

Friedhelm LIERATH, Rudolph MEYER, Karsten SYDOW

Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

## **EINSATZ WISSENSBASIERTER PLANUNGSSYSTEME IN MITTELSTANDSFIRMEN**

**Zusammenfassung:** Dieser Beitrag befaßt sich, exemplarisch für die Angebotsplanung, mit den Einsatzmöglichkeiten wissensbasierter Planungssysteme in Mittelstandsfirmen.

### **1. Einführung**

Wissensbasierte Systeme sind ein vieldiskutiertes aber auch ein erfolgreiches Teilgebiet der 'Künstlichen Intelligenz'. In der Vergangenheit wurden Expertensysteme undifferenziert als universelle Antwort auf fast jede rechentechnisch zu lösende Aufgabe proklamiert. Dies weckte überhöhten und zum Teil unerfüllbaren Erwartungen, die i.d.R. natürlich enttäuscht werden mußten. Nach nüchterner Betrachtung haben sich die Anwendungsgebiete herauskristallisiert in denen Vorteile gegenüber herkömmlich programmierten Systemen erreichbar sind. Wissensbasierte Konfigurationssysteme und wissensbasierte Beratungs- / Unterstützungssysteme sind de facto schon als Stand der Technik zu betrachten.

Die Attraktivität wissensbasierter Systeme ist, wie die folgenden Ausführungen belegen werden, auch schon für Mittelständischen Unternehmen gegeben. In den weiteren Betrachtungen beziehen wir uns auf die Implementierung eines wissensbasierten Angebotsplanungsmoduls, welches auf der Generierung fertigungstechnischer Daten basiert.

### **2. Situation in der Angebotsplanung**

Das veränderte Kundenverhalten, resultierend aus der Globalisierung der Märkte und dem daraus entstehenden erhöhten Wettbewerbsdruck, stellt durch produktspezifische, problemorientierte Kundenwünsche immer größere Anforderungen an die Flexibilität der Produktionsbetriebe.

Für die Angebotsplanung in den Zulieferfirmen des Automobil- und Maschinenbaus ergibt sich die paradoxe Situation, daß zwar die Anzahl der Kundenanfragen steigt, die Zahl der erteilten Aufträge dagegen stagniert bzw. sogar rückgängig ist. Zusätzlich zwingt die aktuelle Marktsituation viele

Unternehmen zu einer Einschränkung ihres Kalkulationsrahmens und damit zu einer höheren Planungsgenauigkeit als sie bisher praktiziert wurde.

Ist man diesen neuen Anforderungen nicht gewachsen, können infolge der Überlastung von Planungsabteilungen unpräzise Angebote erstellt werden. Überteuerte Angebote sind in der Regel Grund für eine Nichterteilung des Auftrages. Angebote, bei deren Bearbeitung wichtige Kostenfaktoren nicht berücksichtigt wurden, führen entweder zu einem Verlust beim kalkulierten Gewinn, wenn nicht sogar bei der Produktion an sich, oder aber zu einem Imageverlust des Unternehmens bei der Nachbesserung des Angebotes. Es besteht natürlich auch die Möglichkeit, daß Anfragen von potentiellen Kunden gänzlich unbeantwortet bleiben.

Kleine und mittelständische Unternehmen, die bisher gar nicht bzw. nur sehr zaghaft Computer einsetzen, werden sich die Methoden der EDV zur Bewältigung ihrer Probleme zu Nutze machen müssen, um auf dem immer härter werdenden Markt bestehen zu können.

### **3. Aufgaben und Ziele der Angebotsplanung**

Das Angebot als Reaktion auf eine Kundenanfrage muß den Angebotspreis und den möglichen Liefertermin und kann die Dokumentation der angebotenen Problemlösung, Gewährleistungen und Garantien sowie evtl. ein Finanzierungsangebot enthalten.

Der Prozeß der Angebotserstellung wird u.a. nach technisch-technologischen und nach betriebswirtschaftlichen Aspekten unterschieden. Die technisch-technologische Angebotsplanung beinhaltet die eigentliche Lösungsfindung. Ihre Resultate bilden die Grundlage für die betriebswirtschaftliche Angebotsplanung (z.Bsp. Preisbestimmung, Lieferterminfestlegung). Die rechentechnische Realisierung der betriebswirtschaftlichen Seite der Planung stellt in der Regel kein Problem dar. Es handelt sich hierbei meist um rein mathematische Zusammenhänge, die sich auch mit konventionellen Mitteln relativ leicht auf dem Computer darstellen und lösen lassen.

Dagegen sind während der technisch-technologischen Angebotsplanung Konfigurations-, Generierungs- und Anpassungsaufgaben zu lösen, die auf betriebs- und fachspezifischem Wissen aufbauen, was unter Umständen teilweise oder auch vollständig als menschliches Erfahrungswissen vorliegt und welches sich entsprechend der innerbetrieblichen Entwicklung verändern kann. Konventionelle Systeme sind hier oftmals überfordert. Eine Alternative stellt die Implementierung wissensbasierter Systeme dar.

### **4. Wissensbasierten Angebotsplanung**

Konventionelle Systeme beinhalten in ihrem Programmcode eine vollständige Beschreibung, wie Eingangsdaten in Ausgangsdaten überführt werden. Die grundlegende Struktur des

Programmablaufes ist unabhängig von den Eingangsdaten immer gleich. Die generative Planung (Neuplanung) und die Alternativplanung kann von konventionellen Planungssystemen, welche meist auf der Basis von Entscheidungstabellen arbeiten, nur sehr begrenzt unterstützt werden. Bei der generativen Arbeitsplanung ist gemeinhin keine automatische Erzeugung aller angebotsrelevanten technologischen Daten möglich. Alternativplanungen betreffen die Wahl anderer Materialien, Betriebsmittel oder Arbeitsgänge, um eventuellen Engpässen durch Kapazitätsabgleich ausweichen zu können. Im Allgemeinen ist die Entscheidungstabellentechnik nicht praktikabel, da die Zahl der Bedingungen quadratisch und die der Regeln sogar exponentiell mit jeder definierten Betriebssituation wächst.

Wissensbasierte Systeme enthalten im Gegensatz zu den Konventionellen lediglich die Informationen, was für die Lösung verschiedener Probleme zur Verfügung steht und wie es eingesetzt werden kann. Wie dieses Wissen verwendet wird, richtet sich stark nach dem jeweiligen Problem, also den aktuellen Eingangsinformationen. Die explizite Trennung des im System enthaltenen Wissens von den fest programmierten Verarbeitungs-algorithmen, welche das Wissen in einem konkreten Problem zur Lösung verwendet, gehört zu den wesentlichen Eigenschaften wissens-basierter Systeme. Eine starke Modularisierung führt zu einer wesentlich verbesserten Strukturierungs- und Wartungsmöglichkeit des Fachwissens, was nicht zuletzt die spätere Erweiterung und Pflege entscheidend erleichtert.

Durch die gesamtheitliche Betrachtung der Faktenbasis mit Hilfe wissensverarbeitender Techniken ermöglicht ein Expertensystem, das Wissen einzelner Spezialisten für alle in die Planung einbezogene, Mitarbeiter verfügbar zu machen. Hierin besteht der Hauptvorteil des Einsatzes von Expertensystemen, wodurch die gesamte Qualität der Angebotskalkulation entscheidend verbessert werden kann. Der Analyse und Auswertung der angebotsrelevanten Daten wird entscheidende Bedeutung eingeräumt. Dadurch ist es möglich, die exemplarisch ermittelten Anforderungen und Restriktionen für nicht untersuchte Anwendungsfälle zu verallgemeinern.

Die Stärke der KI-Systeme liegt im Wissen. Es ist augenscheinlich sehr effektiv bei der rechentechnischen Lösung bestimmter Planungsaufgaben u.a. auf betriebliches Wissen zugreifen zu können, welches bisher nur als menschliches Erfahrungswissen vorlag. Diese Stärke der KI-Technologie stellt aber auch ihr Hauptproblem dar. Die Transformierung diffusen menschlichen Wissens (Wissen über Konzepte, Faktenwissen und Heuristiken, Prozeduren und Meta-Wissen, das die Auswahl und Durchführung der Prozeduren überwacht) in rechentechnisch beherrschbare Strukturen stellt große Anforderungen an die Systementwicklung. Jedes für ein Unternehmen implementierte Expertensystem enthält betriebsspezifisches Wissen und ist demzufolge immer ein

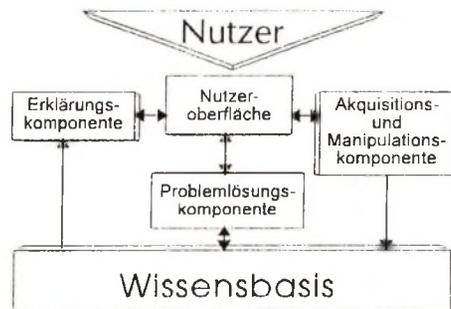


Bild 1. Architektur wissensbasierter Systeme

Unikat. Die zur Zeit realisierten wissensbasierten Planungsmodule bestätigen diese These. Es handelt sich fast ausschließlich um Anwendungen, die auf ganz spezielle Unternehmen zugeschnitten wurden.

Der Entwurf von Expertensystemen ist komplex und langwierig. Die zur Zeit verfügbaren Entwicklungswerkzeuge für Expertensysteme, sogenannte 'Shells', sind recht teuer und aufgrund ihrer komplexen und universellen Anwendbarkeit auch recht kompliziert. Die Wissensakquisition kann in der Regel nur von KI-Spezialisten, dem Knowledge Engineer, ausgeführt werden.

Hier sind die Ansatzpunkte für die weitere Entwicklung von Wissensbasierten Systemen zu finden. Man kann auf die Wissensakquisition bei der Implementierung und weiteren Anpassung von wissensbasierten Systemen nicht verzichten. Man muß und wird Mittel und Methoden finden um den dazu notwendigen Aufwand zu minimieren und um nutzerfreundlichere Systeme zu gestalten.

### 5. Konzeptionierung eines Generierungsmoduls für die "Wissensbasierte Planung"

Diese Überlegungen waren Ausgangspunkt für die Kozeptionierung und Implementierung eines wissensbasierten Moduls zur Generierung von Arbeitsplanungsdaten für Einzelteile zu einem möglichst frühen Planungszeitpunkt. Das zu beschreibende Modul kann in:

- Konfigurationssystemen zur Ermittlung der Fertigungszeiten und -kosten der Hausteile,
- Konstruktionssystemen zur fertigungstechnischen Optimierung von Einzelteilen schon während der Konstruktion oder auch in
- Arbeits- bzw. Angebotsplanungssystemen für Einzelteile

eingesetzt werden

Letzteres, ein Angebotsplanungssystem, wurde vom IFQ entwickelt. Das System demonstriert die Möglichkeiten wissensbasierter Angebotsplanungsmodule. Es wurde für die Durchführung der Kalkulation von Zahnrädern implementiert. Die einzelnen Elemente dieses Systems sind so strukturiert, daß eine Anpassung an andere fertigungstechnische Bedingungen (Betriebe, Bauteilgruppen ...) relativ leicht realisierbar ist.

Ausgehend von einer objektorientierten, featurebasierten, komplementär-differen-

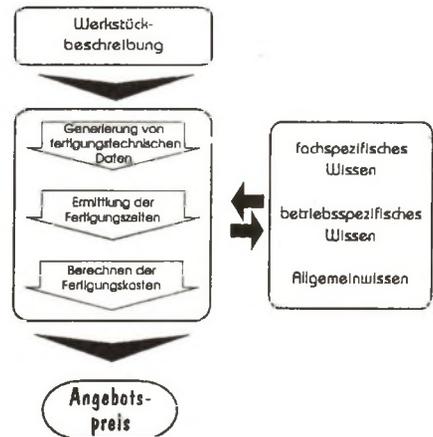


Bild 3. Schritte zur Bestimmung des Angebotspreises

zierenden Werkstückbeschreibung werden fertigungstechnische Daten generiert (Verfahren, Maschine, Einstellwerte ...) auf deren Grundlage eine Fertigungszeitermittlung und Kostenrechnung durchgeführt wird. Die Kalkulation erfolgt für Einzelteile. Voraussetzung ist das Vorliegen einer Werkstückzeichnung, einer aussagekräftigen Skizze oder einer anderen Form der detaillierten Bauteilbeschreibung. Der Implementierung des Systems ging eine umfassende Akquirierung des betriebs- und zum Teil auch des fachspezifischen Wissens im entsprechenden Unternehmen voraus. Bei der Entwicklung dieses Systems wurden die Planungs- und Fertigungsbedingungen mittelständischer Unternehmen berücksichtigt. Eine CAD-Anbindung ist zwar für einzelne Implementationen vorgesehen, aber für ein universelles System zur Zeit nicht realisierbar. Die Vielzahl der CAD-Systeme, die Unzulänglichkeiten der Schnittstellen sowie das Unvermögen vieler Systeme und Systemnutzer zum featureorientierten Arbeiten machen es, zum jetzigen Zeitpunkt, unmöglich, auch nur andeutungsweise universelle Routinen zur Kopplung des Angebotsplanungs- mit den CAD-Systemen zu definieren. Erst in jüngster Vergangenheit sind Bedingungen geschaffen worden, die eine Kopplung von CAP- an CAD-Systeme auf einer breiten Basis möglich erscheinen lassen (ACIS-Modellierer, STEP)

## 6. Generierungsgrundlagen

Ausgehend von einer featurebasierten Werkstückbeschreibung werden Arbeitsplanungsdaten generiert. Featurebasierte Werkstückbeschreibungen resultieren aus der Erkenntnis, daß der Arbeitsplaner bestimmte Elemente erkennt, die ihm Hinweise auf die anzuwendenden Realisierungsmethoden geben. Feature müssen neben reinen Geometriedaten auch Qualitätsanforderungen und können schon fertigungstechnische Informationen enthalten. Die Schrittfolge zur Generierung von Arbeitsplanungsdaten hat in der Regel den im Bild 3 gezeigten Aufbau. Variationen und Ergänzungen sind durchaus möglich. Die Generierung muß nicht immer in der dargestellten Detailliertheit ausgeführt werden. Es ist in der Angebotsphase nicht möglich, z. Bsp. alle zu verwendenden Drehwerkzeuge kostenmäßig zu erfassen. In solchen Fällen muß ein auf betrieblichen Erfahrungen ermittelter Pauschalwert zugeschlagen werden. Andernfalls kann z. Bsp. die Ermittlung der verwendeten Meßmittel von Bedeutung sein. Wichtig für das Angebotskalkulationssystem ist, daß alle kostenbestimmenden Komponenten in die Ermittlung einfließen.

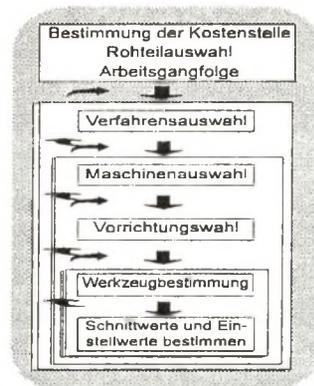


Bild 5. Mögliche Schrittfolge zur Arbeitsplanungs-generierung

Die Struktur der Wissensbasis beruht auf den genannten, allgemeingültigen Methoden und Arbeitsschritten. Eine strenge Modularisierung und konsequente Objektorientiertheit der Wissensbasis garantieren die relativ leichte Anpassung an andere betriebliche Bedingungen. Selbst enthält sie sowohl Allgemeinwissen als auch fach- und betriebsspezifisches fertigungstechnisches Wissen. Es werden die verschiedensten Formen des Wissens verarbeitet. Eine eindeutige Terminologie zur Beschreibung der Wissensformen hat sich in der Literatur noch nicht durchgesetzt. Zweckmäßig ist es nach einem Vorschlag von John Gammack zu unterscheiden in:

- **Wissen über Konzepte**, in dem die Terminologie und die Eigenschaften von Konzepten festgehalten sind ( z.Bsp. Grobarbeitspläne für bestimmte Bauteilgruppen )
- **Faktenwissen und Heuristiken**, um bestimmte Sachverhalte zu repräsentieren ( z.Bsp. exzentrische Bohrungen können nicht auf einer 'normalen' Drehmaschine gefertigt werden oder Dachkantenbearbeitung => ZaFRu; Stirnkantenbearbeitung => ZK7 )
- **Prozeduren**, die feste Vorgehensweisen darstellen ( z.Bsp. Berechnung der Einstellwerte und Kosten )
- **Meta-Wissen**, das die Auswahl und Durchführung von Prozeduren überwacht ( z.Bsp. erst Maschine wählen, dann Einstellwerte ermitteln )

Das Wissen kann als Regeln, Klassen und Objekten abgebildet werden. Bestimmte Objekteigenschaften sind natürlich auch in der Datenbank abgelegt ( Schnittwerte, Maschinenkosten, Mehrmaschinenfaktoren ... ).

Ziel der Generierung ist das Schaffen der Voraussetzungen zur Ermittlung der Fertigungszeiten und -kosten. Es werden sowohl die Arbeitsgangfolge als auch für jede kostenrelevante Arbeitsstufe alle Arbeitsplanungsdaten ermittelt.(Bild 4). Die ermittelten Werte werden so abgelegt, daß sie im Fall der Auftragserteilung dem Arbeitsplaner sofort zur Verfügung stehen. Für stufenarme Arbeitsgänge (z.Bsp. Verzahnungswälzfräsen, Wälzstoßen) ist es durchaus denkbar, die Daten als NC-Programm zu abzulegen.

Die meisten Unternehmen orientieren sich bei der Ermittlung ihrer Plandaten an den Normen des Verbandes für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. "REFA". Die Planzeiten/Soll-Zeiten werden als Vorgabezeiten definiert. Grundlage für die Ermittlung sind die Werkstückbeschreibung und die bereits generierten Arbeitsplanungsdaten. Vorgabezeiten enthalten auch Anteile für nicht genau vorrausbestimmbare Ablaufabschnitte. Eine durchgehende Berechnung der einzelnen Komponenten ist demzufolge nicht möglich, einige müssen auf der Basis erhobener Werte (z.Bsp. Systeme vorbestimmter Zeiten) bestimmt, andere können eventuell nur geschätzt werden. Das hierzu notwendige Wissen wurde in das System implementiert. Es ermöglicht die Ermittlung der Fertigungszeiten mit einem Detaillierungsgrad, der den Stand heutiger Angebotsplanungssysteme bei

**Arbeitsstufen - Verzahnungswälzfräsen**

Fraesen\_4.61      x 1      Ausführung

---

Maschine:      ZFWZ 250 CNC (PE 250)       -Stückspannung  
Werkzeug:      Ø  mm       gänglg

---

Einstellwerte	Drehzahl [U / min]	Vorschub [mm / WU]	Fräsweg [mm]
1. Schnitt	<input type="text" value="212"/>	<input type="text" value="5.00"/>	<input type="text" value="161.5"/>
2. Schnitt	<input type="text" value="265"/>	<input type="text" value="6.00"/>	<input type="text" value="150.7"/>

---

**Anteil an den Vorgabezeiten**

th	4.02 min	tb	1.20 min	tu	0.50 min
tw	0.28 min	tr	1.50 Std/Los		

---

Bild 4. Generierungsergebnis - Arbeitsgang Verzahnungswälzfräsen

weitem übersteigt, doch für die möglichst genaue Ermittlung der Fertigungskosten unbedingt benötigt wird.

Die Fertigungskosten werden in solche unterteilt, die für jedes Bauteil nur einmal, die für jeden Fertigungsauftrag einmal und die proportional der gefertigten Menge anfallen. Erst diese Aufteilung ermöglicht eine stückzahlabhängige (Auftrag; Los) Kostenbetrachtung. Die eigentliche Preisbestimmung muß auf den ermittelten Kosten basieren. Die Methoden der Preisbestimmung sind aufgrund ihrer Kunden- und Situationsgebundenheit so diffizil, daß, trotz der mathematischen Banalität, die Ermittlung dem Planer überlassen wird.

## 7. Zusammenfassung

Die steigenden Anforderungen an die Angebotsplanung werden in den meisten Fällen nur mit dem verstärkten Einsatz von Rechentechnik zu meistern sein. Konventionelle Planungssysteme stoßen

hier recht schnell an ihre Grenzen und unterstützen den Planer nur sehr begrenzt. Eine Alternative ist der Einsatz wissensbasierter Systeme. Sie sind in Ihrer Anschaffung relativ teuer, bauen aber u.a. auf betriebspezifischem Wissen, auch wenn es 'nur' als menschliches Erfahrungswissen vorliegt, auf Aufgaben, an denen konventionelle Systeme i.d.R. scheitern (Arbeitsplangenerierung, Konfigurationsaufgaben ...), werden von wissensbasierten Systemen schnell und zuverlässig erfüllt. Sie verfügen über Mechanismen, die eine Anpassung der Wissensbasis an betriebliche Veränderungen ermöglicht.

Art	Maschine	Kosten [DM]				Zeiten (min)							
		Einzel-	Ampl.-	Verb.-	MOB	MOE	E_akt	E_ges	t_h	t_n	t_w	t_w	t_r(D)
Zeh-entgr.	EK 7	0.20	11.25	363.00	1	1.00	0.01	0.01	0.11	0.11	0.09	0.07	0.75
Wahlstr	EFWS 250 CNC	3.40	84.00	2730.00	2	0.35	7.29	4.01	4.02	1.70	0.40	0.70	1.50
Schleifen	IS 315	1.60	40.00	2330.00	1	1.00	4.90	4.80	4.04	0.45	0.40	0.00	2.00
Drehen	DF 340 CNC	4.20	23.00	1300.00	2	0.30	20.20	10.10	15.04	1.63	1.59	0.79	1.00
Bohren	BAR 25 x 4	1.97	9.60	300.00	1	1.00	7.39	7.39	5.12	1.50	0.31	0.28	0.60
<b>Summe</b>		<b>10.42</b>	<b>139.85</b>	<b>7360.00</b>			<b>20.60</b>	<b>27.22</b>	<b>10.10</b>	<b>6.03</b>	<b>3.09</b>	<b>1.41</b>	<b>0.00</b>

Warten von Max 22 1993 11:47:13

Statistik Drucken OK Hilfe

Bild 5. Zeit und Kostenwerte

## Literatur

- [1] Binner, H.-F. Flexible Auftragsabwicklung sichert den wirtschaftlichen Erfolg Werkstattstechnik 81 (1991), S 637...641
- [2] Feller, H.-J. Mit KI-Methoden Arbeitsgangfolgen planen und optimieren AV 27 (1990), S 59... 61
- [3] Feigenbaum, E. Engineering-The Applied Side of the Artificial Intelligence Stanford University, 1980
- [4] Karbach, W. Wissensakquisition für Expertensysteme  
Linstner, M. Carl Hanser Verlag, 1992
- [5] Krause, F.-L. Wissensverarbeitung für die rechnergestützte Produktgestaltung ZwF 85 (1990) 3, S 146 ... 150
- [6] Mertens, P. Analyse konventioneller und wissensbasierter Arbeitsplanung CIM Management 3/91, S 9 ... 11

- [7] Sydow, K. Implementierung wissensbasierter Angebotsplanungsmodule für Firmen des Mittelstandes auf der Basis technologischer Daten  
O-v-G-Uni Magdeburg, Forschungsbericht Juni 1993
- [8] Ahrens, D. Angebote mit wissensbasierten System erstellen  
Breitling, F. ZwF 86 (1991) 2; S 92 .. 95
- [9] Grabowski, H. Rationelle Angebotsbearbeitung in Unternehmen mit Auftragsfertigung  
Girardet Verlag 1978
- [10] Saupe, S. Einsatzmöglichkeiten der Expertensystemen bei der  
Nürnberger, J. Arbeitsgangdeterminierung;  
O-v-G-Uni Magdeburg, IFQ, Magdeburg 1991
- [11] Saupe, S. Lösungsstrategie, -konzept und exemplarische Implementierung eines  
Expertensystems zur wissensbasierten Angebotskalkulation auf der  
Basis technologischer Fertigungsunterlagen  
O-v-G-Uni Magdeburg, IFQ, Magdeburg 1992

Gutachter: Jan Szadkowski