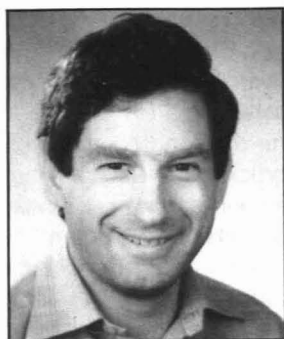


Überlegungen zum CAD-Einsatz im Bauwesen



Heinz PIRCHER, geb. 1942, absolvierte sein Bauingenieurstudium an der TU Graz.

Als Assistent am Institut für Stahlbau, Holzbau und Flächen-tragwerke sowie am Institut für Wasserwirtschaft und Konstruktiven Wasserbau beschäftigte er sich mit der Anwendung des elektronischen Rechnens für verschiedene Problemstellungen im Rahmen der Forschungsarbeit der beiden Institute. 1970 wurde ein eigener Betrieb gegründet, der sich auf Programmentwicklung und Rechenzentrumsdienstleistungen technisch-wissenschaftlicher EDV-Aufwendungen im Bauwesen und Maschinenbau spezialisiert hat.

Auf Grund der im Durchschnitt geringen Betriebsgröße der im Bauwesen tätigen Ingenieurbüros, sind die wirtschaftlich vertretbaren Investitionssummen begrenzt. Aus diesem Grund ist die Entwicklung von CAD-Methoden noch nicht so weit fortgeschritten als im Maschinenbau. Die wirtschaftlichen Randbedingungen führen zur Entwicklung von speziellen Programmsystemen, die für einzelne Arbeitsgebiete Lösungen mit geringeren Anforderungen an die Hardware anbieten. Diese Spezialisierung bringt neben dem wirtschaftlichen Vorteil auch den technischen Nutzen, daß eine weitgehende Koppelung von Rechnen, konstruktiver Detailarbeit und Zeichnen möglich wird. Diese Koppelung ist sicherlich eine wichtige Voraussetzung für eine sinnvolle Verwendung von CAD-Methoden im größeren Stil.

Im österreichischen Bauwesen wird der überwiegende Teil der Planungsarbeiten von »Zivilingenieurbüros« geleistet. Man kann davon ausgehen, daß die typische Betriebsgröße mit ca. 10 bis 20 Mitarbeitern zu beziffern ist. Nur wenige Büros haben ihren organisatorischen Rahmen weitgesteckt und beschäftigen mehr als 50 Mitarbeiter. Die Konstruktionsbüros der größeren Baufirmen sind in ähnlicher Größenordnung. Nur der Stahlbau nimmt hier eine Sonderstellung ein, weil hier ein großer Teil der Planungs- und Konstruktionsarbeit im Rahmen der großen Stahlbauunternehmen erledigt wird, wo für die Einführung neuer Arbeitsmethoden andere Randbedingungen vorliegen als in einem durchschnittlichen Ingenieurbüro.

Alle Fragen, die Anwendbarkeit und Entwicklungsfähigkeit neuer Arbeitsmethoden im Bauingenieurwesen betreffen, sind im Hinblick auf die spezielle Situation von Betrieben dieser

Größenordnung zu untersuchen.

Derzeitiger Einsatz und zukünftige Entwicklung des CAD-Einsatzes im Bauingenieurwesen werden daher neben den **technischen** Möglichkeiten auch von wirtschaftlichen und **organisatorischen** Problemen bestimmt.

1. Technische Aspekte

In allen Arbeitsgebieten des Bauwesens, wo CAD-Einsatz sinnvoll erscheint, besteht ein grundsätzliches Problem: Routinemäßige Vorgänge, die man dem Computer überlassen kann, sind untrennbar mit kreativer Ingenieurarbeit verbunden. Die vielen Detailfestlegungen, die erst beim Zeichnen (z.B. eines Bewehrungsplanes) entschieden werden, kann der Computer nicht übernehmen. Offensichtlich ist es hier besonders wichtig, flexible Dialogprogramme für die Steuerung des Zeichenvorganges zu entwickeln. In diesen Steuialog

sind alle jene Hilfsberechnungen einzugliedern, die der Konstrukteur bei seinen Festlegungen durchzuführen hat. Am Beispiel »Stahlbetonbewehrungsplan«: Der Einsatz eines CAD-Systemes wird keine Rationalisierung bringen, wenn die Eisenausteilung außerhalb des Systems, möglicherweise »händisch«, erfolgen muß.

Aus diesen Gründen stellt der Einsatz von allgemeinen CAD-Systemen, die primär auf die Erfassung und Darstellung komplizierter Geometrien spezialisiert sind, in vielen Gebieten des Bauwesens nicht zufrieden. Die Forderung der Praxis ist, Rechnen und Zeichnen zu einem geschlossenen System zu verknüpfen. Nachfolgend werden derartige Lösungen für einzelne Arbeitsgebiete des Bauwesens vorgestellt:

1.1 Stahlbeton im Hochbau

Für die statische Berechnung der gebräuchlichen Systeme (Träger, Rahmen, Platten usw.) ist das elektronische Rechnen allgemein üblich, meistens bereits gekoppelt mit Programmteilen zur Stahlbetonbemessung. Als Endergebnis liegen die erforderlichen Stahlquerschnitte für Biege- und Schubbewehrung vor. Diese Werte werden direkt in die Datenorganisation der Folgeprogramme übernommen. Der nächste Schritt ist die »Eisenausteilung«. In dialogorientierten Programmen wird der erforderliche Stahlquerschnitt in



die einzelnen Bewehrungsstäbe aufgeteilt. Die hierzu erforderlichen Hilfsrechnungen (Haftlängen, Mindestabstände, Aufteilung der Schubbewehrung in Bügel und Schrägeisen usw.) sind in diese Dialogprogramme eingearbeitet. Diese Programmteile für die konstruktive Detailfestlegung sind klarerweise von der speziellen Konstruktion abhängig und speziell für verschiedene Konstruktionstypen und Bauteile erstellt (Träger, Stützen, Fundamente, Platten usw.)

»Die Forderung der Praxis ist es, Rechnen und Zeichnen zu einem geschlossenen System zu verbinden.«

Bei Trägern geschieht die Detailfestlegung der Bewehrung auf der Basis eines »Biegeformenkataloges«. Alle gebräuchlichen Biegeformen stehen vordefiniert zur Verfügung und können über Kenn-Nummern abgerufen werden.

Für Sonderfälle kann der Benutzer selbst Grundformen definieren und so den vorgegebenen Katalog erweitern.

Auf Grund der vorhandenen Ergebnisse der Stahlbetonbemessung ermittelt das Programm einen Vorschlag für die Austeilung der Biegebewehrung.

Wenn diese festliegt und somit evt. Aufbiegungen bekannt sind, wird ein Vorschlag für die Bügelausteilung errechnet. Anschließend an beide Arbeitsvorgänge hat der Benutzer die Möglichkeit, im Dialog korrigierend und ergänzend einzugreifen und evt. auch die gesamte Eisenausteilung vorzugeben. Das Programm überprüft dann die Übereinstimmung zwischen vorhandener und erforderlicher Bewehrung.

Bei Platten und Deckensystemen ist die Eisenausteilung besonders schwierig, da die Festlegung flächenhaft in 2 Richtungen zu geschehen hat. Es ist notwendig, eine Datenkopplung zu verschiedenen Statikprogrammen (Finite Elementmethode aber auch konventionelle Lösungs-

methoden wie z.B. »Pieper-Martens«) zu ermöglichen und die speziellen Eigenheiten verschiedener Bewehrungsmatten zu berücksichtigen.

Jedes Bewehrungssystem hat spezifische Kennwerte (Übergriff, Abmessungen der einzelnen Typen usw.). Unter Berücksichtigung dieser Kennwerte und der vorliegenden Bemessung (erforderlicher Stahlquerschnitt in verschiedenen Punkten) ermittelt das Programm einen Vorschlag für die Mattenausteilung. Ein anschließendes Dialogprogramm gibt dem Benutzer die Möglichkeit, die vorliegende Mattenausteilung zu ändern. Es wurde großer Wert darauf gelegt, daß automatische Festlegung und Vorgabe durch den Konstrukteur einander sinnvoll ergänzen. Der Rechner soll den Konstrukteur nicht ersetzen, sondern unterstützen!

Wenn die konstruktiven Details festgelegt sind, können alle Daten zur Kontrolle am Bildschirm gezeigt oder am Drucker ausgegeben werden und anschließend wird der Bewehrungsplan erstellt. Neben den üblichen Darstellungen (Ansicht, Schnitte usw.) wird auch die Stahlliste erstellt.

1.2 Spannbeton

Für dieses Arbeitsgebiet liegen sehr weit entwickelte Lösungen vor. Dies

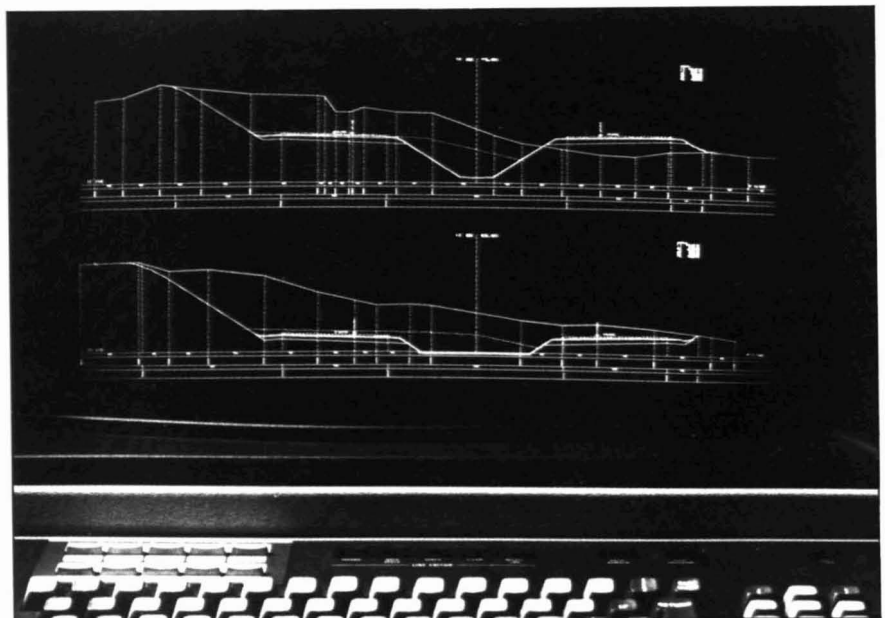
gilt vor allem für vorgespannte Fertigteile – hier sind die Probleme nicht sehr komplex und bereits für sehr billige Tischrechner gibt es Programme, die die gesamte Berechnung erledigen und auch das Zeichnen der Planungsunterlagen ganz oder teilweise unterstützen.

Für die Bearbeitung von Spannbetonbrücken wurde ein Programmsystem entwickelt, das neben allen wichtigen Berechnungsabläufen auch das Zeichnen der Spannkabelpläne umfaßt.

Festlegung und Berechnen der Spannkabelgeometrie und Spannkraftverläufe mit allen Werten für das Spannprotokoll, Lastfälle, Vorspannung, Kriechen und Schwinden und die von der Norm geforderten Spannungs- und Tragsicherheitsnachweise, Darstellung der Spannkabel in Grundriß und Aufriß und Zusammenstellung dieser Zeichnungen mit den notwendigen Querschnitten zum fertigen Plan.

Die Programmserie »Spannbeton« ist mit einem Programm zur Statischen Berechnung von Stabwerken integriert und das Gesamtsystem bildet ein gutes Beispiel für eine vollständige Lösung für Berechnung, Dimensionierung und Zeichnung.

Auch hier ist es für eine sinnvolle Benutzung des Rechners sehr wichtig,



daß der programmierte Ablauf den konstruierenden Ingenieur unterstützt, aber nicht ersetzt. Daher wurde großer Wert auf Dialogeingabe gelegt und große Sorgfalt für die Programmierung der grafischen Darstellung verwendet. Alle Grafik funktioniert wahlweise mit Bildschirm und/oder Plotter.

1.3 Stahlbau

Die Anwendung von CAD-Methoden in diesem Teilgebiet des Bauwesens unterliegt ähnlichen Bedingungen wie im Maschinenbau. Die spezielle Problemstellung ist ähnlich, auch die Struktur der Stahlbauunternehmen bedingt ähnliche organisatorische Randbedingungen. Aber auch im Stahlbau wird die enge Koppelung zwischen Rechnen und Zeichnen verlangt. Große CAD-Systeme, die einseitig auf die reine Grafik und Geometrieverarbeitung ausgerichtet sind, zeigen Mängel in der praktischen Anwendung.

Das hat dazu geführt, daß als Alternative zum allgemeinen CAD-System spezielle Programme für häufig vorkommende Konstruktionstypen (z.B. Fachwerkbinder) entwickelt wurden. Hier ist es dann möglich, eine volle Datenkoppelung zu bestehenden Statikprogrammen zu realisieren und alle für die Detailkonstruktion erforderlichen Hilfsrechnungen einzubeziehen (Schraubenabstände, erforderliche Schweißnahtlängen, Überhöhungen usw.). Die Vollständigkeit der Speziallösung geht natürlich zu Lasten der allgemeinen Verwendbarkeit.

1.4 Geodäsie und Straßenbau

Auch hier ist wieder die Kombination aus Berechnung, Konstruktion und Zeichnung durch optimale Nutzung aller Möglichkeiten des interaktiven Arbeitens gefordert. Der Geodät braucht alle Rechenfunktionen der »Niederer Geodäsie« (Polygonzug, Tachymetrie usw.) in Kombination mit der Möglichkeit, die Punkte zu kartieren. Die Ergebnisse der geodäti-

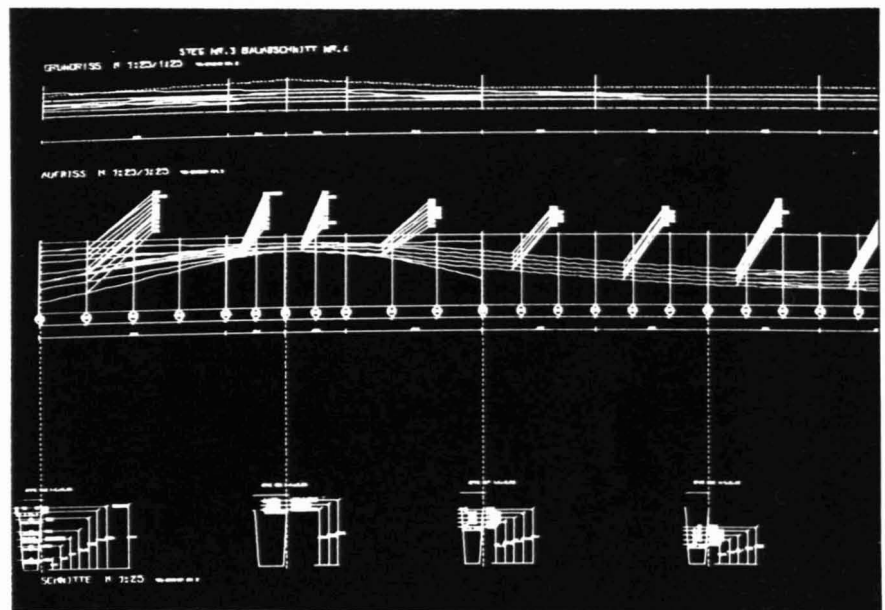
schen Berechnungen werden in ein »Digitales Geländemodell« eingeordnet und stehen für die weitere Auswertung durch den Straßenbauer zur Verfügung. Der gezeichnete Schichtenplan ist sozusagen ein Nebenprodukt. Das Digitale Geländemodell ermöglicht auch die automatische Weiterentwicklung von photogrammetrisch aufgenommenen Daten.

Der Straßenbauer benötigt Rechenhilfe für die Festlegung der Achse in Grund- und Aufriß und alle anschließenden Detailberechnungen (Absteckung, Achsschnittpunkte, Deckenbuch usw.). Diese Rechenfunktionen sind ergänzt durch Grafikprogramme zur Darstellung des Lageplanes auf Bildschirm und Plotter.

Zeichnung in einem geschlossenen System zusammenzufassen« erfüllbar ist. Eine weitere Verbesserung dieser Koppelung der einzelnen Arbeitsgänge wird sicherlich ein wesentlicher Ansatzpunkt für die kommende Weiterentwicklung sein.

2. Wirtschaftliche Aspekte

Bereits einleitend wurde darauf hingewiesen, daß die Mehrzahl der potentiellen und tatsächlichen CAD-Anwender einer bestimmten Betriebsgröße, nämlich 10 bis 20 Mitarbeiter, zugeordnet werden müssen. Die Kosten für eine CAD-Anwendung müssen daher im Einklang mit den wirtschaftlichen Möglichkeiten



Wenn die Straßenachse in Grund- und Aufriß festgelegt ist, bringt eine automatische Auswertung des Digitalen Geländemodells alle Daten für Längenschnitt und Querprofile. Anschließend wird das Regelprofil spezifiziert (Bankettbreiten, Böschungsneigungen usw.) und das Programm zeichnet die Querprofile und führt die Massenermittlung durch. Diese 4 beispielhaft ausgewählten Anwendungen zeigen, daß die eingangs formulierte Forderung »Rechnung, konstruktive Detailarbeit und

eines solchen Betriebes stehen. Bei Einführung eines CAD-Systems sind Anschaffungskosten und laufende Kosten (im wesentlichen Wartung und Personal) zu bedenken. Zur Einschätzung der Anschaffungskosten ist davon auszugehen, daß CAD in erster Linie ein Problem der Datenorganisation ist. Erst wenn die Ergebnisse der Berechnung und der konstruktiven Detailfestlegung wohlgeordnet gespeichert sind, kann gezeichnet werden. Die verwendete Rechenanlage muß daher großzügig



mit externem Speicher ausgestattet sein. Um den schnellen Zugriff zu diesen Daten zu garantieren, ist ein leistungsfähiger zentraler Rechner erforderlich. Die Anschaffungskosten für diese Systemkomponenten können daher sehr schnell bis in die Größenordnung von 2 bis 3 Millionen öS eskalieren.

Weiters wird ein leistungsfähiger Plotter (schnell, genau, ausreichende Papiergröße und Strichqualität) und ein grafischer Bildschirm mit gutem Auflösungsvermögen gefordert. Der Kostenrahmen für die grafische Hardware ist daher mit weiteren öS 500.000,- bis 1.000.000,- zu beziffern. Dazu kommen die Kosten für die Software. Man sieht, daß die Anschaffungskosten für ein CAD-System in die Größenordnung »2 bis 4 Millionen öS« tendieren. Wenn es nicht

»Für kleinere Ingenieurbüros wird sehr oft die Lösung der Personalfrage wesentlich schwieriger als die Finanzierung des Anschaffungspreises«.

gelingt, diesen Kostenrahmen wesentlich zu beschränken, müßte das CAD-System dem Benutzer ca. öS 100.000,- pro Monat bringen, was für die überwiegende Mehrzahl der potentiellen CAD-Benutzer im Bauwesen nicht wahrscheinlich ist. Aus der Sicht der Software-Entwicklung handelt es sich hier um Entwicklungsprojekte im Ausmaß von mehreren »Mann-Jahren«. Eine Eigenentwicklung im Rahmen eines Ingenieurbüros durchschnittlicher Größe ist daher nur im Sonderfall vertretbar. Für den professionellen Software-Anbieter ist eine Umsatzerwartung etwa im Ausmaß »ca. 50 Verkäufe in 2 Jahren« erforderlich, um den Softwarepreis so festlegen zu können, daß er die schlechte Kostensituation für die Hardwareanschaffung nicht zusätzlich verschärft. Diese Ausführungen machen deutlich, daß es beim derzeitigen Preisgefüge

sehr schwierig ist, Kosten und Nutzen eines CAD-Projektes ins Gleichgewicht zu bringen.

Dies mag eine Erklärung dafür sein, daß ein großer Teil aller CAD-Entwicklungen staatliche Hilfsmittel benötigen.

Allerdings ist zu erwarten, daß in den kommenden Monaten und Jahren die Anschaffungskosten für die benötigte Hardware weiterhin sinken werden. Die neuesten Entwicklungen leistungsfähiger Micro-Computer-Systeme berechtigen zur Hoffnung, daß durch wesentlich geringere Anschaffungskosten ein größerer Kreis potentieller Benutzer entsteht. Dies würde in der Folge auch zu günstigeren Softwarepreisen führen.

Die im vorigen Abschnitt erläuterte Spezialisierung der Programme auf einzelne, kleinere Anwendungsgebiete bringt nicht nur technische Vorteile im Sinne einer besseren Datenkoppelung zwischen Rechnen und Zeichnen. Es werden dadurch auch die Anforderungen an die Hardware reduziert und damit die Anschaffungskosten gesenkt. Alle vorhin genannten Lösungen für gewisse Teilbereiche des CAD sind wirtschaftliche Lösungen im Sinne einer Einschränkung auf ein überschaubares Arbeitsgebiet und eine realistische Aufgabenstellung und können mit einem modernen Micro-Computer-System realisiert werden. Die Hardwarekosten für ein solches System betragen derzeit ca. öS 300.000,- (ohne Grafik-Geräte!)

3. Organisatorische Aspekte

Das wichtigste Organisationsproblem bei der Einführung eines CAD-Systems im Ingenieurbüro ist die Personalfrage. Man muß sich Rechenschaft geben, wieviele Mitarbeiter mit welchem Anteil ihrer Arbeitskapazität damit beschäftigt sind, das System zu betreuen und für alle zugänglich zu machen. Dabei ist auch auf die Vertretung im Urlaubs- und Krankheitsfall zu achten.

Für kleinere Ingenieurbüros wird sehr oft die Lösung der Personalfrage wesentlich schwieriger als die Finanzierung des Anschaffungspreises. Die Personalfrage wird sehr oft unterschätzt, viele Mißerfolge sind darauf zurückzuführen.

Für die zukünftige Entwicklung wird es sehr wichtig sein, die Systeme in der Bedienung einfacher zu gestalten. Dies wird aber nur möglich sein, wenn auch die Computer-Hersteller in diese Richtung arbeiten und ihre Betriebssoftware einfacher gestalten, und nicht immer neue Funktionen dazubauen, so daß alles immer nur »großartiger« und komplizierter wird. Auch die Ausbildung an den Mittel- und Hochschulen muß mehr zur Entwicklung beitragen. Der Ingenieur muß mehr von EDV verstehen – und zwar im Sinne der praktischen Verwendung von Rechnertypen, wie sie im Ingenieurbüro eingesetzt werden. Ein Programmierkurs für einen Hochschul-Großrechner liegt hier auf einer ganz anderen Ebene! Der Informatiker muß sich mehr um Verständnis der Ingenieurprobleme bemühen, die Einarbeitungszeit im praktischen Beruf ist sonst zu lange. Für die Anwendung von CAD-Systemen brauchen die Ingenieurbüros Mitarbeiter, die in der Lage sind, die Lücke zwischen Ingenieurwissen und EDV-Kenntnissen zu schließen.

Es ist offensichtlich, daß diese Schwierigkeiten in der Personalfrage vor allem für kleinere Ingenieurbüros sehr schwer lösbar sind. Ein Ausweg ist möglicherweise die Zusammenarbeit mehrerer Büros mit dem Ziel, sich gegenseitig personell auszuhelfen. Es ist natürlich nicht einfach, hier die Partner so auszuwählen, daß es zu keinen konkurrenzbedingten Kollisionen kommt.

Aus den genannten organisatorischen Gründen bekommt die Zusammenarbeit zwischen Benutzer und Lieferanten von Hard- und Software besondere Bedeutung. Offensichtlich besteht großer Bedarf nach qualifizierter Beratung, vor allem im ersten Jahr nach der Inbetriebnahme eines neuen CAD-Systems.