

Helmut BLEY, Armin MISCHO

Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM
Universität des Saarlandes, Saarbrücken, Deutschland

AKQUISITION UND IMPLEMENTIERUNG VON NC-DETAILPLANUNGSWISSEN

Kurzfassung. NC-Programmiersysteme erleichtern die Erstellung von NC-Programmen, eine umfassende Hilfestellung, die auch den komplexen Detailplanungsprozeß unterstützt, bieten sie jedoch nicht. Die vorliegende Arbeit liefert einen Beitrag zur Erforschung von Planungssystemen, die die Detailplanung unterstützen, wobei die adäquate Repräsentation des Planungswissens für das NC-Drehen im Vordergrund steht. Dazu werden die grundlegenden Handlungsabläufe und Strategien modelliert. Wissensschichten und Auswahlmodelle helfen weiterhin, das technologische Wissen zu klassifizieren, aber auch in bezug auf die Wissensverarbeitung abzubilden.

1 Stand der Technik

1.1 CAD/NC-Technik

In der technischen Auftragsabwicklung bildet die Informationsintegration zwischen CAD und nachgeschalteten Bereichen, wie beispielsweise CAP, einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur Realisierung einer CIM-Komponente. Die CAD/NC-Verfahrenskette ist ein Beispiel für eine funktionierende Systemkopplung: Zumindest Geometriedaten, die ein CAD-System bereitstellt, werden an die NC-Programmierung weitergeleitet. Mit Einführung der Schnittstelle STEP [1] wird in naher Zukunft eine Norm zur Verfügung stehen, die neben geometrischen Informationen auch technische Anforderungen an das Produkt überträgt. In Teilbereichen existieren allerdings schon heute Systeme, mit deren Hilfe Produktmodelle für einfache Werkstücke zur automatischen Weiterverarbeitung erstellt werden können.

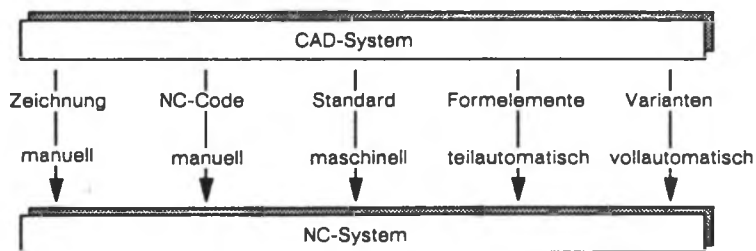


Abbildung 1. Automatisierungsstufen der CAD/NC-Kopplung

Prinzipiell können die Automatisierungsstufen nach Abbildung 1 bei der NC-Programmierung unterschieden werden: Neben der vollständig manuellen Eingabe des Programmcodes, also der Programmierung von der Zeichnung, kann die Erstellung eines Teileprogrammes z. B. mit einem auf die NC-Problematik abgestimmten Geometriepaket und einer sich anschließenden Definition der Bearbeitung mittels eines NC-Programmiersystems erfolgen. Teilweise finden CAD-Ausleitungen der Kontur in der DIN 66025-Sprache [2] der Maschinensteuerungen statt, die somit ein NC-Rumpfprogramm bilden. Über Standardschnittstellen besteht die Möglichkeit, Konturen z. B. im weit verbreiteten IGES-Format einzuladen. Über an Konturelemente angehängte Attribute kann weiterhin die Abarbeitung von Makroaufrufen im Programmiersystem initiiert werden, um damit die Programmierung etwa in Verbindung mit der Variablentechnik quasi vollautomatisch ablaufen zu lassen. Bei speziell aufeinander abgestimmten CAD/CAM-Systemen werden so auch Technologiedaten wie Toleranzen, Oberflächengüten, Werkstoffdaten etc. übernommen. Weitreichendere Hilfestellungen, die insbesondere den Programmerstellungsprozeß in seinem komplexen Wirkungsgefüge berücksichtigen, beginnend bei der Werkstückinterpretation über die Umsetzung von Handlungen in konkrete Schritte bis hin zur Betriebsmittelauswahl, existieren jedoch nicht. Die Bereitstellung von Rechnersystemen für diese Aufgabenstellung steht allerdings im Mittelpunkt vieler laufender Forschungsaktivitäten [3, 4, 5].

1.2. CAPP-Technik

Die Forderung, Rechner bei der Arbeitsplanung (Computer Aided Process Planning/CAPP) einzusetzen, reicht über 25 Jahre zurück [7, 8]. Konsequente Systematisierungen der Planungshilfen legten diesen Schritt nahe. Bestanden bei der konventionellen Planung die Planungsunterlagen aus Erfahrungswerten und persönlichen Aufzeichnungen, liegen der systematisierten Planung Normen, Werkzeugkataloge, Schnitt- und Zeitrichtwerttabellen usw. zugrunde. Der Gedanke des Rechnereinsatzes stützt sich nun darauf, diese Planungsunterlagen als Dateien im System zu hinterlegen, die Planungsmethoden in Software zu verankern und beide Elemente miteinander kommunizieren zu lassen. Die Arbeitspläne selbst werden mittels Datenbank verwaltet und stehen über Klassifizierungs- und Identifizierungsschlüssel jederzeit zur Verfügung. In CAPP-Systemen werden Arbeitsvorgangsfolgebestimmung, Fertigungsmittelzuordnung, NC-Programmierung, Vorgabezeitenermittlung als Subsysteme realisiert, die sowohl funktional als auch logisch miteinander in Verbindung stehen.

Trotz vielfältigster Anstrengungen, die im Bereich der Entwicklung von CAPP-Systemen unternommen worden sind (über 200 Systeme wurden bislang weltweit entwickelt), läßt der große Durchbruch bezüglich ihres breiten Einsatzes auf sich warten. Das Leistungsvermögen ist noch zu weit von dem entfernt, was die betriebliche Praxis fordert. Ein besonders wichtiger Aspekt besteht hierbei darin, wie die einzelnen Wissensquellen im Rechner adäquat repräsentiert werden können. Dieser Punkt stellt zugleich die Eignungsvoraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung in der betrieblichen Praxis dar [3, 6].

Beim Literaturstudium ist gleichfalls festzustellen, daß derzeit keine tiefgreifenden Untersuchungen bezüglich der Vorgänge bei der NC-Detailplanung in ihrer Aufgabenkomplexität existieren. Wenn, dann bleiben sie in allgemeingültigen, unverfänglichen Aussagen stecken. Zu-

gleich fehlt es auch an einer Methodik, wie jenes Einzelwissen in Wissensbasen zu strukturieren ist, um Inkonsistenzen bei der Wissensverarbeitung zu vermeiden.

2. Modellbasierter Ansatz zur Wissensakquisition

Rechnersysteme können nur mit dem Wissen arbeiten, das in ihren Systemstrukturen bei der Implementierung verankert wurde [9]. Mit dem Realisierungsziel, ein Softwaresystem so intelligent, einfach und übersichtlich wie nur möglich zu gestalten, ist es unabdingbar, ein Gesamtproblem in Teilprobleme aufzuspalten und das benötigte Lösungswissen strukturiert im Systemansatz zu verankern. Die Analyse des Problembereichs und die Formulierung der Systemaufgabe bilden hierzu die ersten Schritte auf dem Weg hin zur Erstellung eines Systemkonzeptes und eines entsprechenden Problemlösemodells. Daher ist im ersten Schritt ein formales logisches Modell zu erstellen, das sowohl die Struktur als auch das funktionale Verhalten des zu modellierenden Systems mit seinem Wissen enthält. Erst danach kann mit der Zuordnung von Wissen und dessen Implementierung begonnen werden.

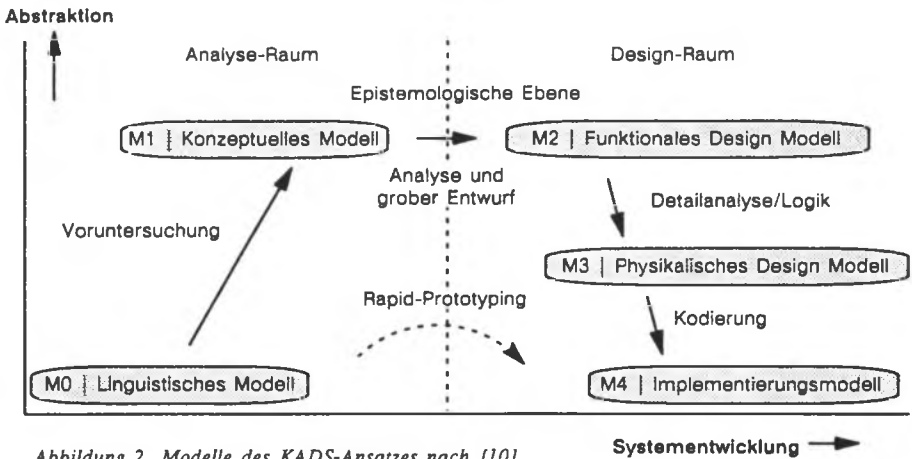


Abbildung 2. Modelle des KADS-Ansatzes nach [10]

Eine modellbasierte Wissensakquisition (s. Abb. 2) unterstützt diese Forderung [10]: Wissenserhebung, Problemlösemodell und Implementierung werden voneinander getrennt. Mit einem implementierungsfernen Erfassen und Strukturieren von Wissen gelingt es zum einen, relevante Handlungsabläufe und Strategien aufzuzeigen. Durch ein systematisiertes Herangehen an die Problematik wird aber auch erreicht, daß die Problemstellungen transparenter und aufgrund ihrer Strukturierung durchschaubarer werden. Dadurch wird der Problemlöseprozeß diskutierbar und erleichtert damit die Erstellung eines Problemlösemodells. Diese Vorgehensweise verhindert zudem eine direkte Orientierung an den Wissensrepräsentationsformalismen und Inferenzmechanismen des Entwicklungswerkzeuges.

Um die Anwenderakzeptanz weiterhin zu steigern, muß man sich im Hinblick auf die Implementierung die Frage stellen, durch welche speziellen Methoden oder Techniken bestimmtes

Wissen im Rechner gespeichert werden kann. Dabei wird stets das Ziel verfolgt, geeignete Repräsentationsmethoden zu verwenden. Dies kann dazu führen, daß eventuell Wissen fallbezogen modelliert und dadurch manchmal das gleiche Wissen in unterschiedlicher Form repräsentiert wird. Wissensbasierte Systeme leisten zu diesem Problemfeld einen Beitrag, da sie die Repräsentation von Wissen in symbolischen Ausdrücken erlauben und damit die Darstellung und Verarbeitung von Wissen in einer großen Breite ermöglichen. So zeigen sich bestimmte Programmiersprachen, Wissensrepräsentationsformalismen und Programmier Techniken als besonders geeignet, was sich in den heute zur Verfügung stehenden Softwareentwicklungsumgebungen, den sogenannten Shells, ausdrückt. Diese werden als universelle Werkzeuge auf dem Markt angeboten, die die Entwicklung von Expertensystemen unterstützen und damit ihren Entstehungsprozeß vereinfachen.

3. Modellstrukturen für das NC-Drehen

Eine vollständige Repräsentation des Planungswissens ist damit die Grundvoraussetzung (aber auch das Kernproblem) für den erfolgreichen Einsatz eines intelligenten Softwaresystems. Somit können Systeme für die Praxis nur aus der Beobachtung der Praxis heraus entstehen. Grundvoraussetzung hierfür ist zunächst, daß eine „gemeinsame“ Sprache vorliegt, die eine Beschreibung des Problemfeldes aus dem Blickwinkel und in der Sprache eines NC-Programmierers entspricht. Das Aufstellen dieses fachspezifischen, sicherlich auch betriebsspezifischen Vokabulars bildet so die Grundlage für die explizite Wissensdarstellung.

Die Beobachtung eines Experten bei der Erstellung eines Dreharbeitsplanes und seine Umsetzung in NC-Code lassen folgende Phasen der Detailplanung erkennen [11]:

- Werkstückanalyse und -interpretation
- Rohteildefinition
- Festlegung der Werkzeugmaschine
- Bestimmung der Einspannsituation
- Spannmittelauswahl
- Festlegung der Bearbeitungsstrategie
- Erstellung der Bearbeitungsreihenfolge
- Detaillierung der Schritte mit
Werkzeugauswahl und technologischer Wertermittlung
- Umsetzung in NC-Code

Dieses Gerüst bildet zugleich das Planungsverlaufsmodell, wobei die erste Phase um das Einleiten des Werkstückmodells aus dem CAD-System ergänzt wird und die letzte Phase aus der Umsetzung des generierten Arbeitsplanes in die Prozedursprache eines NC-Programmierers besteht.

Der Planungsphilosophie liegt dabei folgendes Prinzip zugrunde [12]: Bearbeitungssituationen müssen erfaßt und einer Bearbeitungsstrategie zugeordnet werden. Eine Unterteilung des

Werkstückes in Zerspanflächen und -räume wird hierzu durchgeführt und eine Zuordnung von Fertigungshinweisen an die Werkstückbeschreibung bezüglich der Formerzeugungsverfahren in Anbetracht der Toleranzen und Oberflächengüte vorgenommen. Folgende Abbildung 3 verdeutlicht dieses Konzept:

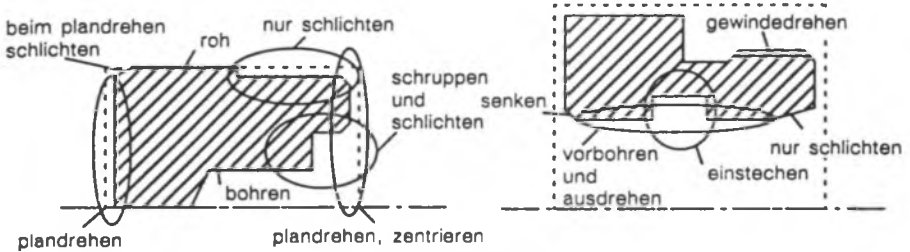


Abbildung 3. Zuordnung der Fertigungshinweise zur Werkstückbeschreibung (Beispiele)

Diese Vorgehensweise orientiert sich zugleich an dem Prozeß des Erlernens der Drehtechnologie. Dort werden zunächst die möglichen Bearbeitungsverfahren und damit die Möglichkeiten, Flächen zu erzeugen, vorgestellt, damit der Auszubildende in Zukunft Werkstückflächen mit diesen Bearbeitungsverfahren identifizieren kann. Diese Bearbeitungsoperatoren können sich dabei auf einzelne Flächen beziehen (z. B. Gewindedrehen), auf zwei (wie beim Bohren) oder mehrere Flächen (Schlichten) sowie auf Fertigungsbereiche (Schruppen). Fertigungsbereiche werden insbesondere durch Konturmonotonien gebildet und sind damit von der Eigenschaft geprägt, zusammenhängende Flächen zu repräsentieren, die gemeinsam erzeugt werden können.

Aufgrund der Zuordnung von zu erzeugenden Flächen zu Bearbeitungsverfahren (Drehen, Bohren, Senken, Stechen, ...) sowie Zerspanflächen und -räumen zu den Einspannungen kann nun die Bearbeitungsreihenfolgeplanung je Einspannung erfolgen. Die zur Verfügung stehenden Fertigungsoperatoren werden auf das Werkstück zur Zerspannung angewendet. Aufgrund der Anwendung von Operatoren auf drehtopologische Zerspanungsräume kann zudem auf eine Werkzeugoptimierung verzichtet werden. Das zur Detaillierung der Bearbeitungsschritte benötigte Technologiewissen läßt sich nach verschiedenen Aspekten ordnen, so etwa nach werkstückorientierten, programmiertechnischen oder verfahrenstechnischen Gesichtspunkten. Es dient zum einen der Festlegung technologischer Details, zum anderen wird es für Auswahlvorgänge und strategische Aufgaben, z. B. für die Auslösung bestimmter Planungsvorgänge, herangezogen. Bei seiner Anwendung wirkt dieses aktive Wissen auf Informationen, die die Domäne mit ihren Betriebsmitteln und der aktuellen Planungssituation beschreiben.

Aus diesen Gründen werden zur Modellierung des Wissens die beiden prinzipiellen Wissensarten Objektwissen und Anwendungswissen unterschieden [12] (s.a. Abb. 4): Objektwissen beschreibt zum einen die Werkstatt mit ihren Ressourcen, die zur Bearbeitung eines Werkstückes zur Verfügung stehen. Somit wird hier das Wissen über vorhandene Rohmaterialien, Werkzeugmaschinen, Spannmittel und Werkzeuge niedergelegt, das in Summe das Werkstattmodell bildet. Zusätzlich wird das Vokabular zur verbalen Beschreibung eines Werkstückes mit seinen planungstechnischen Eigenschaften sowie eines Arbeitsplanes mit seinen NC-spezifischen

Funktionen definiert. Während Objektwissen „statisches“ Wissen beschreibt, ist im Anwendungswissen das Wissen niedergelegt, das die Objekte aus der Werkstatt miteinander in bezug auf die Herstellung eines Werkstückes kombiniert und die Vorgehensweise im NC-Detailplan definiert.






	Repräsentationsform	Wissensarten	
	Regeln	Strategiewissen	Anwendungswissen
	Prozeduren Regeln	Reihenfolgeplanungswissen	
	Relationen Regelkonzepte	Handlungswissen	
	Regeln Methoden	Detailwissen	Objektwissen
	Frames	Beschreibungswissen	

Abbildung 4. Wissensarten und ihre Repräsentationformen

Anwendungswissen kann in weitere Einheiten gegliedert werden, die miteinander in Verbindung stehen: So legt die Strategieschicht beispielsweise heuristisch fest, mit welchem Verfahren drehtopologische Räume zerspannt werden sollen oder wie die Einspannsituation für die Detailplanung zu ermitteln ist. Die Reihenfolgeplanung, die prinzipiell heuristisch geprägt ist, aber auch prozedurale Anteile besitzt, verknüpft ihrerseits Fertigungselemente und konkrete Handlungsanweisungen. Handlungswissen zeigt nach dem Situationskalkül auf, welches Detailwissen in bestimmten Situationen einzusetzen ist. In der Detailwissensebene befindet sich schließlich z. B. das Wissen, das für Auswahlvorgänge zur Eingrenzung der Lösungsmenge (Grobauswahl, Feinauswahl, Bestauswahl) und für die Aufrechterhaltung einer konsistenten Lösung verantwortlich ist (vgl. Abb. 5). Dieses teilweise auch heuristische Wissen liegt wie in einer Bibliothek gegliedert nach sachlichen Bereichen vor und inferiert letztlich über das Wissen, das in der Objektwissensebene definiert bzw. im Planungsprozeß schon ermittelt worden ist.

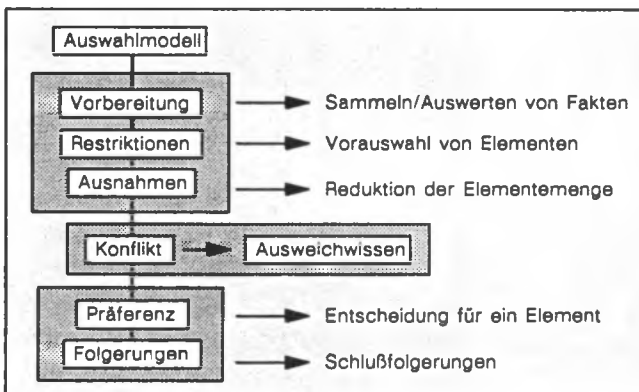


Abbildung 5. Auswahlmodell

Bezüglich der Ablaufstruktur zur Lösung der Teilprobleme wird ein vereinheitlichtes Modell (Abb. 5) eingeführt, mit dessen Hilfe die Detailplanung als verketteter Auswahlprozeß betrachtet wird. Jeder Schritt zeigt dazu auf, welche Voraussetzungen, Restriktionen und Präferenzen gelten, welche Folgen resultieren und wie auf Konflikte reagiert werden soll. Durch diese Art der Identifikation des Expertenproblemlösewissens gelingt ein übersichtliches Sammeln in Wissensbibliotheken. Hierdurch kann zugleich die Komplexität der Detailplanung mit ihren Lösungsmethoden auf wenige überschaubare Zusammenhänge reduziert und Widersprüche frühzeitig erkannt werden.

Die generelle Anforderung, die an ein wissensbasiertes System gestellt wird, besteht darin, daß es sich durch eine einfache Beschreibung (Syntax) auszeichnen soll, die sich an der Terminologie der Domäne orientiert. Dies setzt voraus, daß zugleich eine konzeptuelle Nähe von Repräsentationsformalismen und Expertenterminologie existiert. Zur Realisierung werden daher, wie in Abbildung 4 gezeigt, für das Anwendungswissen Regelkonzepte, aber auch die objektorientierte Programmierung verwendet. Um die Vielzahl an Ressourcen und ihre realen Ausprägungen in der Objektwissensebene zu repräsentieren, bietet sich eine Repräsentation mittels Frames an.

4. Zusammenfassung

Da es nie nur die eine Detailplanung geben kann, ist eine strukturierte Sammlung und Aufbereitung des Planungswissens die Grundvoraussetzung, aber auch das Kernproblem bei der Erstellung eines intelligenten Softwaresystems. Für diesen Wissensakquisitionsprozeß leistet die vorliegende Arbeit eine Hilfestellung: Sie stellt ein Planungsmodell vor, in dem sich wohl viele Arbeitsplaner wiederfinden können, und unterstützt damit die Erforschung von Systemen zur generativen Arbeitsplanung. Einsatzfelder gibt es somit immer dort, wo es darum geht, bei immer größer werdender Produktvielfalt optimale und aktuelle Arbeitspläne unter derzeit existierenden Werkstattbedingungen zu erzeugen.

Im vorliegenden Fall beruht das Systemmodell auf einer Aufspaltung der Gesamtproblematik in Teilaufgaben, die ein hierarchisches Planen erlauben. Zur Wissensstrukturierung wird das für die Lösung eines Problems benötigte Wissen Aufgabenkontexten zugeordnet, aber auch Relationen in bezug auf ein Ablaufmodell werden hergestellt. Damit wird die Ablaufstruktur zur Verkettung des Wissens zur Problemlösung definiert und somit bestimmt, wann welches Wissen zur Anwendung kommt. Zu einem Zeitpunkt wird somit nur das Wissen betrachtet, das auch wirklich einen Beitrag zur jeweiligen Problemstellung leisten kann. Mit dieser strukturierten Vorgehensweise gelingt zum einen eine offene Wissensdarstellung, zum anderen können Widersprüche leichter vermieden werden. Zur Problemlösung werden im implementierten System Technologieregeln auf einen framebasierten Wissensrepräsentationsformalismus angewendet, der um Relationenaspekte und um Methoden (Objektorientierung) erweitert ist. Heuristiken, die eine sinnvolle Lösung generieren, vermeiden die kombinatorische Explosion. Details werden ebenfalls über Inferenz bestimmt. Damit gelingt es, den Informationsgehalt der Werkstückzeichnung mit Hilfe des Detailplanungswissens zu einem NC-Detailplan zu erweitern, um daraus das NC-Teileprogramm abzuleiten.

Dieses Konzept wurde am Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM in Form des funktionsfähigen Prototyps WIPLAN implementiert. WIPLAN untermauert das vorgestellte Konzept und zeigt damit neue Wege auf, eine intelligente CAD/NC-Kopplung zu realisieren.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Grabowski, H.; Anderl, R.; Schmitt, M.: Das Produktmodellkonzept von STEP. VDI-Z 131, Nr. 12, S. 84 - 96, 1989.
- [2] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 66025 / Programmaufbau für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen. Beuth Verlag, Berlin, September 1988.
- [3] Bley, H.; Mischo, A.; Stadelmeyer, V.: Wissensverarbeitung für die Fertigung. In: Tagungsband zur Fachtagung Informationsmanagement im Betrieb 2000, Universität des Saarlandes, Saarbrücken 1992.
- [4] Bley, H.; Stadelmeyer V.: Flexible interface between a DBMS and a decision support-system. CIRP-Seminar on FMS, Preprints, Bled/Slovenien, 1993.
- [5] ElMaraghy, H. A.: Evolution und Future Perspectives of CAPP. Annals of the CIRP, Vol. 42/2/1993, S. 739 - 751.
- [6] Göbler, T.: Modellbasierte Wissensakquisition zur rechnerunterstützten Wissensbereitstellung. Carl Hanser Verlag, München 1992.
- [7] Alting, L.; Zhang, H.: Computer Aided Process Planning: the state-of-the-art survey. International Journal of Production Research, Vol. 27, No. 4, S. 553 - 585, 1989.
- [8] Ham, I.; Lu, S.: New Developments of CAPP in U.S.A and Japan. CIRP, International Workshop on CAPP, Hannover 1989.
- [9] Christaller, T. H.: Expertensysteme in der Praxis - Was leisten sie und welche Zukunft haben sie? Zwf-CIM 86, H. 11, S. 555 - 558, 1991.
- [10] Breuker, J.; Wielenga, B.: Models of Expertise in KA. In: Topics in Expert System Design, S. 265 - 295, Elsevier Publisher B.V., North Holland, 1989.
- [11] Bley, H.; Mischo, A.: Representing Knowledge for NC-Planning. CIRP-Seminar on FMS, Preprints, S. 51 - 63, Bled/Slovenien, 1993.
- [12] Mischo, A.: Modellbasierte Akquisition und Implementierung des technologischen Wissens für die NC-Detailplanung. Dissertation. Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 3, Saarbrücken 1993.

Gutachter: Wojciech Cholewa