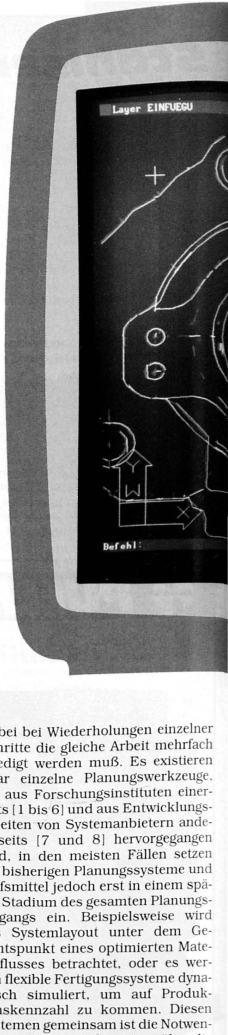
Aufwand verringern

Nutzung integrierter Cad-Systeme zur Planung und Auslegung von flexiblen Fertigungsanlagen



Bis dato wird die Planung und Auslegung flexibler Fertigungssysteme noch überwiegend manuell vorgenommen. Der Aufwand und die damit verbundene Zeit für die Durchführung eines Planungsvorgangs sind weder im Interesse des Auftraggebers noch im Interesse des dienstleistenden Unternehmens. Daher ist es notwendig, rechnerunterstützte Planungssysteme einzuführen, die sowohl Zeit- und Kostenersparnis als auch die parallele Betrachtung von Systemvarianten ermöglichen.

Uwe Heisel, Nicholas Matten und Jürgen Voigt

MM Maschinenmarkt

Die Planung und Auslegung von flexiblen Fertigungssystemen erfordert ein hohes Maß an Fachkenntnissen und wird daher entweder von den Planungsabteilungen der Systemanbieter oder von auf Projektplanung spezialisierten Engineering-Firmen durchgeführt. Selten verfügt ein Neuanwender über genügend Kenntnisse, um die sehr komplexe Systemplanung selbst durchführen zu können. Aus seiner Sicht ergeben sich daher die in Tafel 1 gezeigten Alternativen, um ein System nach seinen Spezifikationen auslegen zu lassen.

Nach wie vor wird die Planung aufgrund der Nachteile bei der Eigenplanung zumeist von Werkzeugmaschinenlieferanten durchgeführt. Das Risiko, wegen mangelnder Erfahrung Systeme, die mit hohen Investitionsbeträgen verbunden sind, unwirtschaftlich oder technisch nicht gemäß den angestrebten Produktionszahlen entsprechend auszulegen, zwingt den Anwender sich vorab auf Systemanbieter zu beschränken und dadurch schon während der Planungsphase eine Produktbindung in Kauf nehmen zu müssen. Die Probleme, die bei der Planung und Auslegung auftreten, liegen in dem Ablauf des Planungsvorgangs. Zwar läßt sich die Planung in eine Kette von logischen Schritten aufteilen, die zeitlich auch nacheinander folgen (Bild 1), jedoch verläuft der Vorgang iterativ in mehreren Durchläufen. Damit wird es für unerfahrene Planer schwierig, den Überblick über alle vorgegebenen Randbedingungen und im Laufe der Planungsschritte hinzugewonnenen Eckdaten zu behalten. Eine Hilfe hierbei wären Planungswerkzeuge, die unter Anwendung moderner Rechnertechnologien den Planer bei seiner Arbeit unterstützen und mit deren Hilfe der Planungsablauf transparenter gestaltet werden könnte.

Planung und Auslegung flexibler Systeme

Trotz ihrer vielen Vorteile werden bis heute nur einzelne, rechnergestützte Hilfsmittel bei der Planung genutzt. Die Mehrzahl der Operationen werden noch manuell bearbeitet, wobei bei Wiederholungen einzelner Schritte die gleiche Arbeit mehrfach erledigt werden muß. Es existieren zwar einzelne Planungswerkzeuge, die aus Forschungsinstituten einerseits [1 bis 6] und aus Entwicklungsarbeiten von Systemanbietern andererseits [7 und 8] hervorgegangen sind, in den meisten Fällen setzen die bisherigen Planungssysteme und -hilfsmittel jedoch erst in einem späten Stadium des gesamten Planungsvorgangs ein. Beispielsweise wird das Systemlayout unter dem Gesichtspunkt eines optimierten Materialflusses betrachtet, oder es werden flexible Fertigungssysteme dynamisch simuliert, um auf Produktionskennzahl zu kommen. Diesen Systemen gemeinsam ist die Notwendigkeit, daß die Information über die Anzahl der Maschinen und die Maschinentypen als Eingangsgrößen vorliegen müssen. Für die Investitionskosten und die später erreich-

Prof. Dr.-Ing. Uwe Heisel ist Lehrstuhlinhaber des Instituts für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart, Dipl.-Ing. Nicholas Matten ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des selben Instituts und Geschäftsführer des Zentrums Fertigungstechnik Stuttgart (Vorstand: Prof. G. Pritschow, Prof. K. Siegert, Prof. G. Rehm; Direktoriumsmitglied Prof. U. Heisel), Dipl.-Ing. Jürgen Voigt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Werkzeugmaschinen im Zentrum Fertigungstechnik Stuttgart.

baren Werkstückkosten ist jedoch auch entscheidend, wie diese Eingangsgrößen zustande kommen.

Der Bedarf an Maschinen wird bei der Bearbeitungsplanung festgelegt, bei der mit den als Ausgangsbasis dienenden Geometrie- und Produktionsdaten der Werkstücke festgelegt wird, in welchen Schritten und mit welchen Werkzeugen das zu fertigende Teilespektrum produziert werden soll. Hierbei wird auch festgestellt, welche Bearbeitungszeiten anfallen. Multipliziert man die Bearbeitungszeiten mit den jährlichen Produktionszahlen und dividiert das Ergebnis durch die mögliche Maschinenlaufzeiten (unter Berücksichtigung von Randbedingungen wie Verfügbarkeit der Anlage oder Schichtenregelung), erhält man Vorgaben für die Anzahl der notwendigen Maschinen. Hieraus wird ersichtlich, daß beispielsweise geringe Einsparungen mit der Auswahl von kostengünstigen Schneidplatten (und damit verbunden niedrigere Schnittgeschwindigkeiten) eine Verteuerung eines kompletten Systems zur Folge haben kann. Der Bearbeitungsplanung muß daher bei der Entwicklung von rechnergestützten Planungssystemen mehr Gewicht verliehen werden. Die Rechnerunterstützung muß bereits zu Anfang der Planung beginnen bei der Festlegung der Aufspannung(en), Bearbeitungsverfahren und -werkzeuge. Hierzu ist es notwendig, daß die Werkstückgeometrie, die durchgehend benötigt wird, in geeigneter Form vorliegt, das heißt als Cad-Datensatz. Danach kann, unter weitgehender Verwendung von bereits bestehenden, autarken Komponenten, dem Planer ein wichtiges Hilfswerkzeug zur Verfügung gestellt werden.

Die grundlegende Integration ist mit einen Cad-System zu erreichen. Die Voraussetzung für die rationelle Cad-Anwendung ist, wie erwähnt, daß die Werkstückzeichnungen in einem für Cad-Systeme lesbaren Format vorliegen oder daß die Zeichnungen mittels eines Scanners zunächst als Pixelgrafik eingelesen und im Anschluß mittels einer geeigneten Konvertierungssoftware vektorisiert werden können. Der erste Weg über den direkten Austausch von Cad-Daten ist derzeit nicht anwendbar, weil im Gegensatz zur Automobilindustrie Schnittstellen wie Iges und VDA-FS im Werkzeugmaschinenbau nicht sehr weit verbreitet ist. Statt dessen ist es heute noch notwendig, vorhandene Werkstückzeichnungen über einen Scanner in ein lesbares Datenformat zu übernehmen. Das Problem hierbei liegt nicht in der Hardware, sondern in der Software zur Zeichnungsvektorisierung. Es reicht nicht aus, die eingelesene Information als Anzahl von Punkten – das heißt Pixels – zu erhalten, sondern die Geometrie muß in Form von Vektoren (zum Beispiel Gerade, Kreisbogen) vorliegen, damit eine Weiterverarbeitung mit Cad stattfinden kann.

Werkstückzeichnungen in Rechner übernehmen

Auf dem Markt sind eine Anzahl von Scan-Systemen verfügbar, die für DIN-A0-Format von etwa 60 000 bis annähernd 800 000 Mark kosten. Die Preise werden von der verwendeten Hardwareplattform einerseits und der Leistungsfähigkeit der Software andererseits bestimmt. Bei der Hardware muß zwischen PC-basierten Lösungen und solchen unterschieden werden, die auf Workstations aufsetzen. Weil nahezu alle Systeme besondere Erweiterungskarten verwenden, bestimmt das Basissystem mit seiner Komplexität und aufgrund patentrechtlicher Faktoren (Offenheit des internen Datenbus) den Marktpreis.

Die Scanner selbst sind kostengünstig. Ein Unterscheidungskriterium neben dem Format ist die Auflösung, die wie bei Laserdruckern in Pixel je Zoll angegeben wird und meist zwischen 150 und 400 liegt. Bei 300 Pixeln/Zoll ist die höchste Auflösung, das heißt das kleinste Objekt was erkannt werden kann, ein Punkt mit einem Durchmesser von etwa 8,5 µm. Bei dieser Auflösung benötigt eine DIN-A0-Zeichnung einen Speicherbedarf von über 20 Megabyte. Deshalb setzen manche Anbieter Systeme mit großen Arbeits-

Tafel 1: Planungsalternativen aus der Sicht des Anwenders

Auswirkung / Systemplanung	Vorteil	Nachteil
Werkzeugmaschinenlieferant	spezifisches Know-how mit der Produktpalette, hohes Interesse an Planungserfolg (→ Auftrag)	Planung für verlorene Aufträge, kalkulatorisch unübersichtlich, hoher, stetiger Personal- und Sachaufwand, auf spezifische Produktpalette beschränkt
Engineering-Beratungsunternehmen	unabhängig, überparteilich, mehrere Anbieter aus einer Hand (Generalvertretung)	kein eigenes Know-how, Detailplanung extern, keine Lieferverantwortung, teuer
Eigenplanung des Anwenders	hohe Treffsicherheit bezüglich Planungsziel, Planungsrisiko in Eigenverantwortung	kein eigenes Know-how bezüglich Lösungsmöglichkeit, Planungskosten in Eigenverantwortung

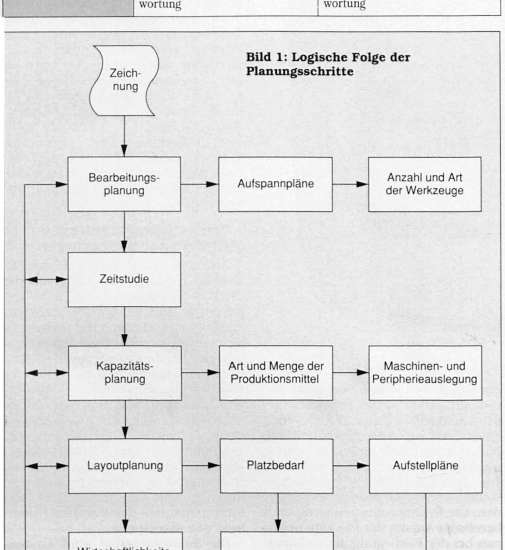


Bild 1: Logische Folge der Planungsschritte

speichern ein (32 oder 64 MByte), was aber bei den derzeitigen Preisen von rund 1 000 Mark/Megabyte Ram hohe Systemkosten mit sich bringt. Mit mathematischen Algorithmen kann die Zeichnungsinformation beim Abspeichern auch auf 1 bis 2 MByte Daten reduziert werden, wodurch sich die Hardwarekosten reduzieren und es zudem möglich wird, mit kostengünstigen Personalcomputern unter MS-Dos zu arbeiten.

Für den Anwender ebenso wichtig ist die Leistungsfähigkeit und der Bedienungskomfort der Software. Oft zeigt es sich, daß die Systeme der unteren Preisklasse leichter zu bedienen und durchaus für technische Zeichner/innen mit geringen Cad-Kenntnissen handhabbar sind, während komplexere Systeme eine gründliche Einarbeitung benötigen. Neben den Bedienaspekten werden die Anforderungen an die Scan-Software von eventuell nachfolgenden Applikationen bestimmt. Sollen die eingescannten Informationen nur archiviert oder frisch ausgeplottet werden, reicht eine Pixeldarstellung aus. Für die Weiterverarbeitung mit Cad muß in eine Vektordarstellung konvertiert werden. Beispielhaft für einen Ausschnitt aus einer A0-Zeichnung wird dieser Vektorisierungsvorgang in den Bildern 2 bis 6 gezeigt.

Computer aided design als integrierendes Element

Bild 2 zeigt die Zeichnung, wie sie dem Planer oft vorliegt. Störend sind dabei Verschmutzungen und handschriftliche Anmerkungen. Nach dem Einscannen, was etwa 2 bis 15 Minuten dauert, liegt dem Rechner die in Bild 3 gezeigte Information vor. Um Flecken, wie beispielsweise Unreinheiten des Papiers, zu entfernen, werden zunächst „Speckles" gefiltert, indem das System einzelne Pixel oder Pixelgruppierungen weglöscht, die keine angrenzenden weiteren Pixel berühren (Bild 4). Zusätzlich kann die Zeichnung auf der Pixelebene editiert werden, falls dies notwendig ist (Durchziehen von unterbrochenen Linien). Vor der Vektorisierung hat die Zeichnung dann das in Bild 5 gezeigte Aussehen. Bei der Vektorisierung ist es möglich, unterschiedliche Linienstärken einzelner Ebenen (Layers) zuzuordnen. In der Regel wird minimal zwischen Körperlinien, Maß- und Hilfslinien sowie Schrift unterschieden. Die Zuordnung erfolgt über Toleranzfenster, in denen eine Mindest- und eine Maximalbreite einer Linie (in Pixeln) eingegeben wird. Der Vektorisierungslauf dauert, je nach System (Soft- und Hardware!) und Zeichnung (Größe, Auflösung), von wenigen Minuten bis über eine Stunde. Die Beispielzeichnung hat nach der Vektorisierung das Aussehen wie in Bild 6.

Weil die Vektorisierung aller Zeichnungsinhalte bis heute nicht vollständig zufriedenstellend möglich ist, erweist es sich als günstig, wenn im Cad das vektorisierte Bild über das Pixelbild gelegt werden und der Bediener die nichterfaßten Informationen nachträgt. Der gesamte

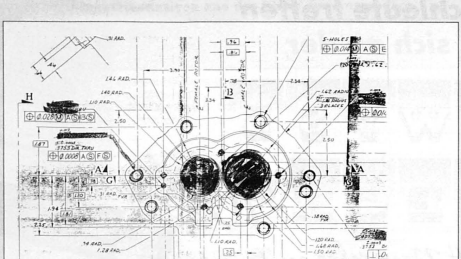


Bild 2: Beispielwerkstücke als Planungsvorlage

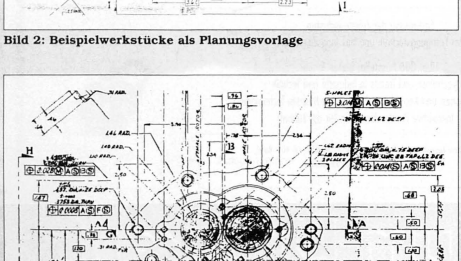


Bild 3: Beispielwerkstück nach dem Einscannvorgang

Bild 4: Pixeldarstellung nach Speckle-Filterung

Vorgang für das Scannen, Editieren und Vektorisieren einer DIN-A0-Zeichnung ist für einen geübten Bediener in rund einer Stunde durchführbar, so daß bei häufiger Anwendung ein Scan-System der unteren Preisklasse für die Planung und Auslegung von FFS wirtschaftlich anwendbar ist.

Konzeption eines Planungssystems

Vor dem Hintergrund einer weltweit rasanten Entwicklung auf dem Gebiet flexibel automatisierter Produktionsanlagen wird an der Entwicklung eines integrierten, durchgängigen Planungssystems gearbeitet. Dazu sind bisher nur teilweise verkettete Bausteine, wie Cad- und Cam-Systeme, Arbeitszeitanalyse oder Simulationssysteme für einen durchgängigen Datenfluß in einem ganzheitlich konzipierten Rahmen unter einer Benutzeroberfläche einzubinden.

Das Systemkonzept basiert auf grafischen Einzelplatzrechnern, beispielsweise Personal-Computer oder Workstation. In der ersten Stufe wird ein Scanner über eine Interface mit dem Rechner verbunden, was zusammen mit der geeigneten Software die Übernahme von Zeichnungen in ein Cad-System ermöglicht.

Nachdem die Werkstückgeometrie als Cad-Datensatz vorhanden ist, können dann beispielsweise die Spannvorrichtungen, die standardisiert als Makros hinterlegt sind, interaktiv vom Planer an die Werkstücke angebracht und ausgewählte Werkzeuge für einzelne Bearbeitungsschritte im Eingriff dargestellt werden. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, Vorlagen durchzupausen und beispielsweise die Bearbeitungspläne von Hand zu erstellen. Mit diesem Schritt wird der Planer bei der ersten durchzuführenden Planungsstufe bereits erheblich entlastet und der Vorgang beschleunigt.

Ein weiterer Automatisierungsschritt wird später mit der Abbildung des dem Planer eigenen heuristischen Wissens mit wissensbasierten Systemen gegeben, die Vorschläge für die Vorrichtungspositionierung und Bearbeitungsplanung machen, die der Benutzer in Interaktion mit dem Rechner übernehmen oder verwerfen kann. Ergänzend hierzu laufen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der automatisierten Aufrüstung von Spannelementen. Bei der Bearbeitung von prismatischen Werkstücken in automatisierten Produk-

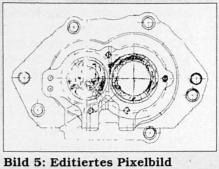


Bild 5: Editiertes Pixelbild

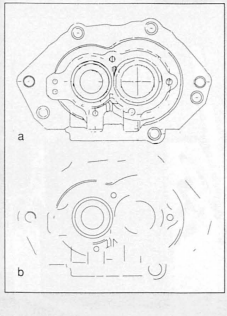


Bild 6: Vektorisiertes Beispielwerkstück
a Gesamtansicht in Cad,
b hinzugefügte Vektoren

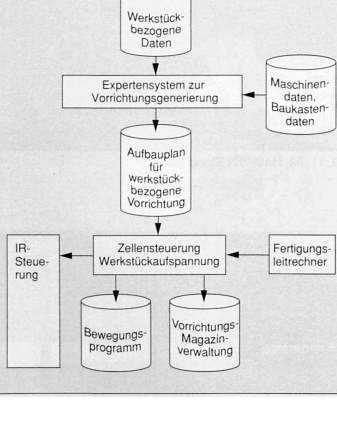


Bild 7: Datenfluß bei der Generierung von Bewegungsprogrammen für Montageroboter

tionseinrichtungen werden die Werkstücke indirekt meist über Paletten manipuliert. Die Paletten werden dazu mit Spannvorrichtungen aufgerüstet, wobei oft Baukastensysteme verwendet werden. Bisher erfolgt das Aufrüsten manuell, was der Automatisierung Grenzen setzt und kostenintensiv ist. Das Ziel der Entwicklungsarbeiten ist, das Montieren der Vorrichtungen mit einem Portalroboter zu automatisieren, wobei die Maschinenbefehle für den Portalroboter direkt aus dem Cad-Datensatz generiert werden (Bild 7) [9]. Dieser Automatisierungsschritt ist wiederum für die Planung wichtig, weil die Lage der Spannvorrichtungen in die Kollisionsbetrachtung bei der Bearbeitungsplanung eingeht.

Planungsaufwand deutlich verringern

Die Bearbeitungsplanung macht den Zugriff auf Schnittwerte der in Betracht zu ziehenden Werkstoff/Werkzeug-Kombination notwendig. Der Anwendungsbereich von Datenbanken, insbesondere relationaler Datenbanken, liegt bei der Repräsentation der Werkstück-, Technologie-, Maschinendaten sowie in der Zuordnung der Preise bei der Angebotserstellung. Neben grafischen und wissensbasierten Komponenten sind algorithmierbare Module ebenfalls zu integrieren, wie beispielsweise die Kapazitätsplanung und Wirtschaftlichkeitsrechnung. Für die Simulation der gesamten Anlage können grafische Simulationswerkzeuge, die eine sehr anschauliche Darstellung ermöglichen, nach Bereitstellung der erforderlichen Daten angewendet werden. Die während der Planung aufgezeichnete Entscheidungsfindung kann je nach Wunsch in schriftlicher Form oder auf einem Datenträger dokumentiert werden. Die Forschungsarbeiten haben zum Ziel, dem Planer ein integriertes, durchgängiges Planungssystem zur Verfügung zu stellen, um nicht nur den Planungsaufwand deutlich zu senken, sondern auch die Voraussetzungen für die Variantenbeurteilung anhand objektiver Vergleichskriterien zu schaffen. Dazu faßt man den logischen und zeitlichen Informationsfluß in einem integrierten, rechnergestützten Planungssystem zusammen. Das soll jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß der Vorgang iterativ im „Pilgerschrittverfahren" ablaufen muß.

Schrifttum

[1] Schmidt, H.: Konzeption eines Kostenmodells für integrierte Systeme, gezeigt am Beispiel flexibler Fertigungssysteme. VDI Fortschrittsberichte Reihe 20 Nr. 17. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989.
[2] Zeitz, W.: Grundlagen zur rationellen Auslegung flexibler Fertigungsstraßen. Dissertation, RWTH Aachen, 1985.
[3] Erkes, K. F.: Gesamtheitliche Planung flexibler Fertigungssysteme mit Hilfe von Referenzmodellen. Dissertation, RWTH Achen, 1988.
[4] Straub, D.: Planung der Fertigungseinrichtungen für flexible Fertigungssysteme zur Bearbeitung prismatischer Werkstücke. Dissertation, Universität Stuttgart, 1980.
[5] Hausknecht, M.: Expertensystem zur Konfigurationplanung flexibler Fertigungsanlagen. VDI Forschungsbericht Reihe 2 Nr. 178. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989.
[6] Granow, R.: Strukturanalyse von Werkstückspektren – Planungsmittel beim Aufbau flexibel automatisierter Fertigungen. VDI Fortschrittsbericht Reihe 2 Nr. 74. Düseldorf: VDI-Verlag 1984.
[7] Fricke, F., u.a.: Flexible Fertigungssysteme in der Praxis. Firmenschrift der Werner und Kolb Werkzeugmaschinen GmbH, Berlin. Herausgegeben anläßlich des Anwendersymposiums „FFS in der Praxis" am 1. und 2. Dez. 1988 in Berlin.
[8] Schuster, J., Viehweger, B.: Rechnergestützte Projektierung und Angebotserstellung für flexible Fertigungssysteme. Firmenschrift der Werner und Kolb Werkzeugmaschinen GmbH, Berlin.
[9] Thiel, W., Lang, C. M.: Automatisch aufbaubare, flexible Spannvorrichtung für prismatische Werkstücke. tz für Metallbearbeitung 82 (1988) 1/2, S. 37 – 41.