

# Synthese versus Analyse in modellbasierten KI-Planungssystemen?

Dr. Friedemann Kienzler

## Einleitung

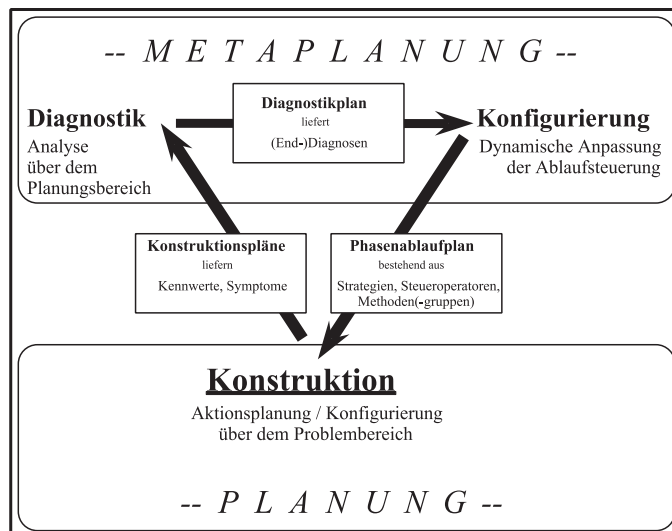
Diese Dissertation [3] nimmt sich der Fragestellung an, wie sich ein synthetisierendes, wissensbasiertes Konstruktionssystem analytische Diagnosetechniken zunutze machen kann. Es wird eine Analysemethodik beschrieben, die es erlaubt, in Konstruktionssystemen bzw. -shells auch schwächere, d.h. weniger 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 (siehe hierzu auch [2]) basiert auf instantiierbaren Strategien, zugehörigen Steueroperatoren und letzteren zuzuordnenbaren Methodengruppen.

Eine mögliche und häufig zitierte Klassifikation von Expertensystemen (z.B. in [7]) basiert auf der Einteilung nach verschiedenartigen Problemlassen, die von Expertensystemen gelöst werden können. So kann beispielsweise grob differenziert werden 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.

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. Zielelektion oder Konfliktbehandlung fest. Die nachfolgende Abbildung skizziert ein mögliches Zusammenspiel von synthetisierendem Konstruieren 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 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 (siehe z.B. [6]).

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 (z.B. [8]): 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 Konstruktionssystems und damit seiner Kontrollstruktur bilden müssen.



Analyse und Synthese: Steuerung eines Konstruktionsprozesses mittels Diagnostik

Es liegt nun nahe, die sich aus der Methodenbaustein-Zusammenstellung ergebende Konfigurationsaufgabe auf Steuerungsebene 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, ...; [4]). 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 konstruktionsplan-spezifischen 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 (siehe z.B. [1]). Es ist ein Kompromiss-Lösungsansatz anzustreben, der dem klassischen Dilemma zwischen einer Vielfalt spezialisierter Werkzeuge mit wenig Anpassungsaufwand auf der einen Seite und einigen wenigen weniger spezifischen Werkzeugen mit höherem Anpassungsaufwand für einzelne Systemrealisierungen auf der anderen Seite gerecht wird.

### **Auf diagnostischer Analyse basierende Metaplanung**

Der im vorausgegangenen Abschnitt 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 parametrierbar wird. Die vorgegebenen „Steuerbausteine“ können um benutzerdefinierte Konzepte ergänzt werden.

### **Symptomerhebung: Ermittlung/ Aktualisierung von Steuerparameter und Kennwerten**

Während des Konstruktionsprozesses bedarf es bei aktivierter Metaplanung wiederholend der Ermittlung bzw. Aktualisierung diverser konstruktionsplan- und -prozess-spezifischer Kennwerte, die zusammengenommen 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.

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, dem Grundvorgehensmuster der Diagnostik, zu Sekundärsymptomen aufbereitet, um die Diagnosenetablierung zu vereinfachen.

### **Plandiagnostik – heuristische Diagnostik des Konstruktionsprozesses**

Plandiagnostik bezeichnet hier das Identifizieren von Erklärungen bzw. Dia-

gnosen (Ursachen) für die erhobenen Kennwerte bzw. Symptome (Wirkungen) anhand der Entwicklung des Konstruktionsprozesses, der vorgegebenen Objektbeschreibungen in Form einer Konzepthierarchie, 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 Diagnostik-Vorgang 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“ (siehe auch obige Abbildung) zusammengesetzt wird; letztlich geht es wie beim Konstruieren darum, einen Zielzustand, definiert durch die beobachteten Symptome, aus einem Anfangszustand, definiert durch die gesuchten Enddiagnosen, abzuleiten zu können. Das Konstruktionsystem sucht abduktiv durch Mittel-Ziel-Analyse einen Weg von den so gewonnenen Sekundärsymptomen zurück zu konzeptuell beschriebenen Zwischendiagnosen.

Diagnosebeschreibungen fungieren als Planobjekte des Diagnostikplans und sind auch gleichermaßen in der STRIPS-Notation 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.

Die Lösungssuche für das Plandiagnostik-Problem wird im Rahmen der Diagnostik 2. Stufe iterativ fortgesetzt.

Die etablierten Zwischendiagnosen bilden zusammen mit den Sekundär-Symptomen die Symptome der nächsten Stufe. Für die Erfüllung dieser Ziele können nun Problemklassen- und Fehlerdiagnosen-Konzepte instantiiert werden. 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, nicht-lineares Problem, nichtmonotones Problem ... (Problemklassenzuordnungen).

### 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 Beschreibung 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.

### Hinweise auf Implementierungen

Als Implementierungsbeispiele für den in dieser Dissertation beschriebenen Metaplanungsansatz sind zu nennen: DIAKON, eine Expertensystemshell bzw. ein -Baukasten für Konstruktionssysteme, und zwei mittels dieser Shell realisierte Systeme, HORA, ein Konfigurationssystem (z.B. zur Stundenplangenerierung), und ACTIO, ein nichtlineares Aktionsplanungssystem (z.B. zum Lösen von Job-Ablaufplanungsproblemen). Die objektorientierte und hardware-unabhängige Implementierung erfolgte in Common LISP und CLOS (Common Lisp Object System).

HORA eignet sich u.a. zur Generierung von Schulstundenplänen bei vor-

gegebenen Deputatslisten und bietet die Möglichkeit zur Repräsentation und Berücksichtigung schulspezifischer Besonderheiten. HORA geht aber nicht nach der speziell für Zuordnungsprobleme geeigneten Vorschlagen-und-Vertauschen-Strategie vor (wie etwa das auf dem problemspezifischen Expertensystem-Werkzeug COKE basierende Stundenplanungsprogramm REST [5]), sondern behandelt das Stundenplanungsproblem im weiteren Sinne als Konfigurierungsproblem; das zugrunde liegende Basissystem DIAKON ist aufgrund der diagnostischen Metaplanung im Gegensatz zu COKE allgemeiner verwendbar für die Realisierung von Aktionsplanungs- und Konfigurierungssystemen. Für ACTIO gilt Entsprechendes im Vergleich zu spezialisierten Aktionsplanern.

### Fazit

Die wesentlichen Vorteile des in dieser Dissertation beschriebenen Analyseansatzes zur Steuerung von Konstruktionsprozessen sind:

- Selbstregulativität/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 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.

### Literatur

- [1] Ghallab, M., Milani, A.: New Directions in Planning. Volume 31 in Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Proceedings of the European Workshop on Planning, EWSP-95, IOS Press, 1996.
- [2] 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.
- [3] Kienzler, F.: Synthese versus Analyse in modellbasierten KI-Planungssystemen? DIAKON - ein auto-adaptiver diagnostischer Lösungsansatz für Aktionsplanungs- und Konfigurierungsprobleme, Dissertation, Universität Ulm. ISBN 3-8265-6896-6, Shaker-Verlag, 2000.
- [4] Minton, S., Bresina, J., Drummond, M.: Commitment Strategies in Planning: A Comparative Analysis. Proceedings of the Twelfth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-91. Darling Harbour, Sydney/Australia, 259-265, 1991.
- [5] Poeck, K.: COKE: An Expert-System-Shell for Assignment Problems. Tagungsband: 5. Workshop Planen und Konfigurieren, Hamburg, 115-122, 1991.
- [6] 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.
- [7] Puppe, F.: Problemlösungsmethoden in Expertensystemen. Springer-Verlag, 1990.
- [8] Ryu, K. R., Irani, K. B.: Learning from Goal Interactions in Planning: Goal Stack Analysis and Generalization. Proceedings of the Tenth National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-92, 401-407, 1992.

### Kontakt

Dipl.-Inform. Dr. Friedemann A. Kienzler  
Ringstr. 10 d  
D-86911 Dießen-Riederau a. Ammersee  
Tel.: ++49-8807-949437  
Fax: ++49-8807-949438  
Email DrKienzler@cs.com  
URL <http://www.DrKienzler.de>

Dissertation als PDF-Datei im Online-Katalog des Shaker-Verlags verfügbar unter: <http://www.shaker.de>



Dr. Friedemann Kienzler

studierte Informatik an der Universität Karlsruhe. Er arbeitete als Team- und Projektleiter im Unternehmensbereich Informatik der Bayerischen Landes-

bank in München. Der Abschluss der berufsbegleitenden Promotion an der Universität Ulm, Abteilung KI, erfolgte 1999.