

# Fertigungsinformationen im Konstruktionsprozeß als Bestandteil des Concurrent Engineering

Prengemann, U., Schmitt, R.

*Der folgende Artikel erläutert die Bedeutung von Fertigungsinformationen im Konstruktionsprozeß zur Gewährleistung eines effektiven Concurrent Engineering. Er stellt die Funktionalität eines Fertigungsinformationssystem vor, das aus Daten über realisierte Fertigungsprozesse Fertigungserfahrung erzeugt und als Wissensbasis dem Konstrukteur Unterstützung im Sinne einer integrierten Produktentwicklung bietet. Abschließend wird auf Einsatzpotentiale eines solchen Systems eingegangen.*

*The following article emphasizes the significance of manufacturing information in the design process to enable effective Concurrent Engineering. The functionality of a manufacturing information system which derives manufacturing experience from data about realised manufacturing processes to facilitate integrated product development is presented. Finally possible enhancements and potentials for industrial application of such a system are discussed.*

## 1 Concurrent Engineering

Die Konstruktionsphase stellt einen Entscheidungsprozeß dar, der die Abläufe nachgelagerter Aktivitäten der technischen Auftragsabwicklung weitestgehend festlegt und deren Ergebnisse beeinflusst. Die Problematik, insbesondere bei Neukonstruktionen, liegt in der unzureichenden Verfügbarkeit von Informationen über die zu erwartenden Prozeß- und Produkteigenschaften infolge getroffener Entscheidungen bei der Produktdefinition.

Die schärfer werdende Wettbewerbssituation mit ständig steigenden Anforderungen an Preis, Lieferzeit und Qualität erfordert eine Reorganisation des Produktentwicklungsprozesses mit dem Ziel einer zeitlichen Verkürzung bei gleichzeitiger Ergebnisoptimierung. Dies bedeutet insbesondere, daß die Entscheidungssicherheit zu verbessern ist.

Dieses Ziel verfolgt die Organisationsstrategie "Con-

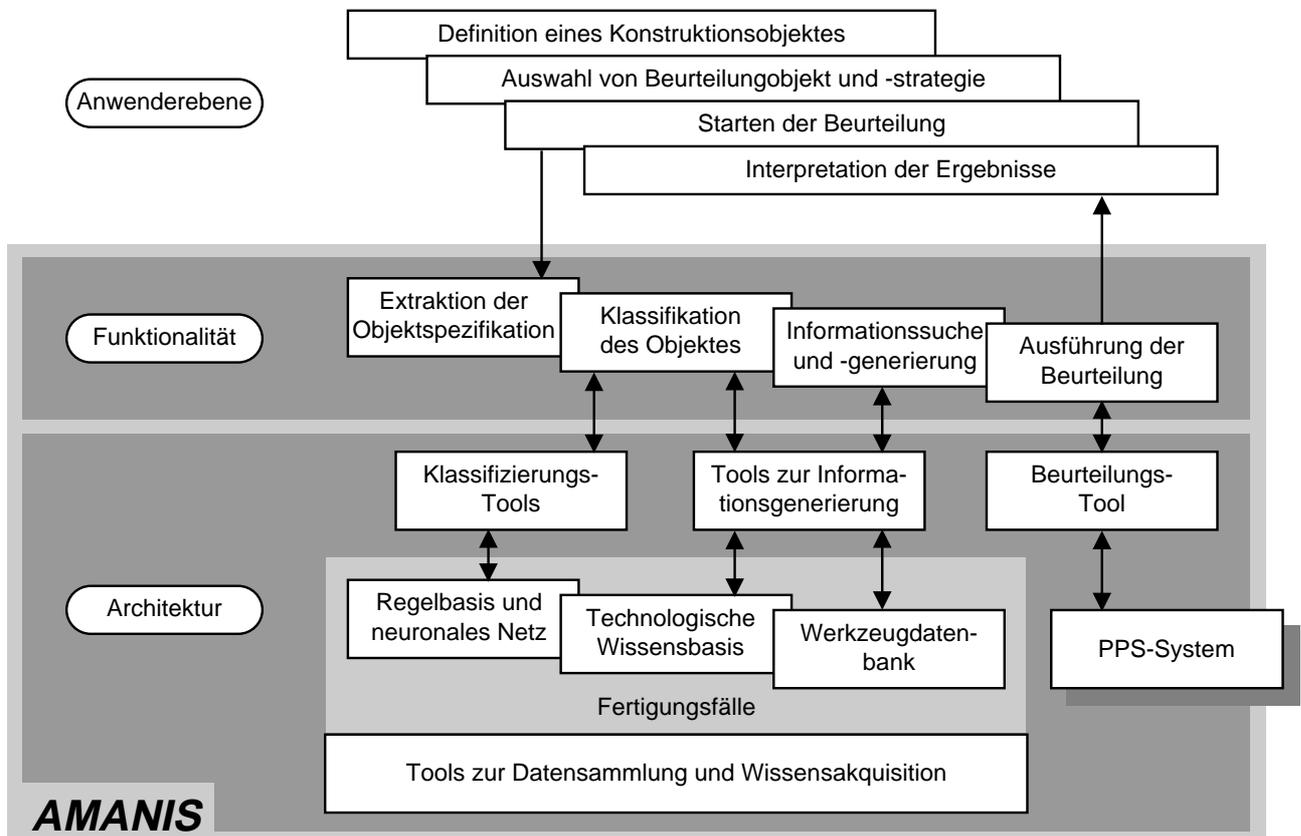


Bild 1: Aufbau des Fertigungsinformationssystems AMANIS

current Engineering", d.h. die simultane Ingenieur-tätigkeit über alle Phasen eines Auftragsabwicklungsprozesses und damit die Abkehr vom tayloristischen Prinzip hin zu einer koordinierten und sich im Sinne einer effektiven Produktentwicklung gegenseitig beeinflussenden Kommunikation /1/.

Durch den Einsatz der Informationstechnologie können dem Konstrukteur wissensbasierte Systeme als Kommunikationsmedien zur Verfügung gestellt werden. Sie bieten Entscheidungsunterstützung bei der Klärung von Detailfragen und stellen somit eine wesentliche Voraussetzung für ein erfolgreiches Concurrent Engineering dar. Die teamorientierte Expertenbefragung bleibt auf komplexe Fragestellungen beschränkt.

## 2 Nutzung von Fertigungsinformationen im Sinne des Concurrent Engineering

Eine Vielzahl informationstechnologischer Ansätze, die sich unter dem Oberbegriff "Concurrent Engineering" zusammenfassen lassen, beschäftigen sich mit der Bereitstellung prozeßbezogener Informationen, um eine fertigungs-, montage- oder wartungsgerechte Produktdefinition zu gewährleisten. Unter dem Gesichtspunkt einer fertigungsgerechten Konstruktion sind folgende Informationen über das zu definierende Produkt von Interesse:

- die grundsätzliche Herstellbarkeit,
- die zu erwartenden Herstellungskosten,
- die zu erwartenden Herstellungszeiten im Hinblick auf vorgegebene Termine und
- die zu erwartende Produktqualität.

Um eine Beurteilung von Herstellbarkeit, Fertigungszeiten und -kosten sowie Produktqualität zu ermöglichen, müssen Informationen über die voraussichtlichen Fertigungsprozesse verfügbar gemacht werden.

Diese Fertigungsinformationen lassen sich grundsätzlich in Informationen aus der Fertigung und Informationen über die Fertigung unterteilen. Sie setzen sich aus Basisinformationen (Beschreibung der Betriebsmittel), Strukturinformationen (Aufbau- und Ablauforganisation), Zustandsinformationen (Termin- und Kapazitätssituation) und Resultaten (Prozeß- und Produktergebnisse) zusammen /2/. Grundlage für die Bereitstellung von Fertigungsinformationen ist die Verfügbarkeit von Fertigungserfahrung. Diese

läßt sich durch Verknüpfung von Daten über realisierte Fertigungsprozesse mit Eigenschaften der zugehörigen Konstruktionsobjekte gewinnen.

## 3 Das Projekt AMANIS

Die Akquisition von Fertigungserfahrung sowie deren bedarfsgerechte Wiedergewinnung und Bereitstellung im Konstruktionsprozeß war das Ziel des dreijährigen Grundlagenforschungsprojektes "Advanced Manufacturing Information System for the Designer (AMANIS)", das von der Kommission der europäischen Gemeinschaften im Rahmen des Brite/Eu-Ram-Programms gefördert wurde. Zusammen mit den Universitäten Cardiff und Athen hat das IMW eine neue Methodik entwickelt, Fertigungsdaten direkt aus der Fertigung zu sammeln, mit relevanten Konstruktionsdaten zu verknüpfen und zu Fertigungserfahrung zu verdichten.

### 3.1 Anwendungsszenario

Der AMANIS-Ansatz geht von dem Vorhandensein eines zumindest geometrisch definierten Konstruktionsobjekts in einem featureorientierten 3D-CAD-System aus. Der Konstrukteur wählt zunächst ein zu beurteilendes Objekt (Feature oder Bauteil) aus und spezifiziert, welche Aussagen zur Herstellung von Interesse sind. Das ausgewählte Objekt wird automatisch dem Fertigungsinformationssystem übergeben und durchläuft dort zunächst einen Erkennungs- bzw. Klassifizierungsprozeß. Anschließend ist es möglich, auf relevante Fertigungserfahrung, die mit gleichen oder ähnlichen Objekten akquiriert wurde, zuzugreifen und in Abhängigkeit von der Option des Konstrukteurs Informationen über die Herstellbarkeit bei gegebener Maschinenausstattung sowie Qualität, Kosten und Fertigungszeit zu generieren. Darauf aufbauend kann die eigentliche Beurteilung der Lösung erfolgen. Das System schlägt dem Konstrukteur alternative Attributwerte (z. B. Toleranzwerte) vor, falls sich die Herstellung des Konstruktionsobjekts hierdurch günstiger gestalten läßt. Dem Konstrukteur obliegt es, die Ergebnisse zu interpretieren und möglicherweise erforderliche Änderungen vorzunehmen.

### 3.2 Systemüberblick

Das Nutzer-Szenario verdeutlicht die erforderliche Funktionalität, die mit den Entwicklungsarbeiten am Fertigungsinformationssystem AMANIS erreicht werden soll. Grundsätzlich kann nicht davon ausgegan-

gen werden, daß ein System mit hohem Akquisitions- und Pflegeaufwand vom Anwender akzeptiert wird. Deshalb stellt die automatische Datenerfassung und Wissensakquisition ein wesentliches Kennzeichen des AMANIS-Ansatzes dar. Der Aufbau des Systems ist in **Bild 1** dargestellt.

Nach der Auswahl des Konstruktionsobjektes im CAD-System extrahiert das Fertigungsinformationssystem relevante Objekteigenschaften und führt eine Klassifizierung durch. Nach der Klassifizierung wird relevante Fertigungserfahrung gesucht und zu den gewünschten Fertigungsinformationen aufbereitet.

Hierzu dienen verschiedene Tools, die geeignete Fertigungsprozesse für ein erkanntes Feature generieren und dabei auf Informationen über einzelne Fertigungsprozeßelemente zurückgreifen. Diese Informa-

tionen sind werkzeugorientiert in einer Datenbasis gespeichert. Die gewonnenen Informationen dienen zur Durchführung der Beurteilung. Hier kann zunächst die generelle Aussage getroffen werden, daß ein dem System bekanntes Objekt herstellbar ist, sofern Fertigungsprozesse zugeordnet werden können. Weitere Auswertungen hinsichtlich Zeiten, Terminen und Kosten erfordern den Zugriff auf Daten der Produktionsplanung und -steuerung sowie des betrieblichen Rechnungswesens. Das System kann in eine Zielkostensystematik eingebunden werden, da es in der Lage ist, die zu erwartenden Herstellungskosten den Zielkosten gegenüberzustellen.

Die Funktionalität wurde prototypisch auf der Grundlage eines feature-basierten CAD-Systems, eines CNC-Fräsbearbeitungszentrums und Einrichtungen zur Maschinen- und Betriebsdatenerfassung implementiert.

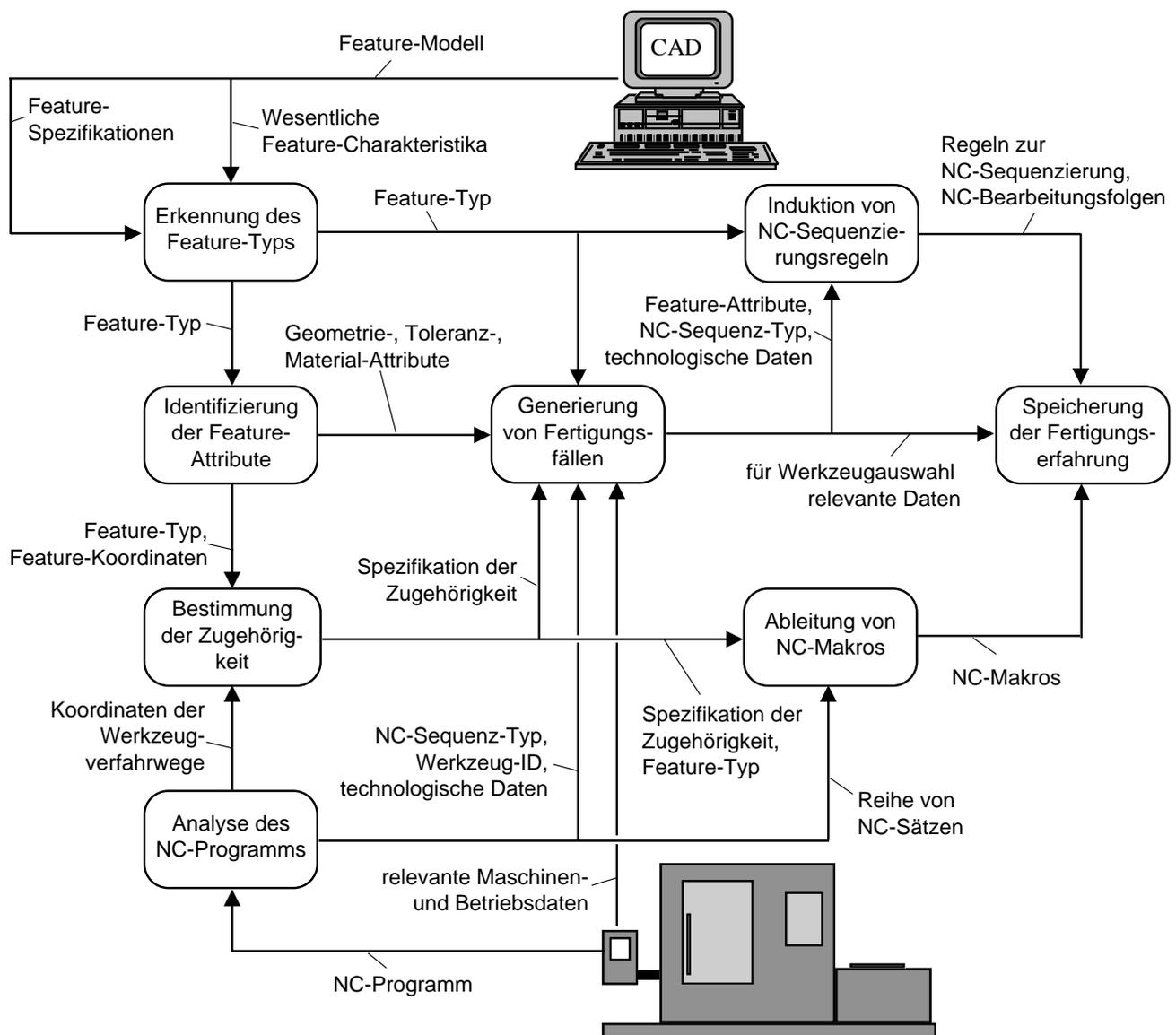


Bild 2: Akquisition von Fertigungserfahrung

### 3.3 Feature-basierter Ansatz

Features werden als geeignetes Medium betrachtet, um zum einen Funktionalität und zum anderen Fertigungsprozeßelemente zu repräsentieren /3-5/. Eine Vielzahl von Werkzeugen des Concurrent Engineering verwenden vordefinierte Features in Verbindung mit standardisierten Fertigungsprozeßelementen /6-9/. Dieser Ansatz eignet sich besonders für spezielle Anwendungsgebiete mit konstanten Rahmenbedingungen. Hinsichtlich eines universellen Einsatzes schränkt er die Freiheit der Produktmodellierung jedoch erheblich ein und wird deshalb vom Konstrukteur nur bedingt akzeptiert.

Deshalb ist ein hybrider Ansatz, der zum einen die Vordefinition häufig verwendeter Features vorsieht und zum anderen intelligente Mechanismen der Featureerlernung und -erkennung bereitstellt, zu bevorzugen /10/. Diese Vorgehensweise erlaubt dem Konstrukteur ein variables Arbeiten ohne dabei auf Restriktionen bei der Feature-Definition achten zu müssen.

Standardisierte Fertigungsprozesse bieten keine ausreichende Flexibilität, um der im allgemeinen dynamischen Termin- und Kapazitätssituation sowie den technologischen Veränderungen in der Fertigung gerecht zu werden. Darüber hinaus bedeutet die häufig "manuelle" Generierung und Verwaltung der Regelbasen einen erheblichen Arbeitsaufwand für die Arbeitsplanung. Dieser Aufwand kann durch den Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz, insbesondere jene der autonomen Wissensakquisition, minimiert werden /11/.

### 3.4 Daten über realisierte Fertigungsprozesse als Erfahrungsgrundlage

Die Wissensakquisition kann zum einen auf der Grundlage früherer Prozeßplanungsergebnisse erfolgen oder aber basierend auf Fertigungsdaten und Ereignissen im Zusammenhang mit der früheren Realisierung von Produkten.

Der vorgestellte Ansatz nutzt die Daten realisierter Fertigungsprozesse, die direkt im Fertigungsbereich gesammelt werden. Hierfür gibt es mehrere Gründe:

- Daten über realisierte Fertigungsprozesse sind zuverlässiger als Planungsdaten, weil diese - insbesondere bei werkstattfern erstellten NC-Programmen - oftmals im Fertigungsbereich nachträglich editiert werden, um sie an veränderte Randbedingungen anzupassen. Diese Änderungen stellen einen Teil der Fertigungserfahrung des Werkstattpersonals dar, den es zu nutzen gilt.
- Es besteht die Möglichkeit, Informationen über besondere Ereignisse, die durch eine unzureichende Produktdefinition verursacht worden sein könnten, zu erfassen und zu verarbeiten.
- Die entwickelten Methoden zur Sammlung von Fertigungsprozeßdaten lassen sich auf die Qualitätsdatenerfassung übertragen. Dadurch ist mit Hilfe der gleichen Methodik eine Erfassung realisierter Produktdaten zur Verifizierung der gesammelten Prozeßdaten möglich.
- Letztendlich eignet sich eine solche Vorgehensweise auch für Fertigungsunternehmen, die eine werkstattorientierte Prozeßplanung und NC-Programmierung einer werkstattfernen vorziehen.

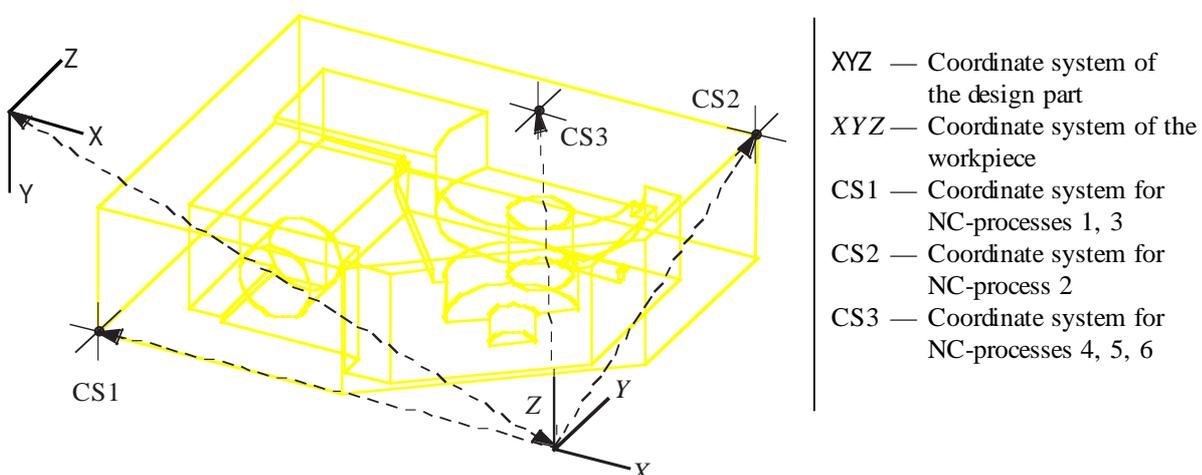


Bild 3: Zuordnung von Prozeßelementen zu Konstruktionsobjekten über Koordinatentransformation und -vergleich

source <sup>1</sup>	processed by <sup>2</sup>	class of information	subclass	instance <sup>3</sup>	destination <sup>4</sup>
CAD	feature recognizer	feature_type	./.	HO_1	Rules 3+
CAD	attribute identifier	dimension	diameter	35	Tool Database
CAD	attribute identifier	dimensional_tolerance	./.	IT12	Rules 3+, Tool Database
CAD	attribute identifier	dimension	depth	30	Tool Database
CAD	attribute identifier	dimensional_tolerance	./.	IT14	Rules 3+, Tool Database
CAD	attribute identifier	surface_finish	./.	Ra12.5	Rules 3+, Tool Database
CAD	attribute identifier	geometrical_tolerance	roundness	0.05	Rules 3+, Tool Database
CAD	attribute identifier	material_code	./.	01-3 (unall. steel)	Rules 3+, Tool Database
NC	NC-Analyzer	NC_sequence_type	drilling	drilling1	Rules 3+, Tool Database
NC	NC-Analyzer	Tool_ID	./.	R411.5-1	Tool Database
NC	NC-Analyzer	machining_parameter	cutting_speed	80 (m/min)	Tool Database
NC	NC-Analyzer	machining_parameter	feed_rate	0.2 (mm/r)	Tool Database
NC	NC-Analyzer	machining_parameter	cutting_depth	Null <sup>5</sup>	Rules 3*, Tool Database
NC	NC-Analyzer	machining_parameter	coolant	0 (off)	Tool Database
NC	NC-Analyzer	machining_parameter	allowance	0.25 (mm)	Rules 3*, Tool Database
CNC + OP	Requester	failure	./.	0 (none)	Tool Database
NC	NC-Analyzer	NC_sequence_type	boring	boring2	...
...					
NC	NC-Analyzer	NC_sequence_type	boring	boring3	...
...					

1 source of information: "CAD" = CAD-file, "NC" = NC-program, "CNC" = machine control system, "OP" = machine operator;

2 specification of the application tools identifying / extracting / preparing the enlisted information;

3 examples in the required format (text in brackets depicts comments);

4 "Rules 3+" specifies that the information is used for autonomous acquisition of NC-sequencing knowledge,

"Rules 3\*" indicates information related to the autonomous acquisition of NC-sequencing knowledge;

5 Apart from the NC-sequence type "deep hole drilling" the cutting depth is not relevant for one-dimensional machining operations;

Tab. 1: Beispiel eines Fertigungsfalls (mit Anmerkungen)

### 3.5 Automatische Akquisition von Fertigungserfahrung

Bei der Akquisition wird zwischen feature- und bauteilbezogenen Verarbeitungsvorgängen unterschieden. Während auf Bauteilebene lediglich die für die Herstellung des Bauteils verwendeten Maschinen-, Vorrichtung- und Spannzeugspezifikationen in Verbindung mit der Teilenummer gespeichert werden, sind die Abläufe auf Featureebene etwas komplexer (s. Bild 2). Als Quellen für die relevanten Fertigungsdaten werden das verwendete NC-Programm, die CNC-Steuerung und der Maschinenbediener genutzt, wobei darauf geachtet wird, daß die Arbeitsgewohnheiten des Werkstattpersonals nicht beeinflußt werden (den bestehenden Einsatz von BDE-Systemen vorausgesetzt). Im Gegensatz zu den über Maschinensteuerung oder BDE-Terminal abgefragten Daten muß das NC-Programm aufbereitet werden, um die an NC-Sequenzen geknüpften geometrischen, technologischen und prozeduralen Informationen zu erhalten. Die zukünftige Wiedergewinnung der Fertigungsinformationen wird durch eine Verbindung mit einer Anzahl von Attributen des korrespondierenden Featuremodells über Koordinatenextraktion, -transformation und -vergleich gewährleistet (s. Bild 3). Zu diesen Featureattributen zählen u. a. der

Featuretyp, die Materialnummer sowie Toleranzangaben. Die Bestimmung des Featuretyps erfolgt automatisch durch das System über eine regelbasierte Klassifizierung extrahierter Feature-Charakteristika. Die Regelbasis, welche bereits bekannte Featuretypen repräsentiert, wurde durch Induktion mit Hilfe des Algorithmus "Rules 3" aufgebaut /12, 13/. Der Aufbau erfolgte zum einen innerhalb einer Trainingsphase, in deren Verlauf die Erkennung von Features mit hoher Wiederholhäufigkeit erlernt wurde und zum anderen autonom im produktiven Einsatz bei Generierung bislang unbekannter Features.

Die Informationen über ein Konstruktionsfeature und die daran geknüpften NC-sequenzbezogenen Fertigungsdaten werden als Fertigungsfall bezeichnet und stellen sozusagen das kleinste Inkrement an Fertigungserfahrung dar (s. Tab. 1). Die Elemente des Fertigungsfalls werden zum einen für Population und Aktualisierung einer Werkzeugdatenbank verwendet und zum anderen für die autonome Erzeugung von NC-Sequenzierungsregeln wiederum auf der Basis des bereits erwähnten Algorithmus Rules 3. Schließlich werden die einem Konstruktionsfeature zugeordneten NC-Sequenzen geometrisch und technologisch parametrisiert und als NC-Makros in Verbindung mit dem Featuretyp abgelegt.

### 3.6 Wiedergewinnung und Aufbereitung der Fertigungserfahrung

Analog zur Akquisition erfolgt auch die Wiedergewinnung von Fertigungserfahrung zur Beurteilung eines neu definierten Produktes auf zwei Ebenen. Auf Bauteilebene geht es zunächst um das Auffinden möglichst ähnlicher Komponenten, um mit Hilfe angeknüpfter Fertigungsinformationen auf die Fertigung des neuen Bauteils zu schließen. Der Nutzer kann besonders relevante Bauteileigenschaften (z. B. Toleranzen, Abmaße, Gestalt ... ) gewichten und somit Prioritäten bei der Suche nach ähnlichen Bauteilen setzen. Die Bestimmung ähnlicher Bauteile erfolgt anschließend durch Klassifizierung über ein neuronales Netz des Typs ART (Adaptive Resonance Theory

/14/). Geht es lediglich um das Auffinden ähnlicher Bauteile, werden alle Bauteile einer einzelnen Klasse zugeordnet und der Ähnlichkeitsgrad berechnet. Spielen allerdings im Unternehmen gruppentechnologische Aspekte eine Rolle, wird das zu beurteilende Bauteil über Voreinstellungen zunächst einer Teilefamilie zugeordnet und dann innerhalb dieser Klasse auf seine Ähnlichkeit mit anderen Komponenten untersucht.

Der Vorgang der Wiedergewinnung von Fertigungserfahrung auf Featureebene ist in **Bild 4** dargestellt. Durch Auswahl eines zu beurteilenden Features im CAD-Modell löst der Konstrukteur eine Reihe automatisierter Prozesse aus. Während der Konstrukteur noch um eine genauere Spezifikation der gewünsch-

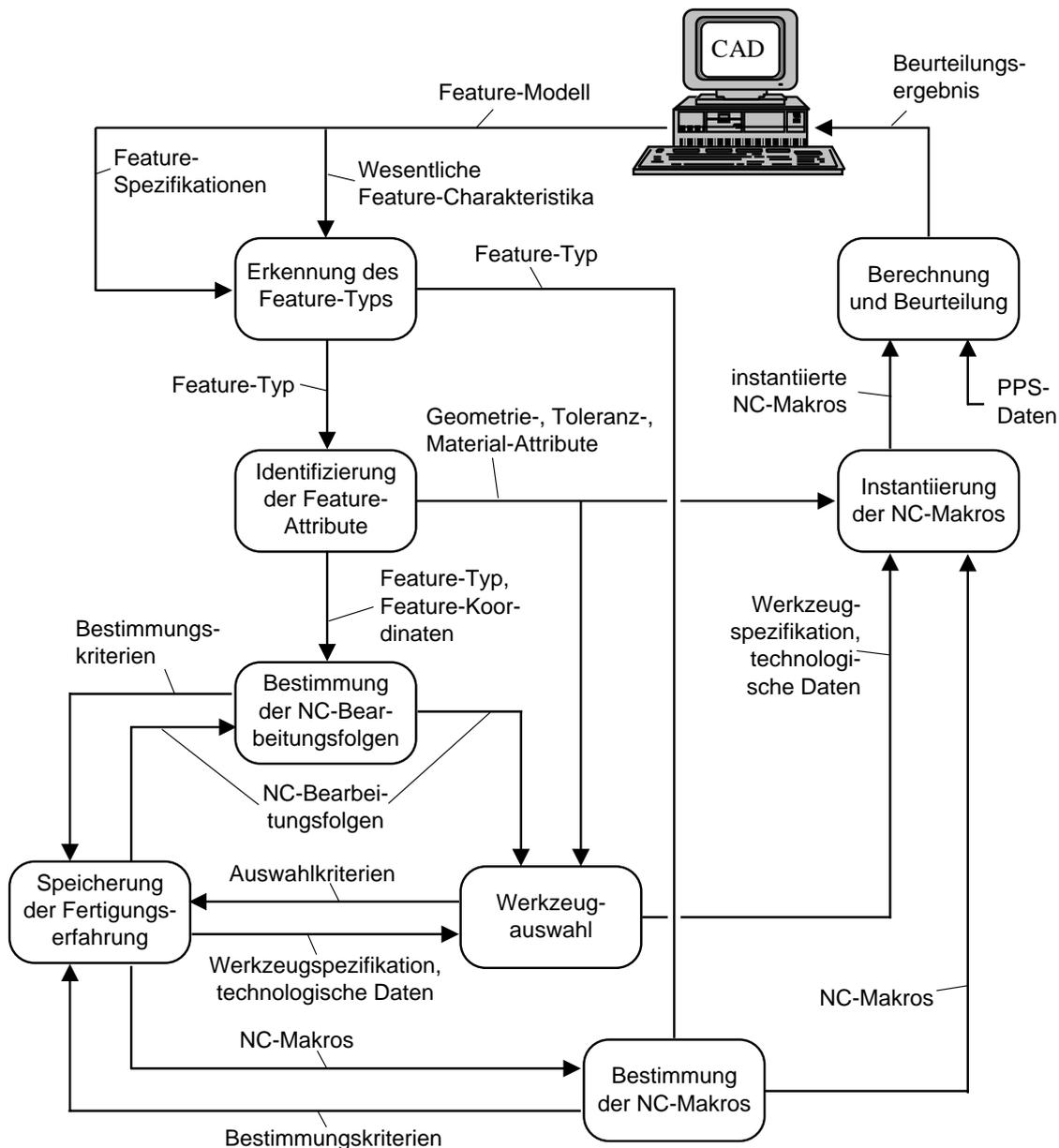


Bild 4: Wiedergewinnung und Aufbereitung von Fertigungserfahrung

ten Information (Zeiten, Kosten, Alternativen) und der Bereitstellungsform gebeten wird, läuft im Hintergrund die Featureerkennung, die Extraktion relevanter Featureattribute, die Bestimmung der erforderlichen NC-Sequenzen, die Auswahl von Werkzeugen und zugehörigen Schnittwerten sowie die Festlegung und Instantiierung der NC-Makros ab. Die Generierung dieser Fertigungsprozeßelemente erfolgt in Abstimmung mit den übrigen Featurespezifikationen im CAD-Modell.

Nach Instantiierung der NC-Makros ist eine featurebezogene Berechnung von Haupt- und Nebenzeiten problemlos möglich. Sind neben den Zeiten auch Informationen über Kostensätze der verwendeten Fertigungs(hilfs)mittel verfügbar, können Aussagen über die zu erwartenden Fertigungskosten gemacht werden.

Schließlich bietet dieser Ansatz die Möglichkeit, alternative Featureattribute vorzuschlagen. Dies kann beispielsweise über die Regelbasis zur NC-Sequenzierung oder durch wiederholte Abfrage der Werkzeugdatenbank mit variierenden Featureattributen erfolgen. Das Ergebnis könnte im ersten Fall der Vorschlag einer Toleranzverringerung mit dem Ziel einer Sequenzeinsparung und im zweiten Fall der Vorschlag einer Radienveränderung zur Vermeidung eines Sonderwerkzeuges sein.

#### 4 Einsatzpotentiale

Die entwickelten Lösungsansätze dienen als Grundlage für den Aufbau eines umfassenden Fertigungsinformationssystems. Vielerorts wird heute die Rolle des Wissens eines Unternehmens diskutiert, es werden "Wissensaktiva" in Bilanzen aufgestellt. Im Bereich des Controllings und bei Management-Informationssystemen werden Data Warehouses entwickelt, die Daten aus allen verfügbaren Systemen zur Unterstützung von Managemententscheidungen aufbereiten und bereitstellen. Diese Aktivitäten dienen alle dem Ziel, Daten vorhandener Informationssysteme zu nutzen, um das dort implizit vorhandene Wissen zugänglich zu machen. Hier ordnet sich AMANIS als Beitrag zur Nutzung des Fertigungswissens ein.

Ein Folgeprojekt muß einen wesentlich stärkeren Bezug zum spezifischen Anwendungsbereich aufweisen. Die bisherigen Resultate stellen einen facettierten Kern dar, der in verschiedenen Richtungen ge-

nutzt werden kann. Die generelle Zielsetzung ist die Entwicklung eines Werkzeugs, das in die Oberfläche eines CAD-Systems integriert ist. Damit wird stark auf die Detailkonstruktion fokussiert. Die verschiedenen Zielrichtungen ergeben sich aus den unterschiedlichen Anforderungen in einzelnen Industriezweigen. Im folgenden soll die Entwicklungsrichtung von AMANIS in der Automobilindustrie, des Werkzeugbaus und der Haushaltsgeräteindustrie anhand ihrer spezifischen Anforderungen diskutiert werden.

##### a) Automobilindustrie

Die Automobilindustrie steht stellvertretend für Großserienproduzenten komplexer Produkte. Prinzipiell können aus Sicht der Konstruktion die Aufgaben in Entwicklung eines neuen Modells oder einer neuen Modellvariante, Face lifting oder Serienverbesserung unterschieden werden. Aufgrund der kürzer werdenden Entwicklungszeiten werden viele Produktionsmittel bereits in frühen Entwicklungsphasen festgelegt und geplant, um bei Serienanlauf rechtzeitig die Fertigungseinrichtungen zur Verfügung zu haben. In der Detailkonstruktion muß auf die Möglichkeiten dieser Anlagen Bezug genommen werden. Allerdings liegen hier noch keine Erfahrungen mit diesen Anlagen vor. Damit sind die in AMANIS entwickelten Mechanismen der Wissensakquisition aus der Fertigung hier nicht direkt anwendbar. Dennoch kann die grundsätzliche Methodologie der Bereitstellung von Fertigungsinformationen auch auf die Anforderungen der Großserienfertigung übertragen werden. Selbst kleine Verbesserungen in der Fertigungsgerechtigkeit beeinflussen durch die hohe Stückzahl die Kosten in erheblichem Maße. Grundsätzlich muß auch hier ein Beurteilungswerkzeug zunächst das Teil oder das Feature erkennen. Die Fertigungserfahrungen müssen jedoch differenzierter aufbereitet werden. Hier spielen nicht nur die Erfahrungen der eigenen Betriebsteile eine Rolle, sondern auch die der vielen Zulieferer. Da sich in den letzten Jahren die Erkenntnis durchgesetzt hat, daß man nur gemeinsam mit seinen Zulieferern im Wettbewerb bestehen kann, bestehen für eine Anwendung des AMANIS Ansatz in diesen Bereich gute Chancen. Die Volkswagen AG war als Endorser am AMANIS-Projekt beteiligt. Der entstandene Dialog wird auch in Zukunft weitergeführt.

##### b) Werkzeugbau

Dieser Industriezweig wird als Beispiel für alle solche

Unternehmen betrachtet, deren Produktion durch Einzelfertigung oder kleine Serien gekennzeichnet ist. Diese Unternehmen sind in der Regel einem hohen Qualitäts-, Zeit- und Kostendruck ausgesetzt. Die Fertigung ist gekennzeichnet durch Universalmaschinen. Für eine derartige Umgebung ist AMANIS konzipiert. Allerdings stellen die Werkzeuge in AMANIS hohe Anforderungen an die installierte und genutzte informationstechnische Infrastruktur. Daher sind weitere Arbeiten erforderlich, um eine schlüsselfertige Lösung für derartige Unternehmen zu entwickeln.

### c) Haushaltsgüter

Die Hersteller sog. Weißer Ware sollen als Beispiel für Unternehmen beschrieben werden, deren Produkte durch eine besonders hohe Variantenvielfalt aufweisen. Hier dominieren logistische Probleme. Die Produkte erfordern einen hohen Montageaufwand. All diese Fragestellungen wurden in AMANIS nicht behandelt. Dennoch wird davon ausgegangen, daß auch hier die Vorgehensweise von AMANIS adaptiert werden kann. Dazu sind jedoch weitere umfangreiche Untersuchungen erforderlich.

Generell muß zum AMANIS-Ansatz betont werden, daß er nicht nur ein Instrumentarium modernster rechnergestützter Techniken darstellt, sondern immer auch organisatorische Veränderungen verlangt. Herkömmliche sequentielle Abläufe können das Potential dieses Ansatzes nicht erschließen. Die Strategie einer umfassenden Nutzung von Fertigungsinformationen in der Produktentwicklung erfordert daher eine erhebliche Umstrukturierung im Sinne des Concurrent Engineering.

### Literatur

/1/ Dietz, P.: Concurrent Engineering - Folgen für die Ausbildung, Mitteilung aus dem Institut für Maschinenwesen Nr. 20, 1995

/2/ Prengemann, U.: Fertigungsinformationen im Konstruktionsprozeß, Fortschrittberichte VDI, Reihe 20, Nr. 143, 1994

/3/ Shah, J.; Sreevalsan, P.; Mathew, A.: Survey of CAD/feature-based process planning and NC programming techniques, Computer-Aided Engineering Journal, February, 1991, pp 25-35

/4/ Case, K.; Gao, J. X.: Feature technology: an overview, Int J. Computer Integrated Manufacturing, Vol. 6, Nos. 1 & 2, 1993, pp 2-12

/5/ Krause, F. L.; Ciesla, M.; Rieger, E.; Ulbrich, A.; Stephan, M.: Featureverarbeitung - Kernkomponente integrierter CAD-Systeme. Tagungsband CAD'94, 1994, pp 421-438

/6/ Ehrlenspiel, K.; Wolfram, M.: Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren, VDI Berichte 1148: Datenverarbeitg. in der Konstruktion '94, 1994, S. 657 ff

/7/ Wang, M. T.; Yang, F. C.: A Quasi-Concurrent Engineering Framework for Mechanical Assembly Modeling and Part Design, Proceedings of the IEEE International Workshop on Emerging Technologies and Factory Automation, Melbourne / Australia, August 11-14, 1992, pp 399-404

/8/ Yang, F. C.; Wang, M. T.: An Object-Oriented Feature-Based Computer-Aided Design System for Concurrent Engineering, Proceedings of the IEEE International Workshop on Emerging Technologies and Factory Automation, Melbourne / Australia, August 11-14, 1992, pp 393-398

/9/ Case, K.; Gao, J. X.; Gindy, N. N. Z.: The implementation of a feature-based component representation for CAD/CAM integration, Proc Instn Mech Engrs, Vol. 208, 1994, pp 71-80

/10/ Chan, A. K. W.; Case, K.: Process planning by recognizing and learning machining features, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol. 7, No. 2, 1994, pp 77-99

/11/ Milacic, V. R., Theoretical Approach to Knowledge Acquisition and Knowledge Representation in CAPP Expert Systems, Pham DT (ed.): Artificial Intelligence in Design, 1991, pp 229-272

/12/ Pham, D. T.; Aksoy, M. S.: A New Algorithm for Inductive Learning, Journal of Systems Engineering No. 1, 1993

/13/ Pham, D. T.; Aksoy, M. S.: RULES: A Simple Rule Extraction System, Expert Systems With Applications, Vol. 8, No. 1, 1995, pp 59 - 65

/14/ Liao, T. W., Chen, L. J.: An Evaluation of ART1 Neural Models for GT Part Family and Machine Cell Forming, Journal of Manufacturing Systems, Volume 12, No. 4