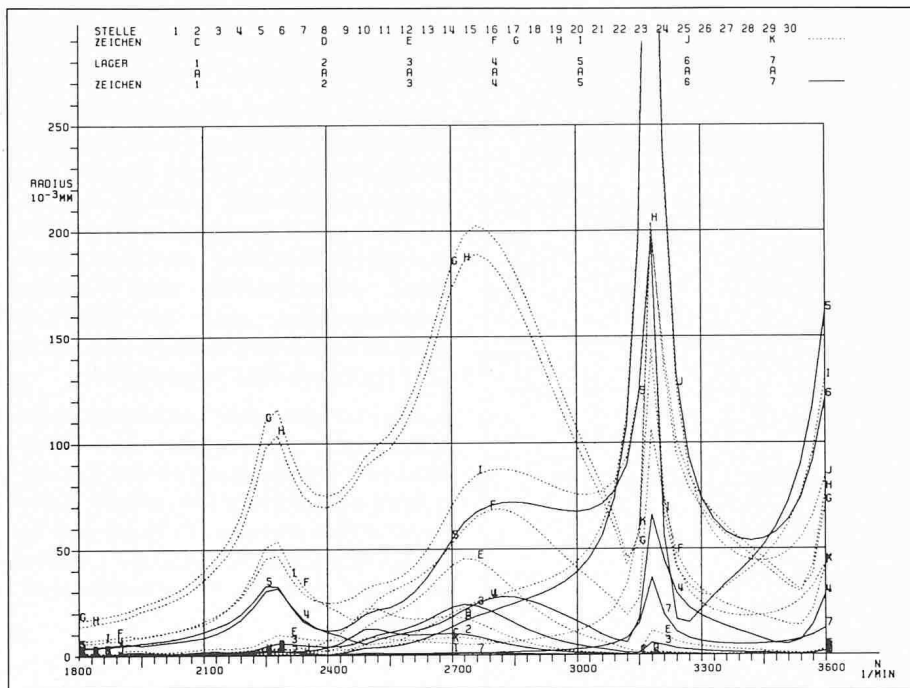


Bild 7. Wellenlinie eines Mitteldruck-Rotors; 1 Biegelinie; 2 Biegelinie nach vertikaler Positionierung der Lager; 3 Biegemomentenlinie mit Null-durchgängenbeilagern

Bild 6(links). Unwuchtschwingungen des Rotors, Berechnung und Darstellung mit Hilfe des Computers

Detailkonstruktion

Nach der rechnerischen Überprüfung der Konstruktionsentwürfe sind für alle wichtigen der Fertigungszwischenzustände Zeichnungen und Stücklisten anzufertigen. Diese Detailkonstruktion geschieht heute in enger Zusammenarbeit mit der Fabrik. Dahinter steht die Erkenntnis, dass 80 Prozent der Kosten unseres Produktes durch die konstruktive Ausführung und die Materialwahl bedingt sind.

Ökonomisch optimale Konstruktionen setzen daher voraus, dass der Konstrukteur den Zusammenhang zwischen den Produktkosten und seinen konstruktiven Entscheidungen kennt. Diese Kenntnis erwirbt er nur im Gespräch mit der Fabrikation.

Pflichtenheft für das CAD-Programmsystem

Wir setzten uns für das CAD-Programmsystem das Ziel, die Lösung der fünf Teilaufgaben der Wellenkonstruktion einschliesslich der kompletten Dokumentation der Resultate vollständig zu automatisieren. Gleichzeitig sollten alle Daten für die Produktionsplanung und -steuerung und für die NC-Fertigung ermittelt werden. Weitere Ziele waren:

- Wesentliche Verkürzung der Durchlaufzeit der Wellenkonstruktion.
- Reduktion des Personalaufwandes für die Bestellungsabwicklung.
- Flexible Gestaltung des Programmsystems für spätere Ergänzungen und Verbesserungen konstruktiver Details und Methoden.

- Sicherstellen der hohen Qualität der Wellenkonstruktion.

Von den traditionellen Tätigkeiten des Konstrukteurs verblieben nur noch zwei, nämlich die Beschaffung der Auslegungsdaten und Pflichtenheftanforderungen und die Kontrolle der Resultate, insbesondere die Zeichnungskontrolle.

Das CAD-Programmsystem

Dialog am Bildschirm

Man kann in dem Bestseller «Megatrends» die Prognose nachlesen, dass 1985 in den USA 75 Prozent aller Arbeitsplätze in irgendeiner Form mit dem Computer zu tun hatten. Daran lässt sich ablesen, wie stark in nächster Zeit der Computer auch unseren Arbeitsalltag beeinflussen wird: Er wird zum allgegenwärtigen Werkzeug.

In der Konstruktion ersetzt der Bildschirm das herkömmliche Reissbrett. Die CAD-Programmsysteme müssen soweit ausgebaut sein, dass der Konstrukteur ohne spezielle Kenntnisse der Informatik und Computertechnik vom Reissbrett an den neuen Arbeitsplatz am Bildschirm wechseln kann. Unser Arbeitsplatz für die Wellenkonstruktion am Bildschirm erhält ein alphanumerisches Terminal für die Dialogführung mit dem Programmsystem. Ein zweites Terminal mit Bildschirm ermittelt die graphische Darstellung der Welle und projiziert ihr Bild auf den Schirm. Dieses Bild lässt sich am Hardcopygerät ausdrucken.

So wie am Fließband die Handgriffe in fester Reihenfolge vorgegeben sind,

läuft die Wellenkonstruktion in einem vorprogrammierten Dialog ab. Der Bildschirm erfragt vom Konstrukteur der Reihe nach jene Daten ab, die für den Fortgang des Programmes gerade benötigt werden. Die Fragen werden so ausführlich formuliert, dass keine Missverständnisse entstehen können. Auch kann der Konstrukteur zu jeder Frage sofort die Gegenfrage stellen, welche Antworten grundsätzlich akzeptiert bzw. erwartet werden. So kann er fragen, in welchem Bereich der verlangte Lagerdurchmesser liegen soll, oder welche Werkstoffe zulässig sind. Jede Antwort wird automatisch auf ihre Plausibilität geprüft.

Aufbau des Programmsystems

Das Programmsystem löst die gestellten Aufgaben vollständig. Es besteht aus einem Systemkern. Dieser führt den Dialog, verwaltet alle Daten, ruft von vorgelagerten Systemen Daten ab und ordnet sie für die Weitergabe an nachgelagerte Systeme. Der Systemkern baut die einzelnen Turbinenwellen logisch aus einzelnen Elementen auf und besorgt den richtigen Zusammenbau der Einzelwellen zum Wellenstrang.

Ein zweiter Systemteil erzeugt aus den Abmessungen der Elemente ihre umfangreichen graphischen Darstellungen. Ohne manuelles Zutun entstehen am Plotter die zahlreichen Zeichnungen für den Schmiedelieferanten, die Bearbeitung und den Einbau in das Turbinengehäuse. Im einzelnen sind es die Zeichnungen für

- den einbaufertigen Läufer,
- die bearbeitete Welle,

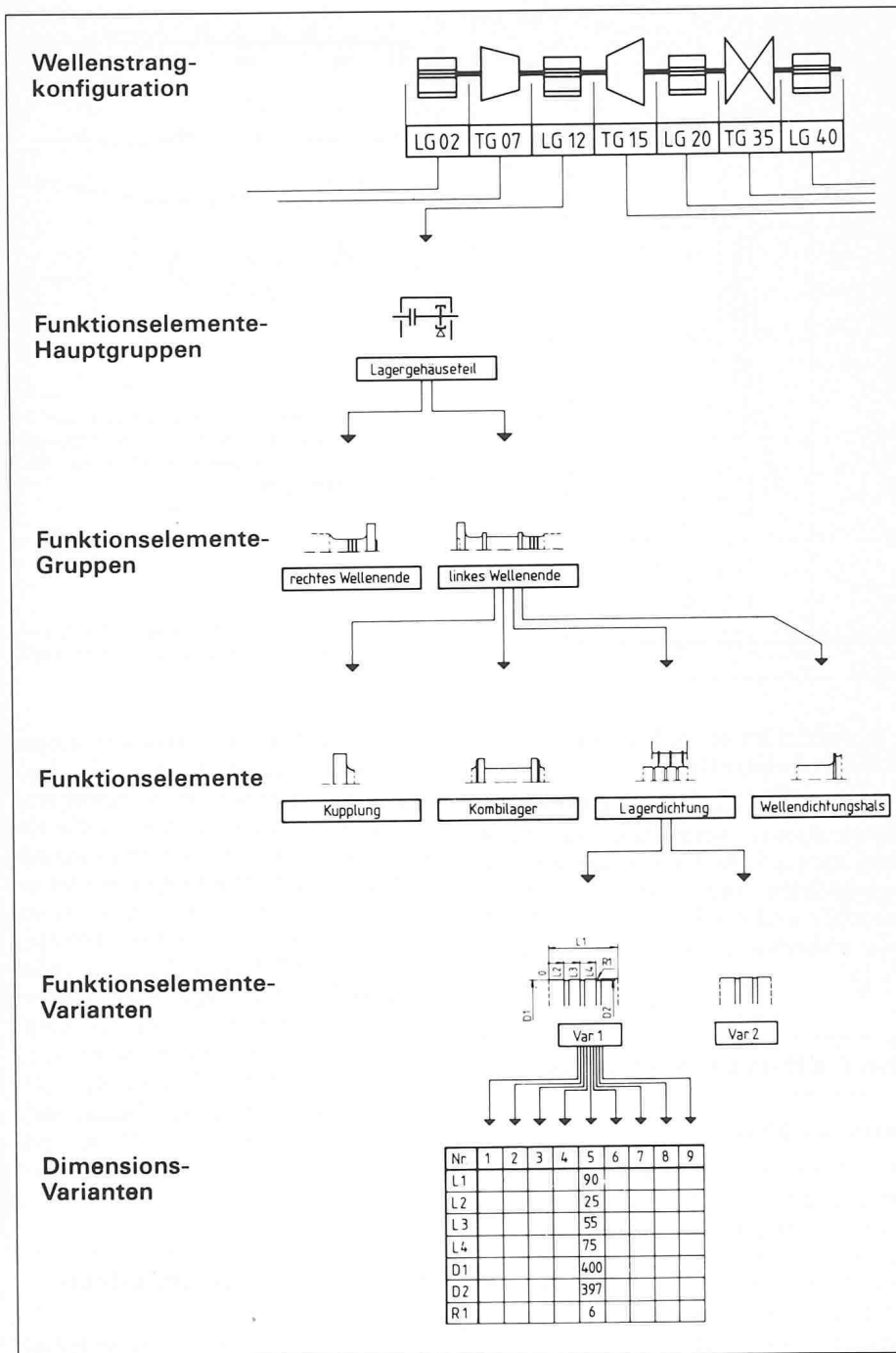
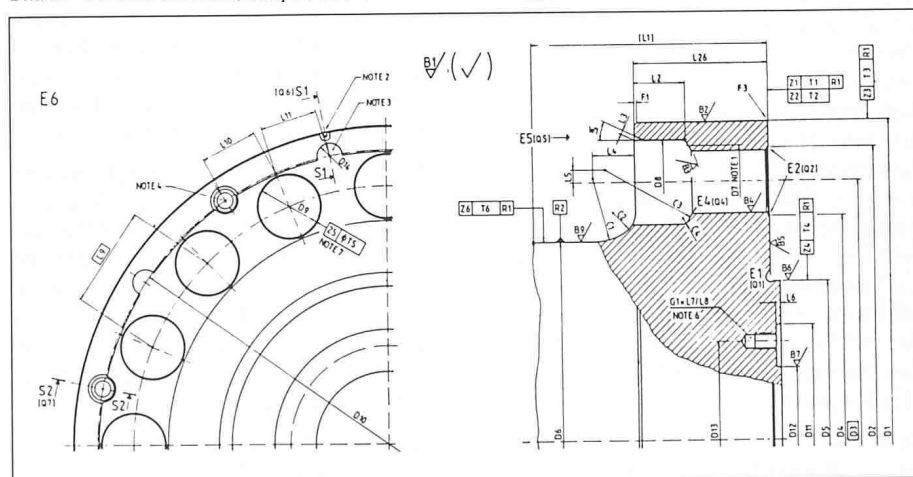


Bild 8. Konstruktion einer Turbinenwelle; Teilschema der Funktionselemente-Auswahl

Bild 9. Funktionselement, Beispiel einer CAD-Detailzeichnung



- die geschweisste und geprüfte Welle,
- die vorgedrehten Wellenteile,
- die fertiggedrehten Wellenteile.

Aufgrund dieser Zeichnungen und der zugehörigen Stücklisten wird die Welle in der Fabrik in Auftrag gegeben. Sie kann konventionell gefertigt werden. Modernere Fertigungsabläufe mit automatischer Erstellung der Operationspläne, einschliesslich aller Fabrikationsunterlagen, auch zur NC-Fertigung, erhalten automatisch alle Daten über entsprechende Schnittstellen.

Ein dritter Systemteil behandelt die Berechnungen zur Festigkeit und Rotordynamik. Die Zulässigkeit der Resultate wird automatisch überprüft; Kriterien zur rechnerischen Prüfung sind zulässige Spannungen, zulässige Lagerbelastungen, zulässige Vibrationsamplituden usw.

Standardisierung

Die im Bildschirmdialog geführte Wellenkonstruktion setzt eine weitgehende Standardisierung der einzelnen Wellenelemente voraus.

Aufgrund weniger Eingabedaten wie

- Leistung
- Drehzahl
- Anzahl Teilturbinen
- Dampfdaten

sowie der bereits mittels eines vorge-schalteten Programmsystems konstruierten Beschaufelung entwickelt das Programmsystem automatisch einen ersten Wellenentwurf. Für die dabei verwendeten Wellenelemente, wir sprechen hier von Funktionselementen, greift das Programm auf eine Elementenbibliothek (Bild 8) zurück, in welcher alle Standard-Elemente im Detail (Bild 9) beschrieben und gespeichert sind.

Schlussbemerkungen

Schon die traditionelle Dampfturbinenkonstruktion kam nicht ohne die Normierung häufig verwendeter Elemente aus. Dennoch hatte der Konstrukteur die Freiheit, in der Detailkonstruktion eigene Ideen zu verwirklichen und ständig Verbesserungen in kleinsten Schritten anzubringen. Mit dem eingeführten Programmsystem entfällt diese Freiheit. Nur in Sonderfällen lassen sich vom Standard abweichende Elemente einführen. Andererseits behandelt das Programmsystem eine breitere Pro-

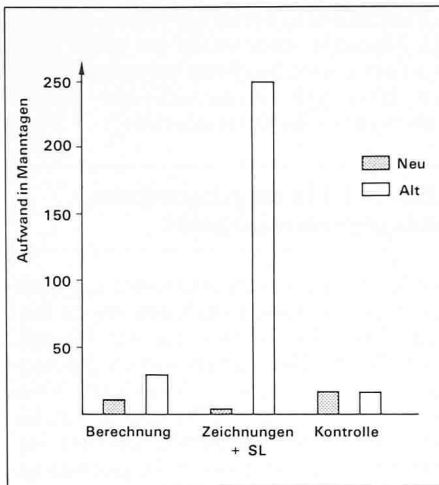


Bild 10. CAD-Projekterfolg. Reduktion der Bearbeitungszeit in der Bestellungsabwicklung

blemstellung, als sie dem Konstrukteur bisher an seinem Arbeitsplatz vorgegeben war.

Das Programmsystem schafft somit einen Konflikt, denn es entzieht dem Konstrukteur bei der Bestellungsbearbeitung den eigentlichen Entwurfsprozess. Diese kreative Tätigkeit findet zukünftig – abgelöst von der Bestellungsabwicklung – in der eigentlichen Konstruktionsentwicklung statt. Der Computer führt also zu einer neuartigen Arbeitsteilung im Konstruktionsbüro.

Mit unserem Programmsystem für die Wellenkonstruktion rückt der Bildschirm, zumindest in der Dampfturbinenkonstruktion erstmals an den Arbeitsplatz des Konstrukteurs. Er findet

sich dank des leichtverständlichen Dialogs nach wenigen Tagen mit Tastatur und Bildschirm zurecht. In Sonderfällen hilft ihm der Systemspezialist.

Mit unserem System wird der Gesamtaufwand für die Wellenkonstruktion zu einer normalen, mehrgeschützten Turbogruppe auf 1/10 des bisherigen Aufwandes (Bild 10) reduziert. Die Zuverlässigkeit der Wellenkonstruktion wird gleichzeitig durch die automatische Berechnung und Konstruktion und die Einhaltung aller Regeln verbessert.

Adressen der Verfasser: P. Huwiler, Dr.sc.techn. A. Roeder, Dr. Ing. E. Schmidt, Technik Grosse Dampfturbinen (TGD), BBC Brown, Boveri & Cie, AG, CH-5400 Baden.

Gibt es an der ETH Persönlichkeitsbildung?

Ingenieure mit ETH-Abschluss sind in der Öffentlichkeit oft dem Vorwurf ausgesetzt, Technokraten – schlicht «Fachsimpel» – zu sein. Ihr Ansehen ist oft angeschlagen und entspricht kaum der Bedeutung des Ingenieurs. Debatten, ob Technik gut oder schlecht sei, haben eine Ursache auch darin, dass viele ETH-Ingenieure, vielleicht auch Naturwissenschaftler, in der Öffentlichkeit nicht überzeugen können. Vermutlich werden Chancen schon während der Ausbildung vertan – auf Hochschulstufe, aber auch schon auf Mittelschulstufe.

Eine Hochschule wie die ETH hat neben der Ausbildung und Wissensvermittlung auch eine von der Gesellschaft erteilte Bildungsaufgabe, nämlich jene der Persönlichkeitsbildung. Diese kann zwar gar nicht doziert werden, muss aber trotzdem erfüllt werden, wenn die ETH eine Chance der Zukunftsgestaltung wahr möchte. Denn ETH-Ingenieure sind umfassend heranzubilden, damit sie fähig sind, mit ihren Sachkenntnissen und sensibilisiert für die interdisziplinären Zusammenhänge, Verantwortung zu tragen und gesellschaftlich wirksam ihre Aufgabe zu erfüllen. In Zukunft wird der Ingenieur immer mehr eine führende Rolle in der Gesellschaft zu übernehmen haben.

Die These

Die ETH hat eigentlich die Doppelaufgabe, einerseits eine berufsspezifische Grundausbildung zu gewährleisten und andererseits eine Allgemeinbildung, d.h. eine humanistische Bildung im allgemeinen und eine Persönlichkeitsbildung im speziellen, zu vermitteln.

Die Erfüllung dieser beiden Aufgaben ist langfristig gestört, weil ein dem wirtschaftlichen Nützlichkeitsprinzip unterworfenen Denken – das leider wie die Wirtschaft kurzfristig orientiert ist – vorherrscht, das die berufsspezifische Ausbildung bevorzugt und die akademische Bildung vernachlässigt. Die Ausbildung des Ingenieurs hätte aber auch nach 20 Jahren noch wirksam zu sein.

Unvermögen, sich kritische Fragen zu stellen

Auffallend viele Ingenieure – insbesondere Maschineningenieure – versagen in der öffentlichen Technikakzeptanz-Debatte über Nutzen oder Schaden der Technik. Möglicherweise geht diese Unsicherheit und Hilflosigkeit der Ingenieure darauf zurück, dass

sie nicht gewohnt sind, sich so radikale Fragen zu stellen, ihre Berufstätigkeit oder ihre berufliche Existenzberechtigung einmal zu hinterfragen. Gerade heute, wo einige Gesellschaftskreise die gesamte Technik – nicht bloss die Computertechnik oder die Nuklearenergie – grundsätzlich in Frage stellen, zeigt sich, wie wichtig es wäre, mit Überzeugungskraft, persönliche Ausstrahlung, Mitteilungsfähigkeit und breitgefächerten Sachkenntnissen solche Auseinandersetzungen zu bestehen.

Abhilfe könnte auch bringen, wenn schon während der Studienzeit tiefgreifende, kritische Fragen gestellt würden, die jeder einzelne für sich selbst beantworten müsste. Denn die Ingenieurausbildung hat in der heutigen Zeit mehr als jede andere Berufsausbildung vor einem kulturell-ethischen Hintergrund zu erfolgen.

Mangel an Allgemeinbildung

Die Verarmung des sprachlichen Ausdrucks so mancher ETH-Absolventen ist ein weiteres Zeichen der einseitigen Ausbildung. Formelhaftes Denken und Computersprachen lassen die Vielfalt der Ausdrucksmöglichkeiten verkümmern. Trotz verschiedener schriftlicher Arbeiten während des Studi-

Ausschnitte aus der Eingabe der GEP an den Bundesrat vom 26. August 1877

Aus: Die Eisenbahn, Bd VII. Nr. 22, 30.11.1977 (Offiz. Organ der Gesellschaft ehemaliger Studierender des eidg. Polytechnikums [GEP] sowie des SIA).

«Wir glauben nicht zu weit zu gehen, wenn wir darauf hinweisen, dass neben den schon vielfach gekennzeichneten Missständen ein wesentliches ... Moment darin besteht, dass beinahe bei sämtlichen schweizerischen Administrationen dem Techniker nicht diejenige Stellung eingeräumt wird, die ihm in Folge seiner Kompetenz gebührt, und welche ihm im Auslande, besonders in Frankreich, zugestanden wird.

Wenn wir uns demnach fragen, woher es komme, dass in Deutschland und Österreich und namentlich in der Schweiz der Einfluss der Techniker ein geringerer ist, als wie bereits erwähnt wurde in Frankreich, so liegt dies nicht zum geringsten Theile in der Art und Weise unserer technischen Bildung ... Wir sind der Ansicht, dass durch eine mehr allgemeine Ausbildung der Techniker eher den Stand gesetzt wird, im sozialen und politischen Leben eine im gebührende Stellung einzunehmen.

Betrachten wir die Leistungen und die Stellung der aus dem eidgen. Polytechnikum hervorgegangenen Techniker, so begegnet uns nicht selten die Erscheinung, dass bei anerkannter Beherrschung der eigentlichen Fachwissenschaften doch einer allgemeinen Bildung entbehrt wird, was zur Folge hat, dass solche Techniker im öffentlichen Leben nie zu höherer Stellung gelangen, noch weniger aber eine hervorragende Tätigkeit im öffentlichen Leben an den Tag legen werden.

Die Aufgabe eines Polytechnikums aber als einer eigentlichen technischen Hochschule sollte höher gefasst werden und es sollten aus dieser Anstalt nur gut geschulte Techniker von allseitig wissenschaftlicher Bildung hervorgehen.

Noch mehr aber wird ihm die Lücke in seiner Ausbildung fühlbar werden, wenn er nach Absolvierung seiner Fachstudien im praktischen Leben an die Lösung von Aufgaben gestellt wird, die eine umfassende allgemeine Bildung, einen erweiterten geistigen Horizont erfordern.»