

Prof. Dr.-Ing. M. Geiger, Dipl.-Ing. U. Geißler und Dipl.-Ing.  
M. Hoffmann, Erlangen

# Rechnergestützte Fertigungsvorbereitung für komplexe Blechbiegeteile\*

Zur weitgehend automatisierten Fertigungsvorbereitung in der Blechbearbeitung wurde ein CAP-System entwickelt: NC-Programme für die Laserstrahlanlage können mit Hilfe der Verfahrenskette Laserstrahlschneiden automatisch erstellt werden. Das CAP-System unterstützt den Bediener auch bei der Generierung des Biegestadienplans. Laufende Entwicklungen werden es durch Einsatz eines Expertensystems ermöglichen, auch die NC-Programmierung für die Biegemaschine zu automatisieren.

**Computer-aided process planning for complex sheet-metal parts.** A CAP system was developed for largely automated production scheduling in sheet machining. NC programs for a laser plant can be automatically generated with the aid of the process chain. The CAP system prompts the operator even when generating the plan for bending stages. Ongoing developments will also permit the automation of NC programming for the bending machine with the aid of an expert system.

## 1 Bearbeitungszelle mit Laserstrahlschneidanlage und Biegemaschine

Im Rahmen eines von der Industrie geförderten Projekts wurde eine flexible Blechbearbeitungszelle (Bild 1) aufge-

\* Die Verfasser danken der Firma Siemens und dem Freistaat Bayern für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten im Rahmen des Forschungsprojekts PAP (Projekt automatisierter Produktionssysteme). Zusätzlicher Dank gilt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), die seit Oktober 1989 im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Flexible automatisierte Umformtechnik“ das Forschungsprojekt „Erarbeitung eines wissensbasierten Systems zur Biegestadienplanung“ fördert.

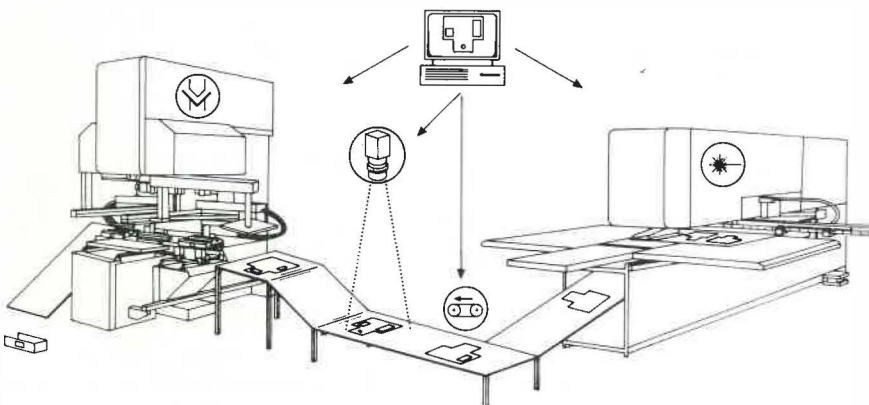


Bild 1. Die Blechteile werden auf einer 2D-Laserstrahlanlage zugeschnitten und anschließend auf einer Biegemaschine fertigbearbeitet

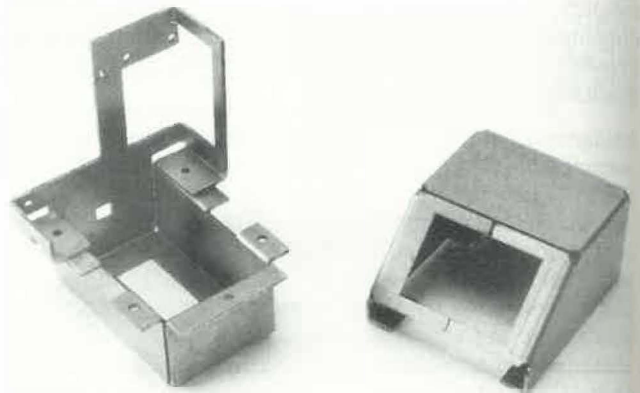


Bild 2. Die Anlage erlaubt die Fertigung eines breiten Blechteilespektrums im Teilemix

baut. Die Zelle ist ausgelegt für die Produktion von Teilen mit maximalen Abmessungen von  $400 \times 400$  mm in kleinen bis mittleren Stückzahlen (Bild 2).

Aufgabenschwerpunkte waren Konzipierung und Aufbau der Zelle sowie die Entwicklung von Software zur weitgehenden Automatisierung der Fertigungsvorbereitung und der Fertigung selbst.

Ein Zellenrechner übernimmt die Verwaltung und Abwicklung der Aufträge. Zur flexiblen Verkettung der beiden Maschinen dient ein Transportbandsystem. Eine Kleinteilerutsche entsorgt die Blechteile nach dem Losschneiden auf das Transportband. Zu biegende Teile werden über das Sortierband auf das als Puffer fungierende Zwischenlagerband abgelegt. Abfall und nicht zu biegende Teile werden ausgeschleust und separiert.

Bei der Entsorgung der Laserstrahlanlage geht die Lagezuordnung der Blechbiegeteile verloren. Daher wird zunächst mit einem Bildverarbeitungssystem die Position des Blechteils vor dem Einlegen in die Biegemaschine aufgenommen. Das in die Biegemaschine integrierte Handhabungssystem korrigiert dann die Position anhand der Bildverarbeitungsdaten.

## 2 Spezielles Planungssystem für die Blechbearbeitung

Konventionelle CAD-Systeme genügen den Anforderungen der automatisierten Arbeitsvorbereitung in der Blechbearbeitung nicht. Gerade beim Laserstrahlschneiden und beim Biegen sind zur automatisierten Planung von Arbeitsschritten aufwendige Modellanalysen und geometrische Betrachtungen notwendig. Das große Datenvolumen und die Komplexität von CAD-Modellen erschweren diese Operationen. Dies war Veranlassung zur Eigenentwicklung des CAP-Systems Manicap (Modular Automated NC-Integration).

Dieses CAP-System wird zur Planung der Fertigungsoperationen sowie zur Generierung der erforderlichen NC-Programme und Fertigungsdaten eingesetzt. Das Funktionspektrum des Systems wurde speziell auf die Anwendungen in der Fertigungsvorbereitung von Blechbiegeteilen abgestimmt. Bei der Implementierung der Basisfunktionen und Konzipierung des Datenmodells konnten bereits blechteil-spezifische Eigenschaften berücksichtigt werden.

Blechteile lassen sich unter Vernachlässigung der Blechdicke durch Folienmodelle beschreiben. Die über das gesamte Blechteil konstante Blechdicke wird als Attribut an den Körper angefügt. Biegeschenkel werden als Flächen und Biegezonon als Biegekanten abgelegt. Zusätzliche Geometrieinformationen sind als Attribute anzufügen. Daraus ergibt sich eine an Formelementen orientierte Struktur.

Durch die vereinfachte Beschreibung der Bauteile konnten der Datenumfang gegenüber der Darstellung als Volumenmodell auf etwa 20% reduziert und die Informationsdichte vergrößert werden. Der Datenzugriff wurde vereinfacht und die Verarbeitungsgeschwindigkeit etwa um den Faktor 100 gesteigert.

Bild 3 zeigt die Modellstadien bei der Arbeitsplanung mit dem System. Das Volumenmodell wird zunächst vom CAD-System in das Arbeitsplanungssystem übertragen und dabei umgeformt. Der hierzu eingesetzte Konverter wird auf das jeweils verwendete CAD-System abgestimmt. Blechteile werden anschließend in das Folienmodell umgesetzt. Dieses dient als Informationsgrundlage bei den weiteren Planungsschritten. Für die automatisierte Biegestadienplanung müssen unter Umständen eine Vielzahl von Biegefolgen ausgetestet werden. Wesentliche Zeitfaktoren sind hierbei die Generierung der Abwickelstufen und die notwendigen Kollisionskontrollen; beides läßt sich mit dem Folienmodell effizient durchführen.

Aus der Abwicklung des Blechteils wird der Zuschnitt mit den zu schneidenden Innen- und Außenkonturen des Blechteils abgeleitet. Der Zuschnitt dient ebenfalls als Datenbasis zur Ermittlung signifikanter Kennzahlen für die Lageerkennung.

## 3 Fertigungsvorbereitung für das Laserstrahlschneiden

In der Konstruktion wird unter Einsatz von CAD eine dreidimensionale Beschreibung des Fertigteils erzeugt (Bild 4). Nach der Konvertierung des CAD-Modells zum CAP-Folienmodell erfolgt die Komplettabwicklung des Bauteils

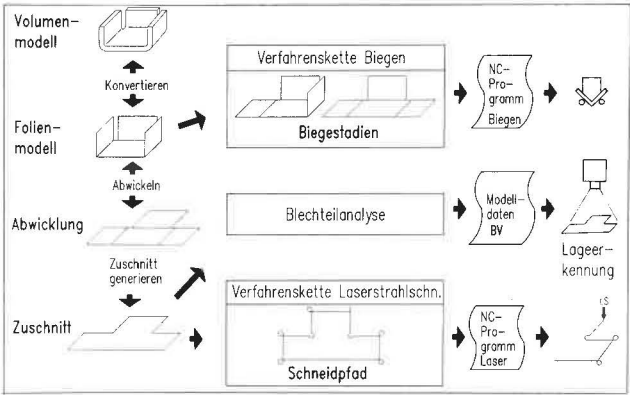


Bild 3. Entsprechend den Planungsschritten durchläuft das CAP-Modell verschiedene Zustände, aus denen die Fertigungsdaten abgeleitet werden (LS = Laserstrahl)

ohne Berücksichtigung der Biegefolge. Dabei werden zu jeder Biegekante die Technologiewerte bestimmt und als Attribut angefügt.

Zur exakten Bestimmung des Zuschnitts ist das durch den Umformprozeß bedingte Längen der Biegeschenkel zu berücksichtigen. Der Abkantfaktor beinhaltet außerdem die durch die Ausformung der Biegezone bedingten Gestaltabweichungen. Aus der Abwicklung werden die zu schneidenden Konturen abgeleitet.

Eine interaktive Schachtelhilfe unterstützt die Anordnung der Blechteile in der Blechtafel. Der Schachtelplan liefert die zur weiteren Verarbeitung durch den Technologieprozessor „Laserstrahlschneiden“ notwendigen Informationen. Unter Berücksichtigung der Geometrie legt er eine optimierte Schnittfolge fest und wählt geeignete Schneidparameter, um die gewünschte Schnittqualität zu erzielen. Es werden Anschnittfähnen gesetzt, kritische Konturelemente erkannt, der erforderliche Offset durch den Strahldurchmesser berücksichtigt und Informationen zur Teileentsorgung geliefert.

Bei der Wahl geeigneter Schneidparameter gilt es insbesondere, die Bauteilerwärmung durch die eingekoppelte Laserenergie abzuschätzen. Die wärmephysikalischen Eigenschaften des Werkstoffs und die Geometrie angrenzender Konturen bestimmen die in das Werkstück abgeleitete Energie. Das maschinenunabhängige Ausgabeformat des Technologieprozessors (CLDATA) wird durch den Postprozessor in den maschinenspezifischen NC-Code umgesetzt [1].

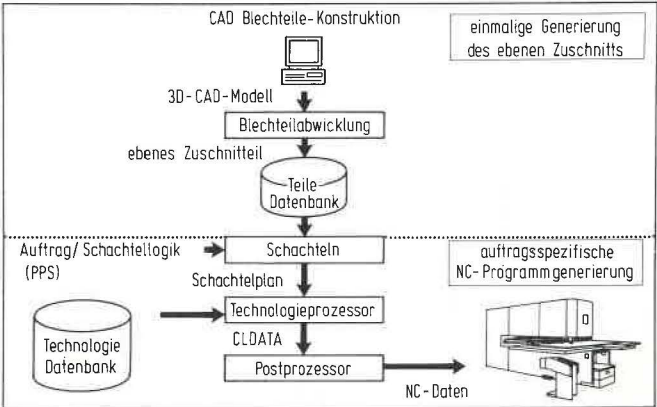


Bild 4. Automatisierte Off-line-Programmierung einer 2D-Laserstrahlanlage



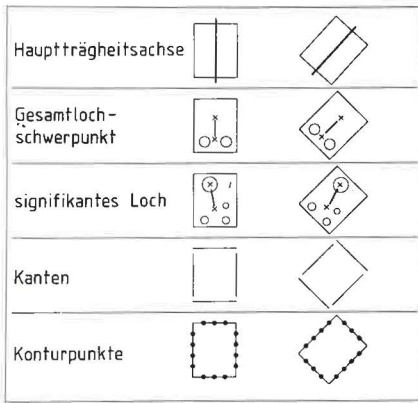


Bild 5. Verfügbare Kennzahlen: Das Bildverarbeitungssystem erkennt fünf lagebestimmende Merkmale von Teilen

#### 4 Lageerkennung ebener Blechteile

Aus dem Zuschnitt wird für die Lageerkennung ein Bildmodell abgeleitet [2]. Die verwendeten Merkmale beziehungsweise Kennzahlen sind in Bild 5 dargestellt. Das Bildverarbeitungssystem kann aus einer Auswahl dieser Kennzahlen die Lage des Teils bestimmen. Die Auswahl selbst wird anhand der CAD-Daten vorgenommen.

Mit dem CAP-System werden zuerst globale und einfach zu ermittelnde Parameter berechnet, beispielsweise Fläche oder Schwerpunkt des Teils und der Ausbrüche. Der nächste Schritt ist die Bestimmung der Rotationssymmetrie. Falls eine Symmetrie vorliegt, muß dem Bildverarbeitungssystem mitgeteilt werden, wieviele identische Lagen das Teil einnehmen kann. Ein Problem bildet die Behandlung von Teilen, die nur geringfügig von einer rotationssymmetrischen Form abweichen. Sind Einzelheiten vom Bildverarbeitungssystem nicht mehr sicher erkennbar, so muß das Teil von der automatischen Lagekorrektur ausgeschlossen werden. Um solche Teile herausfiltern zu können, wird eine „unscharfe“ Symmetriebetrachtung durchgeführt, das heißt, kleine Features gehen in die Symmetriebetrachtung nicht mit ein.

Die Kennzahlen aus Bild 5 werden nun in der angegebenen Reihenfolge daraufhin untersucht, ob sie für das aktuelle Teil aussagekräftig genug sind. Aus den Kennzahlen, mit denen die Lage des Werkstücks mit ausreichender Sicherheit erkannt werden kann, wird nun die Teilebeschreibung für das Bildverarbeitungssystem generiert.

Alternativ zu den Kennzahlen können auch Konturlinien oder -punkte bestimmt werden. Die Lagegenauigkeit ist aber

geringer, so daß auf diese Möglichkeit nur dann ausgewichen wird, wenn alle anderen Kennzahlen keine eindeutige Aussage liefern. Einige Konturlinien oder Konturpunkte werden trotzdem immer mit übergeben, um erkennen zu können, ob ein falsches Teil vor der Optik liegt.

Das Bildverarbeitungsmodell wird vom Zellenrechner passend zum erwarteten Werkstück an das Bildverarbeitungssystem weitergegeben. Nach der Lageerfassung werden die Koordinaten des Teils an die Biegemaschine übergeben.

Zur Lagekorrektur sind die NC-Biegeprogramme so modifiziert, daß sie die übergebenden Lagedaten auswerten können. Durch die pneumatische Zentriereinheit in der Aufnahme position ist gewährleistet, daß das Teil immer auf dem Drehteller der Biegemaschine abgelegt wird. Auf dem Drehteller kann die Drehlage korrigiert werden. Die translatorische Korrektur wird bei der ersten Greifoperation in der Biegemaschine berücksichtigt. Danach kann das NC-Programm unverändert ablaufen.

#### 5 Fertigungsvorbereitung Biegen

Dem Biegestadienplan kommt in der Fertigungsvorbereitung von Blechbiegeteilen eine zentrale Rolle zu. Er gibt die Abfolge der zu biegenden Kanten, die dabei zu verwendenden Werkzeuge, Positionen von Werkzeug und Blechteil sowie die Handhabungsoperationen zwischen den Biegeoperationen vor.

Mit Hilfe des Abwickelmoduls lassen sich die verschiedenen Biegestadien des Blechteils unter Berücksichtigung der Abkantfaktoren im CAP-Datenmodell abbilden. Zur interaktiven Biegestadienplanung steht eine Graphikoberfläche zur Verfügung. Hier kann die vorab automatisch vorgenommene Werkzeugvorauswahl abgeändert und eine Biegefolge festgelegt werden. Die Werkzeugbewegungen und Biegeoperationen werden graphisch simuliert. Tritt während des Vorgangs eine Kollision des Werkstücks mit sich selbst oder mit dem Werkzeug auf, erhält der Bediener eine entsprechende Warnung, und er muß eine andere Biegefolge wählen oder ein anderes Werkzeug einsetzen [3].

Unter Verwendung der Funktionen des Volumenmodellers eines CAD-Systems wurde die Generierung von Biegefolgen automatisiert. Die Auswahl der Biegekanten erfolgt in diesem Prototyp algorithmisch. Die Kollisionsbetrachtungen werden mit Hilfe des allgemeingültigen Kollisionsmoduls durchgeführt. Die große Zahl theoretischer Möglichkeiten ( $n!$ ) für eine Biegefolge und die notwendigen Kollisionsbetrachtungen in jedem Schritt verursachen jedoch zu lange Antwortzeiten.

Im Folienmodeller wurden deshalb schnelle Kollisionsalgorithmen implementiert. Sie ermöglichen das Generieren kollisionsfreier Biegefolgen innerhalb wesentlich kürzerer Zeit. Eine geeignete Biegefolge wird jedoch durch eine Reihe weiterer Faktoren beeinflusst. Maschinenkonzept und Handhabungssystem geben entscheidende Randbedingungen für die Biegestadienplanung vor (Bild 6). Genauigkeitsanforderungen, Abmessungen und Komplexität des Werkstücks sowie Anzahl der Biegekanten und deren Lage zueinander sind wesentliche Aspekte bei der Auswahl der Maschine und der Festlegung einer Biegefolge.

Biegesequenzen sind so zu bestimmen, daß möglichst wenig Sonderwerkzeuge notwendig sind. Rüstzeiten werden verringert, indem die auf der Maschine verfügbaren Werkzeuge für verschiedene Blechteile genutzt werden. Der wirtschaftlichste Biegestadienplan für ein Blechteil kann, je nachdem mit welchen Teilen es im Mix hergestellt wird, unterschiedlich aussehen. Bild 1 zeigt beispielhaft zwei Blech-

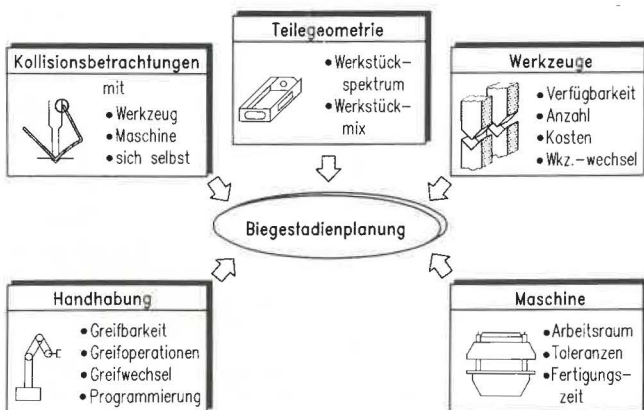


Bild 6. Eine geeignete Biegefolge wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst



teile, die mit den gleichen Werkzeugen im Teilemix hergestellt wurden.

Zur Verarbeitung aller Bewertungskriterien während der Biegestadienplanung bietet sich der Einsatz eines Expertensystems an. Anhand von Regeln und Daten sowie durch logisches Verknüpfen oder Verwerfen wird eine Lösung zu der gestellten Frage beziehungsweise Aufgabe gefunden [4]. Das Biegefolgen-Expertensystem bewertet Biegestadien und unterstützt die Auswahl der als nächstes zu biegenden Kante.

Bild 7 zeigt die vorgesehene Anbindung wissensbasierter Module an das CAP-System. Das Kriterium „Handhabbarkeit“ soll getrennt in einem eigenen System behandelt werden, da sich je nach eingesetztem Handhabungssystem unterschiedliche zu berücksichtigende Aspekte ergeben. Entsprechend ist ein Expertensystem-Modell (XPS-Modell) zu erstellen, das die notwendigen Informationen enthält. Zu jeder ausgewählten Biegekante überprüft das Modul „Handhabung“ zunächst nur die Handhabbarkeit.

Der Sequenzer übernimmt eine zentrale Rolle. Er fordert vom Expertensystem die Bewertung der Biegekanten zu einem Biegestadium an und läßt entsprechend der dadurch vorgegebenen Reihenfolge Handhabbarkeit sowie Kollisionsfreiheit zu den Biegeoperationen überprüfen. Die Bewertung der einzelnen Biegestadien wird verwaltet. Falls eine vom Expertensystem vorgeschlagene Biegefolge zu einem unerwünschten Stadium führt, wird entsprechend dieser Bewertung die nächstbeste Möglichkeit untersucht.

Wurde eine geeignete Biegefolge gefunden, kann daraus der Biegestadienplan abgeleitet werden, der als Grundlage bei der Generierung des NC-Programms dient. Der Programmgenerator greift dazu auf das Modul „Handhabung“ zu, um die erforderlichen Handhabungsoperationen festzulegen.

Literatur

1. Hoffmann, M.; Geißler, U.: Anwendungssoftware für die automatisierte Fertigungsvorbereitung in der Blechbearbeitung. Teil 1: Laserstrahl schneiden. CAD-CAM Report 8 (1989) 9, S. 104-111.  
2. Geißler, U.: Anwendungssoftware für die automatisierte Fertigungsvorbereitung in der Blechbearbeitung. Teil 3: Lageerken-

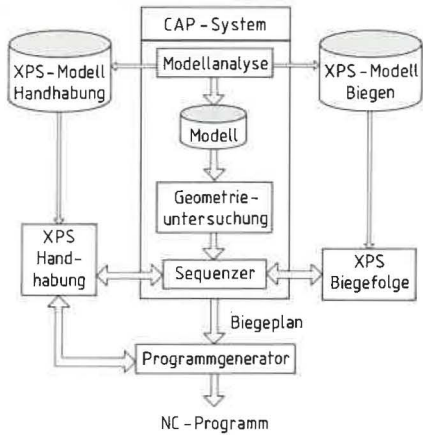


Bild 7. Die Biegestadienplanung wird mit Hilfe von wissensbasierten Modulen automatisiert

nung von ungeordneten ebenen Blechteilen. CAD CAM Report 8 (1989) 12, S. 50-55.  
3. Hoffmann, M.; Geißler, U.: Anwendungssoftware für die automatisierte Fertigungsvorbereitung in der Blechbearbeitung. Teil 2: Biegestadienplanung. CAD CAM Report 8 (1989) 10, S. 58-65.  
4. Ehrismann, R.; Reisner, J.: Intelligente Fertigung von Biege-, Stanz- und Laserschneidteilen. Technische Rundschau 27 (1987), S. 24-27.

Die Autoren dieses Beitrags

Professor Dr.-Ing. Manfred Geiger, Jahrgang 1941, studierte Maschinenbau an der Universität Stuttgart. Nach der Promotion am Institut für Umformtechnik der Universität Stuttgart war er mehrere Jahre in leitenden Stellungen in der Industrie tätig. Er ist seit 1982 Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungstechnologie an der Universität Erlangen-Nürnberg und seit 1987 Sprecher des Forschungsverbunds Lasertechnologie Erlangen.

Dipl.-Ing. Uwe Geißler, Jahrgang 1956, studierte Verfahrenstechnik an der Universität Erlangen-Nürnberg und arbeitete nach dem Studium zwei Jahre in der Industrie. Seit 1985 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungstechnologie und seit 1987 Leiter der Automatisierungsgruppe.

Dipl.-Ing. Martin Hoffmann, Jahrgang 1962, studierte Fertigungstechnik an der Universität Erlangen-Nürnberg und ist seit 1988 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungstechnologie.  
11785 A

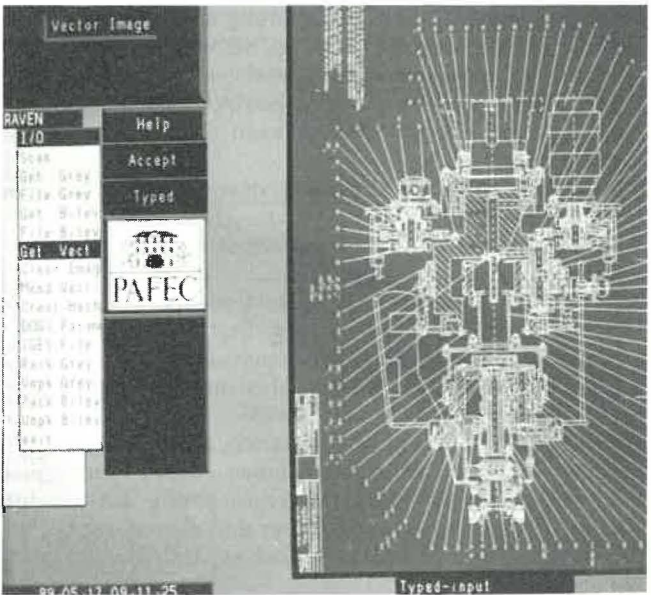
Zeichnungen in CAD-Darstellungen transferieren

Die Erfassung und CAD-gerechte Aufbereitung konventionell erstellter Zeichnungen ist ein noch nicht zu befriedigend gelöst. Zu den Neuentwicklungen auf diesem Gebiet zählt das Bildabtast- und -aufnahmesystem Raven der Softwarefirma Pafec. Wichtige Merkmale dieses Systems sind seine schnelle Abtastfunktion, die Handhabung von Raster- und Vektorformaten, die dynamische Bildverarbeitung sowie die Funktion des Säuberns und Verarbeitens fleckiger oder schmutziger Zeichnungen.

Das erfaßte Bild kann als Rasterhintergrund verwendet werden, der vergrößert, verändert oder mit CAD-Einheiten wie Linien, Bogen und Symbolen überlagert werden kann. Das Bild kann aber auch vektorisiert und somit als CAD-Zeichnung verwendet werden. Der Scanner des Systems löst ein Bild in bis zu 400 dpi (dots per inch) auf.

Zeichnungen bis zum Format A0 können in wenigen Sekunden erfaßt und an einen leistungsstarken Bildübersetzer weitergeleitet werden. Das System kann freistehend oder als integraler Bestandteil eines CAE-Systems eingesetzt werden. Es läßt sich mit fast allen CAD-Systemen kombinieren.

33475/N2



Bildabtast- und -aufnahmesystem