

# Diagnostische Analyse zur adaptiven und flexiblen Konstruktionssteuerung

Friedemann A. Kienzler

Dieser Aufsatz nimmt sich der Fragestellung an, wie sich ein synthetisierendes, wissensbasiertes Konstruktionsystem<sup>1</sup> analytische Diagnostiktechniken zunutze machen kann. Es wird eine Analysemethodik beschrieben, die es erlaubt, in Konstruktionsystemen bzw. -shells auch schwächere, d.h. weniger spezifische Problemlösungsmethoden - mit dem entscheidenden Vorteil eines breiteren Einsatzspektrums - anzuwenden und damit dennoch ein Leistungsniveau zu erreichen, das es ermöglicht, konkrete Problemstellungen aus der Praxis zu lösen; dedizierte Systeme hingegen operieren mittels stärkerer Problemlösungsmethoden, aber dafür eingeschränkt nur für spezielle Domänen. Durch die Unterstützung eines übergeordneten, sekundären Analyseprozesses auf Metaplanungsebene, welcher in den primären Konstruktionsprozeß eingebettet ist, wird der eigentliche Syntheseprozess auf Planungsebene insbesondere adaptiv, flexibel und ökonomisch gesteuert. Die Aufgabe dieses Analyseprozesses besteht darin, das jeweils aktuelle Stadium, den Verlauf und den Fortschritt des Konstruktionsprozesses dynamisch iterativ zu untersuchen. Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen in Form etablierter Diagnosen wird die Kontrollstruktur den jeweiligen Bedürfnissen und Gegebenheiten während des Konstruktionsprozesses adäquat parametrisiert bzw. konfiguriert. Die Anpassung der Kontrollstruktur basiert auf instantiierbaren Strategien, zugehörigen Steueroperatoren und letzteren zuzuordnenden Methodengruppen.

## 1 Einleitung

Eine mögliche und häufig zitierte Klassifikation von Expertensystemen (z.B. in [Richter 1989]) basiert auf der Einteilung nach verschiedenartigen Problemklassen, die von Expertensystemen gelöst werden können. In [Puppe 1991] erfolgt eine Grobdifferenzierung u.a. in Konstruktions- und Diagnostikexpertensysteme: Bei der Konstruktion wird die Problemlösung aus vorgegebenen, primitiven Bausteinen zusammengesetzt, bei der Diagnostik aus einer Menge vorgegebener Alternativen ausgewählt.

Dieser Aufsatz setzt sich mit der Steuerung von Konstruktionsystemen und dabei im speziellen mit der Frage auseinander, wie sich ein Syntheseprozess, der das Finden einer Lösung für ein gestelltes Konstruktionsproblem zum Ziel hat, flexibel, adäquat und zielgerichtet mit der Unterstützung eines übergeordneten Analyseprozesses im Rahmen der Metaplanung<sup>2</sup> steuern läßt.

Die Analyse über dem Planungsbereich zur Unterstützung der Ablaufsteuerung des Konstruktionsprozesses kann auch als Diagnostikproblem verstanden werden. Die Symptome bilden Größen, die aus den Objektbeschreibungen und den bis zum jeweiligen Zeitpunkt generierten (Teil-)Konstruktionsplänen ermittelbar sind. Die Beziehungen zwischen Symptomen und Diagnosen sind mittels Constraints repräsentierbar. Die etablierten Diagnosen als Lösung des Plandiagnostikproblems dienen als Grundlage für die Parametrierung oder Konfigurierung eines übergeordneten Phasenablaufplans des jeweils aktuell bearbeiteten Konstruktionsplans und legen damit letztlich die Methoden für die zentralen Planungsaufgaben wie z.B. Zielselektion oder Konfliktbehandlung fest. Abb. 1 skizziert ein mögliches Zusammenspiel von synthetisierendem Konstruie-

rem über dem Problembereich und analysierendem Steuern über dem Planungsbereich. Ein Phasenablaufplan, bestehend aus Strategie- und Steueroperator-Instanzen, denen jeweils bestimmte Methodengruppen zugeordnet sind, definiert die zu einem bestimmten Zeitpunkt für einen bestimmten Konstruktionsplan gültige Kontrollstruktur. Die instantiierten Strategien definieren die einzelnen Phasen des zentralen Konstruktionszyklus.

Die für Aktionsplanungs- und Konfigurierungsaufgaben typischen Eigenschaften - wie beispielsweise der in aller Regel sehr große Lösungsraum - machen eine gezielte Steuerung erforderlich, um eine möglichst optimale Problemlösung, soweit vorhanden, in „endlicher Zeit“ und mit vertretbarem Aufwand finden zu können.

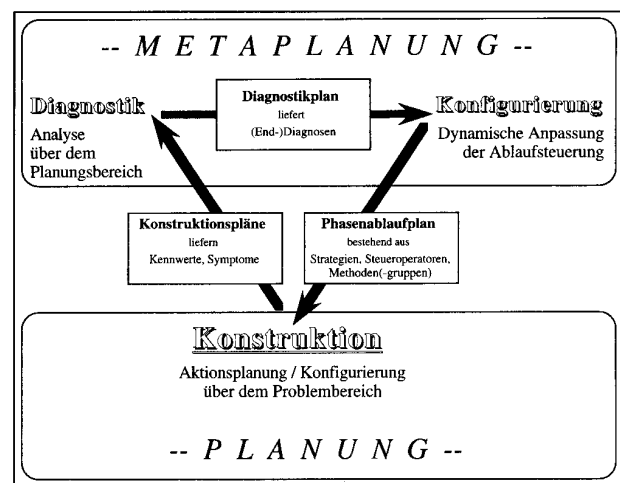


Abb. 1 - Analyse und Synthese: Steuerung eines Konstruktionsprozesses mittels Diagnostik

<sup>1</sup> Konstruktion als Oberbegriff für Aktionsplanung und Konfigurierung

<sup>2</sup> In [Stefik 1981] wurde die Technik der Metaplanung erstmals ausführlich untersucht.

## 2 Motivation

Vor allem in den 80er Jahren und auch noch Anfang der 90er Jahre war ein Trend in Richtung Expertensystemshells festzustellen, um mit wenig Anpassungs-/Erweiterungsaufwand einmal implementierte Systeme bzw. Systemkerne auch für andere ähnliche Problemstellungen heranziehen zu können. Beispiele hierfür sind MED2 [Puppe 1987], TEST [Kahn/Kepner/Pepper 1987] oder PLAKON [Cunis/Günter/Strecker 1991]. Seit einigen Jahren werden - als Weiterentwicklung des Shell-Ansatzes - eher solche Verfahren favorisiert und weiterentwickelt (z.B. [Poeck 1996]), die den Grad der Wiederverwendbarkeit mittels Baukastenprinzip erhöhen sollen. Die Wiederverwendung möglichst mächtiger Komponenten wird als ein wesentlicher Schlüssel zur kosteneffektiven Entwicklung von Informationssystemen angesehen. Bei Eignung für eine bestimmte Anwendung liegen die Vorteile problemspezifischer Shells beim minimal zu erbringenden Aufwand zur Steuersystemvervollständigung und zum Aufbau der Wissensbasis für ein konkretes System, sie sind jedoch nur auf ein Modell der Problemlösung beschränkt und bezüglich der Integration neuer Mechanismen sehr unflexibel. Die maßgebliche Idee bei Expertensystemshell-Baukästen ist die anwendungsspezifische Konfiguration von Problemlösungsmethoden. Beispiele solcher Shell-Baukästen sind KONWERK [Günter 1995] im Bereich des Planens und Konfigurierens, COKE [Poeck 1991] für die Zuordnung und D3 [Puppe/Poeck/Gappa/Bamberger/Goos 1994] für die Diagnostik.

Beim Bestimmen der Kontrollstruktur müssen diverse Entscheidungen getroffen werden, die mit dem verfügbaren Wissen zu Beginn oder am Anfang eines Konstruktionsprozesses oftmals nur vage vollzogen werden können: Welche Backtracking-Mechanismen sollen angewandt, welche Konfliktarten sollen wie behandelt, wie groß sollen die Warteschlangen dimensioniert werden? Dies sind nur einige Fragestellungen von vielen, deren Beantwortung die Basis für die Steuerungselemente eines Konstruktionsystems und damit seiner Kontrollstruktur bilden müssen.

Es liegt nun nahe, die sich aus der Methodenbaustein-Zusammenstellung ergebende Konfigurationsaufgabe auf Steuerungsebene (siehe Abb. 1) dynamisch zu lösen, was gewährleistet, daß auch während eines Konstruktionsprozesses veränderliche Kenn- und Verlaufsgrößen berücksichtigt werden können. Beispiele solcher dynamisch festzulegenden Planungs- bzw. Konstruktionsentscheidungen sind Methodenselektionen für das Propagieren von Constraints (Propagierung einzelner Werte, mittels Fallunterscheidungen, Wertemengenpropagierung, symbolische Propagierung, ... ) oder für das Setzen von Commitments (Least-Commitment, Casual-Commitment, ... ). Aus Qualitätsgesichtspunkten empfiehlt sich eine der Phasenablaufplanung vorausgehende Analyse, die als heuristisch diagnostisches Problem angegangen werden kann. Die adäquate Parametrierung und/oder Konfigurierung der jeweils konstruktionsplanspezifischen Kontrollstruktur stellt sich dann als „Therapiemaßnahme“ dar, basierend auf den Ergebnissen eben dieser hier als Plandiagnostik bezeichneten Steuerungsaufgabe.

Der Komplexitätsgrad von Problemstellungen in der beruflichen Praxis nimmt zu, so daß eine Lösung in geeigneter Qualität häufig nur dann mit vertretbarem Aufwand erarbeitet werden kann, wenn eine Unterstützung durch (wissensbasierte) Entwicklungswerkzeuge gegeben ist. Es ist ein Kompromißlösungsansatz anzustreben, der dem klassischen Dilemma zwischen einer Vielfalt spezialisierter Werkzeuge mit wenig Anpassungsaufwand auf der einen Seite und einigen wenigen weni-

ger spezifischen Werkzeugen mit höherem Anpassungsaufwand für einzelne Systemrealisierungen auf der anderen Seite gerecht wird. Die in diesem Aufsatz beschriebene Methodik zeichnet sich durch die Anwendung vorwiegend schwächerer Problemlösungsmethoden innerhalb eines Expertensystemshell-Baukastens und Kompensation des damit verbundenen geringeren Leistungsniveaus durch plandiagnostische Unterstützung auf übergeordneter Metaplanungsebene aus.

Zwei unterschiedliche finanzwirtschaftliche Anwendungsbeispiele der Konfigurierung und der Aktionsplanung aus der Praxis sollen zeigen, in welchen Fällen solch ein modellbasierter Expertensystemshell-Baukasten mit dem im nächsten Abschnitt beschriebenen diagnostischen Analyseansatz auf Steuerungsebene zur Lösungsgenerierung angewandt werden könnte.

Zur Ermittlung innovativer Finanzierungsangebote im Bereich der Finanzierung von Mobilien und Immobilien, angepaßt an die individuellen Wünsche des/der Vertragspartner, insbesondere vor dem Hintergrund der Verschärfung der Wettbewerbssituation bedingt durch die Öffnung des Europäischen Binnenmarkts, bietet sich ein wissensbasiertes Konfigurationssystem an, das u.a. eine breite Variationspalette von Leasingverträgen und -vertragsbausteinen berücksichtigt. Konventionelle Methoden reichen nicht aus, dieses Problem vollständig oder annähernd exakt zu lösen, da beim Versuch der Ermittlung bzw. Erstellung optimaler Angebote für eine konkrete Beratungs- bzw. Entscheidungssituation schnell die Grenzen des Überschaubaren und analytisch Berechenbaren erreicht werden. In [Weinhardt 1993] ist ein für solche Probleme spezielles Konstruktionsystem erläutert.

Ein typisches Aktionsplanungsproblem stellt sich bei der Planung komplexerer Batch-Abläufe am Großrechner zur automatischen Hintergrundabwicklung (z.B. diverser Zahlungsverkehrs- und Buchungsvorgänge) auf der Basis modularer Jobs, die meist viele Abhängigkeiten und Restriktionen aufweisen, denen entsprechend Rechnung getragen werden muß. Ein geeignetes Aktionsplanungssystem könnte bei entsprechender Modellierung der Jobeinheiten und deklarativer Vorgabe der Zielvorgaben eine Ablauflösung generieren, die allen gestellten Anforderungen, soweit möglich, gerecht wird und damit viel Entwicklungsaufwand abnehmen.

## 3 Auf diagnostischer Analyse basierende Metaplanung

Der in den beiden vorausgegangenen Abschnitten motivierte Ansatz besteht darin, das Wie des Konstruierens über dem Problembereich durch Analyse des jeweils aktuellen Planungsstadiums, -verlaufs und -fortschritts zu (meta-)planen, um die Ablaufsteuerung dem jeweiligen Problemtyp und auch frühzeitig den während des Konstruktionsprozesses sich ändernden Gegebenheiten bedarfsgerecht anzupassen. Komplexe Verfahren (wie z.B. ATMS oder symbolische Constraint-Propagierung) werden auf diese Weise nur dann angewandt, wenn es wirklich erforderlich ist, um ökonomisches Konstruieren zu ermöglichen. Suchstrategien und Verwaltungsmethoden werden gemäß den tatsächlichen Erfordernissen dynamisch festgelegt. So kann es z.B. sinnvoller, schneller und/ oder zu einer besseren Lösung führend sein, eine Warteschlange phasenweise gemäß aufwendigerer Breitensuchstrategie zu

verwalten, als vielleicht zu voreilig mittels Tiefensuche in eine nicht zum gewünschten Ziel führende Richtung „vorzupreschen“.

Die Metaplanung untergliedert sich in die Symptomerhebung auf der Basis diverser beobachteter Kennwerte und vorgegebener oder ermittelter Steuerparameter, in die Plandiagnostik mit der Etablierung von erklärenden Zwischen- und Enddiagnosen, und in die darauf aufsetzende Phasenablaufplanung, während der in Abstimmung mit den ermittelten Analyseergebnissen und den Steuerparametern die Steuerebene des Konstruktionsprozesses konfiguriert oder zumindest parametrisiert wird (siehe Abb. 2). Die vorgegebenen „Steuerungsbausteine“ können um benutzerdefinierte Konzepte ergänzt werden.

**3.1 Symptomerhebung: Ermittlung / Aktualisierung von Steuerparameter- und Kennwerten**

Während des Konstruktionsprozesses bedarf es bei aktivierter Metaplanung wiederholt der Ermittlung bzw. Aktualisierung diverser konstruktionsplan- und -prozessspezifischer Kennwerte, die zusammen genommen ein aussagekräftiges Bild des Problemtyps und des Planungsverlaufs liefern. Für jeden dieser Kennwerte wird eine Historie geführt, damit für das Konstruktionsystem auch Tendenzen ablesbar sind, die bei Momentaufnahmen nur des aktuellen Zustands nicht erkennbar wären. Die beobachteten Kennwerte beschreiben zusammen mit den vorgegebenen oder ermittelten Steuerparameterwerten die Rohdaten für die Plandiagnostik.

Beispiele solcher Kennwerte:

- die Anzahl der gebundenen Variablen = 877 oder
- die Distanz vom Start- zum Zielplanobjekt = 17.

Beispiele für

Steuerparameterwerte:

- Diagnosenetablierungsschwellwert = 0.75 oder
- die maximale Anzahl parallel bearbeiteter Konstruktionspläne = 500.

Mittels einfacher Symptominterpretationen durch Anwendung von Digitalisierungsfunktionen, die der Abbildung bzw. Abstraktion von quantitativen zu qualitativen Werten dienen, werden diese Primärsymptome mit einer gewissen Rasterung, aber noch ohne Unsicherheiten gemäß diagnostischem Mittelbau [Puppe 1991], dem Grundvorgehensmuster der Dia-

gnostik, zu Sekundärsymptomen aufbereitet, um die Diagnostik zu vereinfachen.

Dem Steueroperator *Symptomerhebung* alternativ zuzuordnende Methodengruppen sind beispielsweise die beiden folgenden:

**a) Lokale Symptomerhebung:**

Bei der Interpretation der aussagekräftigen Kennwerte, die die Rolle der beobachtbaren Primärsymptome spielen, beschränkt sich die Symptomerhebung auf den Bereich des jeweils aktuell betrachteten Konstruktionsplans ohne das übrige Konstruktionsprozessumfeld.

**b) Globale Symptomerhebung:**

Neben den konstruktionsplanspezifischen Kennwerten werden zusätzlich noch Kennwerte mit in Betracht gezogen, die aus der Analyse der übrigen Konstruktionsprozessgrößen resultieren.

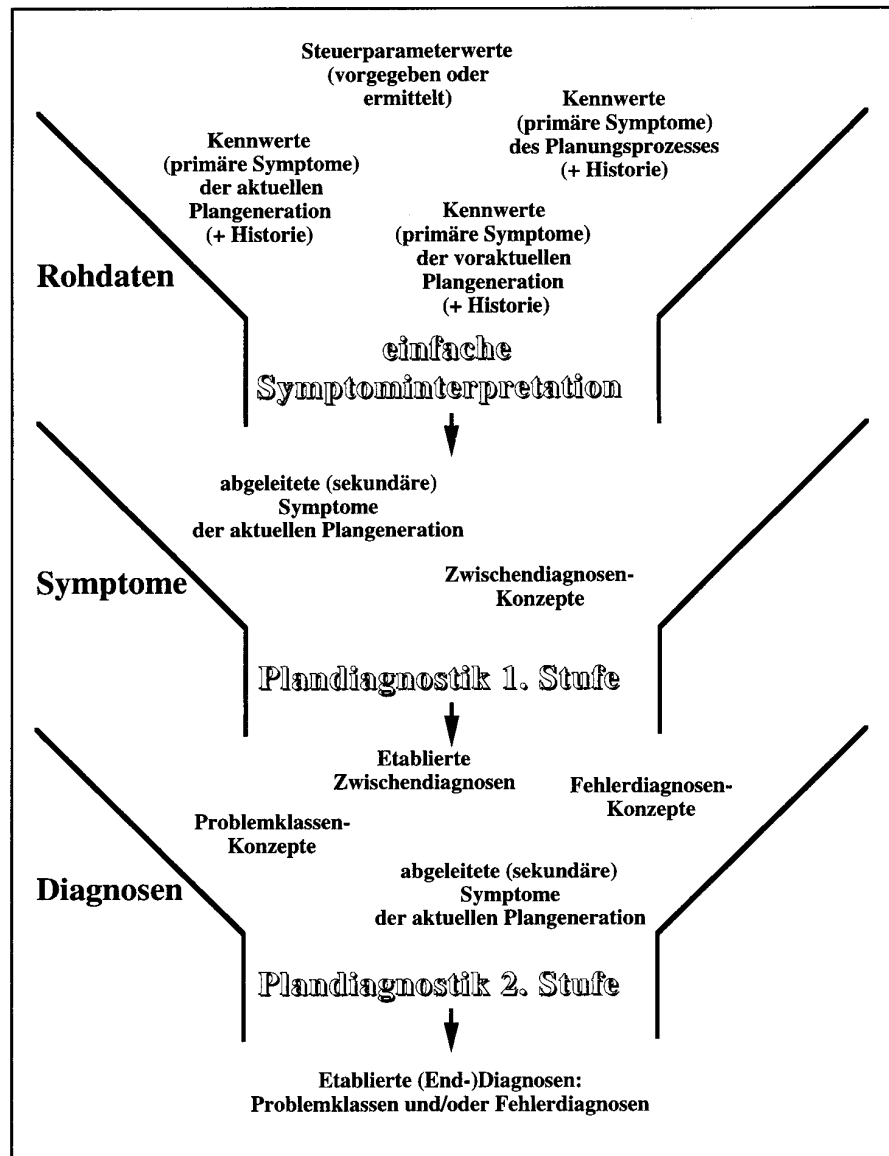


Abb. 2 - Metaplanung: Symptomerhebung -> Plandiagnostik -> Phasenablaufplanung

Die Evaluierung des Steueroperators *Symptomerhebung* liefert einen Satz aufbereiteter Sekundärsymptome wie beispielsweise:

- der Verlauf der Anzahl der Planobjektinstanzen ist *stark steigend*,
- das Verhältnis der Anzahl der Noncodesignations<sup>3</sup>-Abhängigkeiten zur Anzahl aller Abhängigkeiten ist *größer gleich 75 %* oder
- die durchschnittliche Anzahl der aufgetretenen Konflikte ist *gering*.

### 3.2 Plandiagnostik: Heuristische Diagnostik des Konstruktionsprozesses

Plandiagnostik bezeichnet hier das Identifizieren von Erklärungen bzw. Diagnosen (Ursachen) für die erhobenen Kennwerte bzw. Symptome (Wirkungen) anhand der Entwicklung des Konstruktionsprozesses, der vorgegebenen Objektbeschreibungen in Form einer Konzeptionshierarchie, der zu lösenden Problemstellung, und des aktuell bearbeiteten Konstruktionsplans.

Für die Etablierung einer Diagnose muß die resultierende Evidenz einen bestimmten Schwellwert übersteigen. Für eine bestimmte Diagnose sprechen erwartete und beobachtete Symptome mit der zugehörigen positiven Evidenz, gegen eine bestimmte Diagnose sprechen erwartete und nicht beobachtete Symptome mit der zugehörigen negativen Evidenz. Nicht erwartete, aber beobachtete Symptome sprechen ebenfalls gegen eine Diagnose. Das Ergebnis bzw. die Lösung der Plandiagnostik bilden in der Regel mehrere Diagnosen, die in ihrer Gesamtheit ursächlich die erhobenen Symptome bedingen.

Der Diagnostikvorgang wird wie eine Aktionsplanung mit Rückwärtssuche durchgeführt. Diagnosen werden hierbei nicht als zu selektierende Größen als Ergebnis eines Analyseprozesses betrachtet, sondern Diagnosebeschreibungen und die Beziehungen zwischen diesen als Bausteine, aus denen die Lösung - wie bei einem Konstruktionsplan - zu einem Diagnostikplan (vgl. Abb. 1) zusammengesetzt wird; letztlich geht es wie beim Konstruieren darum, einen Zielzustand, definiert durch die beobachteten Symptome, aus einem Anfangszustand, definiert durch die gesuchten Enddiagnosen, ableiten zu können. Das Konstruktionssystem sucht abduktiv durch Mittel-Ziel-Analyse (siehe z.B. [Kienzler 1988], [Hertzberg 1989]) einen Weg von den so gewonnenen Sekundärsymptomen zurück zu konzeptuell beschriebenen Zwischendiagnosen (siehe Abb. 2, Plandiagnostik 1. Stufe).

Diagnosebeschreibungen fungieren als Planobjekte des Diagnostikplans und sind auch gleichermaßen in der STRIPS-Notation [Fikes/Nilsson 1971] repräsentiert wie die Planobjekte eines Konstruktionsplans. Die Nachbedingungen einer Diagnosebeschreibung spezifizieren die bei der jeweiligen Diagnose beobachtbaren Symptome - jeweils mit positiver Evidenzgewichtung, die angibt, wie stark die Anwesenheit des Merkmals (= Symptom) auf die Lösung (= Diagnose) hindeutet, und mit negativer Evidenzgewichtung, die angibt, wie stark die Abwesenheit des Merkmals gegen die Lösung spricht. Bei der klassischen heuristischen Diagnostik (siehe z.B. [Clancey 1985]) wer-

den solche probabilistischen Verrechnungsschemata herangezogen, die nur positive Evidenzen berücksichtigen.

#### Beispiele für Zwischendiagnosen:

Planexplosion, starke positive/negative Interaktionen, gute/schlechte Instanzen-Effektivität, gute/ schlechte Constraint-Propagierungseffizienz ...

Die Lösungssuche für das Plandiagnostikproblem wird im Rahmen der Diagnostik 2. Stufe (siehe Abb. 2) iterativ fortgesetzt. Die etablierten Zwischendiagnosen bilden zusammen mit den Sekundärsymptomen die Symptome der nächsten Stufe. Für die Erfüllung dieser Ziele können nun Problemklassen- und Fehlerdiagnosen-Konzepte instantiiert werden.

Dem Steueroperator *Plandiagnostik* alternativ zuordenbare Methodengruppen sind beispielsweise die beiden folgenden:

#### a) Grobdiagnostik:

Das Ziel der Diagnostik beschränkt sich darauf, pathologische Situationen als solche zu identifizieren. Als mögliche Enddiagnosen werden daher nur Fehlerdiagnosen ins Kalkül gezogen, eine Zuordnung zu bestimmten Problemklassen erfolgt nicht.

#### b) Feindiagnostik:

Das Ziel der Diagnostik besteht zum einen darin, pathologische Situationen als solche zu identifizieren, und zum anderen in einer Problemklassenzuordnung des gegebenen Konstruktionsproblems, wobei Aufgabenstellung und Planungsverlauf hierfür gleichermaßen analysiert werden. Für die Evidenzbewertung von Diagnosen werden im Gegensatz zur Grobdiagnostik individuell spezifizierte Positiv- und Negativ-Merkmalsgewichtungen, soweit vorhanden, berücksichtigt.

Die Evaluierung des Steueroperators *Plandiagnostik* liefert einen Satz etablierter Enddiagnosen wie beispielsweise: Planung zu sehr in die Breite, zu viele oder falsche Commitments ... (Fehlerdiagnosen) und/oder Constraint-Problem, nichtlineares Problem, nichtmonotones Problem ... (Problemklassenzuordnungen).

### 3.3 Phasenablaufplanung: Parametrierung/ Konfigurierung des Kontrollrahmens

Das Ergebnis der Plandiagnostik, der generierte Diagnostikplan, beschreibt eine Diagnosen-Symptome-Kausalitätskette. Für jede Diagnose sind bestimmte Methodengruppen zur adäquaten Behandlung in deren konzeptuellen Beschreibungen spezifiziert. Die Bewertung und damit die Auswahl der letztlich den Steueroperatoren des jeweiligen Ablaufplans zuzuordnenden Methodengruppen basiert auf den für jede instantiierte Diagnose ermittelten Etablierungsgewichtungen, die kumuliert werden.

Bei der Phasenablaufplanung werden die Ergebnisse der Plandiagnostik dahingehend umgesetzt, daß das Konstruktionssystem aufgrund der etablierten Diagnosen entweder entscheidet, daß die bestehende Kontrollstruktur nicht geändert zu werden braucht, da sie offensichtlich den Planungsbedürfnissen gerecht wird, oder eine Änderung auf der Steuerebene vornimmt, indem die konstruktionsplan-spezifische Kontrollstruktur, der jeweilige Ablaufplan, angepaßt wird.

<sup>3</sup> Noncodesignation [Chapman 1987] drückt ein explizites Unifikationsverbot aus.

Dem Steueroperator *Phasenablaufplanung* alternativ zuzuordnende Methodengruppen sind beispielsweise die beiden folgenden:

**a) Ablaufplanung durch Parametrierung:**

Die Zuordnung der einzelnen Methodengruppen zu den zugehörigen Steueroperator-Instanzen des bestehenden Phasenablaufplans bleibt unverändert. Der Aktionsspielraum zum Modifizieren des Ablaufplans, falls dies erforderlich ist, beschränkt sich auf die mögliche Änderung der Steuerparametrierung.

**b) Ablaufplanung durch Konfigurierung:**

Die Adaption der Planungssteuerung kann nicht nur durch Änderung der Steuerparameter, sondern auch durch Neu- bzw. Umkonfigurierung der Steuerebene erfolgen. Dies kann dadurch bewerkstelligt werden, daß den Steueroperatoren des Phasenablaufplans andere Methodengruppen zugeordnet werden, die ein für die jeweilige Aufgabenstellung und Planungssituation geeigneteres Planungsverhalten zur Folge haben.

## 4 Implementierte Anwendungsbeispiele mit Bezug/Abgrenzung zu anderen Arbeiten

Als Implementierungsbeispiele für den in diesem Aufsatz beschriebenen Metaplanungsansatz sind zu nennen: DIAKON, eine Expertensystemshell bzw. ein -Baukasten für Konstruktionssysteme, und zwei mittels dieser Shell realisierte Systeme, HORA, ein Konfigurierungssystem zur Stundenplangenerierung, und ACTIO, ein nichtlineares Aktionsplanungssystem. Die objektorientierte und hardwareunabhängige Implementierung erfolgte in Common LISP und CLOS [Keene 1989].

Zum Vergleich: In [Günter 1992] werden verschiedene Kontrollmechanismen in Kontrolltypen kategorisiert, die mit Hilfe der sogenannten begriffshierarchie-orientierten Kontrolle, wie bei PLAKON [Cunis/Günter/Strecker 1991] geschehen, realisiert werden können. PLAKON, eine Expertensystemshell für Aktionsplanungs- und Konfigurierungsaufgaben, ist durch ein Baukastensystem zum Aufbau von Konstruktions-Expertensystemen realisiert worden. Die Vorzüge liegen im wesentlichen in der Modularität und Offenheit für Erweiterungen, in der Fähigkeit zur Repräsentation komplexer technischer Objekte und in der Verwendbarkeit unterschiedlicher Strategien. DIAKON stellt eine Weiterentwicklung dieses Ansatzes insofern dar, als die Anpassung der Kontrollstruktur an die spezifischen Belange der jeweiligen Problemstellung und des Planungsverlaufs dynamisch mit den Mitteln der Plandiagnostik auf der Basis vorgegebener und gegebenenfalls benutzerdefinierter Strategien, Steueroperatoren und Methodengruppen erfolgt. Die Strategien und Steueroperatoren geben den ausbaubaren Rahmen vor, in welchen immer wieder temporär passende Methodengruppen-Instanzen eingesetzt werden. Der DIAKON zugrunde liegende Konzeptbaukasten für den Aufbau der Kontrollstruktur ist vergleichbar mit dem in [Günter 1992] beschriebenen Steuerungsrepertoire verschiedener Kontrolltypen; dieses erlaubt jedoch nur eine bedingt situative Steuerung, aber keinen dynamischen Verfahrenswechsel innerhalb einer Methodik.

Beide auf Basis DIAKONs implementierten Konstruktionssysteme sind bereits ohne Ergänzung spezieller problemspezifischer Strategien, Steueroperatoren oder Methodengruppen realisierbar gewesen. Es bedurfte lediglich einer adäquaten Modellierung der involvierten Plan- und Domänenobjekte und - zur Effizienzsteigerung - der Miteinbringung domänenspezifischen Kontrollwissens.

**ACTIO**

ACTIO ist ein nichtlinear operierendes Aktionsplanungssystem, welches eine Weiterentwicklung von FKNLP [Kienzler 1990] ist. Während FKNLP gleichermaßen wie SNLP [McAllester/Rosenblitt 1991] eine Verbesserung gegenüber TWEAK [Chapman 1987] insofern darstellt, als es bei der Zielbearbeitung ohne die aufwendige Gültigkeitsprüfung mit Chapmans „modal truth criterion“ auskommt, sind die Repräsentationsmöglichkeiten von ACTIO demgegenüber mächtiger. ACTIO ist - zumindest auf der Planungsebene - mit einem nichtlinearen spezialisierten Planer wie UCPOP [Penberthy/Weld 1992] vergleichbar, da etwa auch die Darstellung bedingter Effekte [Pednault 1991] mittels spezieller Merkmalsattribute oder die Quantifizierung über Merkmalsvariablen durch entsprechende Constraints möglich sind.

**HORA**

HORA ist ein Konfigurierungssystem, das in der Lage ist, mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen Lehrer, Klassen, Fachgruppen, Räume und Zeit bei Vorgabe einer Schul-Deputatsliste, die für alle Klassen und Fachgruppen festlegt, welche Lehrerin bzw. welcher Lehrer welches Fach mit wieviel Wochenstunden unterrichtet, und Verfügbarkeitslisten, denen die Verfügbarkeitszeiten aller Lehrkräfte, Klassen, Fachgruppen<sup>4</sup>, Räume und Fächer zu entnehmen sind, einen Unterrichtsplan (= Stundenplan) zu erstellen, wobei diverse oftmals konkurrierende Kann- und/oder Muß-Restriktionen berücksichtigt werden.

**Beispiele für Kann- bzw. Soll-Restriktionen:**

- Berücksichtigung zu empfehlender/zu vermeidender Tage, Stunden und Räume:  
z.B. Empfehlung/Vermeidung bestimmter Stunden für bestimmte Lehrkräfte an bestimmten Tagen (Lehrersonderwünsche),  
Vermeidung von Nachmittagsunterricht, vor allem bei Jahrgangsstufen £ 4,  
Unterrichtung von Kernfächern in den Stunden 1-4,  
Unterrichtung von Klassen in ihren Klassenzimmern,
- keine Unterrichtung eines Faches in einer Klasse bzw. Fachgruppe mehrmals an einem Tag außer bei beabsichtigten Doppelstunden,
- Vermeidung von Hohlstunden (zwingend bei den Jahrgangsstufen 1-2).

Es gibt zwar schon viele dedizierte Programme für das np-vollständige Problem der Stundenplangenerierung wie beispielsweise das kommerziell vertriebene STUPAS von B. Schriek oder REST/ COKE [Poeck 1991], allerdings handelt es sich dabei immer um sehr spezialisierte Programme, die nur für sehr ähnlich geartete Problemstellungen einsetzbar sind. Das auf dem

<sup>4</sup> Fachgruppe: für die Unterrichtung eines bestimmten Faches temporärer Verband von Anteilen verschiedener Klassen

problemspezifischen Expertensystem-Werkzeug COKE basierende Stundenplanungsprogramm REST ist spezialisiert auf Zuordnungsprobleme. Der wichtigste Unterschied zwischen HORA und REST besteht darin, daß HORA nicht nach der speziell für Zuordnungsprobleme geeigneten Vorschlagen-und-Vertauschen-Strategie vorgeht, sondern das Stundenplanungsproblem im weiteren Sinne als Konfigurierungsproblem behandelt.

## 5 Fazit

Die wesentlichen Vorteile des in diesem Aufsatz beschriebenen Analyseansatzes zur Steuerung von Konstruktionsprozessen sind:

- Selbstregulativ/Adaptivität (durch wiederholende dynamische Ermittlung bzw. Aktualisierung diverser Kennwerte und anschließender diagnostischer Auswertung),
- Flexibilität (schwächere Problemlösungsmethoden gepaart mit übergeordneter Metaplanung eröffnen ein breiteres Einsatzspektrum),
- Ökonomie (Konstruieren mit so viel Aufwand wie nötig und so wenig wie möglich, indem nur solche methodischen Werkzeuge eingesetzt werden, die den jeweils aktuellen Bedürfnissen gerade gerecht werden),
- Synergie und Zielgerichtetheit (nahezu die gleichen Repräsentationsmöglichkeiten und Auswertungsmechanismen für Plandiagnostik und Konstruktion, Diagnostik als Aktionsplanung mittels Rückwärtssuche im Lösungsraum).

Der hier beschriebene Steuerungsansatz ist nicht die Basis für ein universelles Konstruktionssystem bzw. für eine universelle Konstruktionssystemshell, aber es ist ein Ansatz, dem Trend hin zu dedizierten Aktionsplanungs- und Konfigurierungssystemen entgegenzuhalten. Das geringere Leistungsniveau, aber dafür breitere Einsatzspektrum schwächerer (d.h. weniger spezifischer) Problemlösungsmethoden kann durch plandiagnostische Unterstützung auf Metaplanungsebene zu kompensieren versucht werden. Durch die Integration scheinbar gegensätzlicher Problemlösungsmethoden für die Problembereiche Analyse und Synthese eröffnen sich neue Möglichkeiten und Wege.

## Literatur

- [Chapman 1987] Chapman, D.: Planning for Conjunctive Goals. *Artificial Intelligence* 32, 333-377, 1987.
- [Clancey 1985] Clancey, W. J.: Heuristic Classification. *Artificial Intelligence* 27, 1985.
- [Cunis/Günter/Strecker 1991] Cunis, R., Günter, A., Strecker, H. (Hrsg.): Das PLAKON - Buch. *Informatik-Fachberichte* 266. Springer, 1991.
- [Fikes/Nilsson 1971] Fikes, R. E., Nilsson, N. J.: STRIPS: A New Approach to the Application of Theorem Proving in Problem Solving. *Artificial Intelligence* 2, 189-208, 1971.
- [Günter 1992] Günter, A.: Flexible Kontrolle in Expertensystemen zur Planung und Konfigurierung in technischen Domänen. Dissertation, Universität Hamburg. DISKI-Reihe Dissertationen zur Künstlichen Intelligenz, 3. Hundt-Verlag infix, 1992.
- [Günter 1995] Günter, A.: KONWERK - ein modulares Konfigurierungswerkzeug. *Expertensysteme* 95, Hundt-Verlag infix, 1-18, 1995.
- [Hertzberg 1989] Hertzberg, J.: Planen - Einführung in die Planerstellungsmethoden der Künstlichen Intelligenz. *BI-Wissenschaftsverlag, Reihe Informatik Band 65*, 1989.
- [Kahn/Kepner/Pepper 1987] Kahn, G., Kepner, A., Pepper, J.: TEST: a Model-Driven Application Shell. *AAAI-87*, 1989.

- [Keene 1989] Keene, S. E.: Object-Oriented Programming in Common LISP. *A Programmer's Guide to CLOS*. Addison-Wesley, 1989.
- [Kienzler 1988] Kienzler, F.: Untersuchung von Planungssystemen. Studienarbeit. Universität Karlsruhe, 1988.
- [Kienzler 1990] Kienzler, F.: Konzeption und Implementierung eines nichtlinearen Aktionsplanungssystems. Diplomarbeit. Universität Karlsruhe, 1990.
- [McAllester/Rosenblitt 1991] McAllester, D., Rosenblitt, D.: Systematic Nonlinear Planning. *Proceedings of AAAI-91*, 634-639, 1991.
- [Pednault 1991] Pednault, E. P.: Generalizing Nonlinear Planning to Handle Complex Goals and Actions with Context-Dependent Effects. *Proceedings of IJCAI-91*. Darling Harbour, Sydney/Australia, 240-245, 1991.
- [Penberthy/Weld 1992] Penberthy, J. S., Weld, D. S.: UCPOP: A sound, complete, partial order planner for ADL. *Proceedings of KR-92*, 103-114, 1992.
- [Poeck 1991] Poeck, K.: COKE: An Expert-System-Shell for Assignment Problems. *Tagungsband: 5. Workshop Planen und Konfigurieren*, Hamburg, 115-122, 1991.
- [Poeck 1996] Poeck, K.: Konfigurierbare Problemlösungsmethoden am Beispiel der Problemklassen Zuordnung und Diagnostik. Dissertation, Universität Würzburg. DISKI-Reihe Dissertationen zur Künstlichen Intelligenz, 86. Hundt-Verlag infix, 1996.
- [Puppe 1987] Puppe, F.: Übersicht über das Diagnostik-Expertensystem-Shell MED2. In: Balzert, H., Heyer, G., Lutze, R. (Hrsg.): *Expertensysteme '87 - Konzepte und Werkzeuge*. Teubner, 356-374, 1987.
- [Puppe 1991] Puppe, F.: Einführung in Expertensysteme. Springer, 2. Auflage, 1991.
- [Puppe/Poeck/Gappa/Bamberger/Goos 1994] Puppe, F., Poeck, K., Gappa, U., Bamberger, S., Goos, K.: Wiederverwendbare Bausteine für eine konfigurierbare Diagnostik-Shell. *Künstliche Intelligenz* 2/94, 13-18, 1994.
- [Richter 1989] Richter, M. M.: *Prinzipien der Künstlichen Intelligenz*. Teubner, 1989.
- [Stefik 1981] Stefik, M.: Planning and Meta-Planning (MOLGEN: Part 2). *Artificial Intelligence* 16, 141-170, 1981.
- [Weinhardt 1993] Weinhardt, C.: Klassifikation/Selektion versus Konstruktion/Konfiguration in Wissensbasierten Systemen am Beispiel zweier finanzwirtschaftlicher Anwendungen. In: Puppe, F., Günter, A. (Hrsg.): *Expertensysteme '93*. 2. Deutsche Tagung Expertensysteme (XPS-93) Hamburg, 17.-19. Februar 1993. Springer, 235-247, 1993.

### Kontaktadresse:

Dipl.-Inform. Friedemann A. Kienzler  
Humboldtstr. 18  
D-81543 München  
Telefon: 49-089-650385  
Fax: 49-89-650385  
email: kienzler@compuserve.com



Dipl.-Inform. Friedemann Kienzler studierte Informatik an der Universität Karlsruhe. Er arbeitet als IT-Projektleiter im Informatikzentrum der Bayerischen Landesbank, München. Berufsbegleitend ist er seit 1993 externer Doktorand an der Universität Ulm, Abt. KI.