

Konfigurationsprüfung einer hydraulischen Anlage mit einem modellbasierten System

Ralf Lemmen

Forschungsbericht Nr. 2/92

Meß-, Steuer- und Regelungstechnik

Übersicht: Modellbasierte Systeme gehören zur Klasse der wissensbasierten Systeme, deren bekannteste Unterklasse die Expertensysteme sind. Der vorliegende Bericht beschreibt ein solches modellbasiertes System. Zunächst wird auf die Konfigurierung eingegangen und dann werden modellbasierte Systeme und Expertensysteme miteinander verglichen. Daran anschließend wird an einem Beispiel einer einfachen hydraulischen Schaltung die Arbeitsweise des Systems und des statischen Prüfungskerns, der Propagierung, vorgestellt.

Gerhard-Mercator-Universität - GH Duisburg
Meß-, Steuer- und Regelungstechnik
Prof. Dr.-Ing. H. Schwarz

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Übersicht	1
2 Anwendungsgebiet	2
2.1 Projektentwicklung einer Anlage	2
2.2 Ziele beim Einsatz eines modellbasierten Systems	3
3 Wissensbasierte Methoden der Konfigurierung	5
3.1 Konfigurierung	5
3.2 Wissensbasierte Methoden der Konfigurierung	6
3.3 Vergleich von rein heuristischen mit rein modellbasierten Systemen.	7
4 Struktur des modellbasierten Systems	9
5 Vorgehensweise an einem technischen Beispiel	13
5.1 Eingaben im modellbasierten System	13
5.2 Propagierungsbeispiel	15
6 Zusammenfassung und Ausblick	19
7 Literaturverzeichnis	20

1 Einleitung und Übersicht

Hydraulische Anlagen werden immer komplexer und sind somit auch schwieriger in Betrieb zu setzen. Die Gründe hierfür sind zum einen spezielle Kundenwünsche und zum anderen die immer stärker werdende Integration von Regelungstechnik, Hydraulik und Elektronik. Ein modellbasiertes System, das im Rahmen eines von der DFG geförderten Kooperationsprojektes zwischen dem Fachbereich Maschinenbau der Universität Duisburg und dem Fachbereich Praktische Informatik der Universität Paderborn prototypisch entwickelt wird, soll die Inbetriebnahme unterstützen. Modellbasierte Systeme gehören zur Klasse der wissensbasierten Systeme, deren bekannteste Unterklasse die Expertensysteme sind. Schon während der Einarbeitungsphase in das Projekt hat sich herausgestellt, daß die Arbeit der Abteilungen Projektierung und Konstruktion von entscheidender Bedeutung für die Inbetriebnahme hydraulischer Anlagen ist. Ein System zur Inbetriebnahmehilfe muß deshalb im wesentlichen für eine anforderungsgerechte Projektierung und Konstruktion einer Anlage sorgen. Dieses geschieht durch die Unterstützung der Neubau- bzw. Änderungskonfigurierung und die Konfigurationsprüfung einer Anlage.

Der vorliegende Bericht soll Anwendungsziele und eine Abgrenzung des hier vorgestellten modellbasierten Systems von anderen Systemen aufzeigen. Deshalb werden in Abschnitt 2 Anwendungsgebiete des Systems und die Anwendungsforderungen an das System beschrieben. Die genannten Ansatzpunkte an die Projektierung und Konstruktion bedeuten für das System die Lösung eines Konfigurationsproblems. Deshalb beschäftigt sich der Abschnitt 3 mit der Konfigurierung und deren Problemlösungsmethoden. Abschnitt 4 beschreibt den Ansatz und die Struktur des Systems. In Abschnitt 5 wird die Vorgehensweise bei der Benutzung des Systems an Hand eines technischen Beispiels erläutert. Weiter wird auf die wesentliche Verarbeitungsprozedur der statischen Funktionsprüfung, der Propagierung, vertieft eingegangen. Eine Zusammenfassung und Ausblick schließt den Bericht ab.

2 Anwendungsgebiet

Das Anwendungsgebiet, an dem der modellbasierte Ansatz prototypisch realisiert werden soll, ist das der hydraulisch-translatorischen Antriebe. Um das Problemfeld, das alle Zylinderantriebe umfaßt, weiter einzuschränken, wurde die Bühnentechnik ausgewählt. Diese Einschränkung gilt nicht für den Systemansatz, sondern nur für das Anwendungsgebiet, an dem die Machbarkeit exemplarisch gezeigt werden soll. Eine hydraulische Anlage besteht aus den Komponenten wie z.B. Ventilen, Zylindern, Steuerblöcken, Pumpen, Rohrleitungen usw., die über Schnittstellen miteinander in Verbindung stehen (siehe Bild 2.1). Aus diesen Komponenten setzt sich unter Berücksichtigung der Topologie (Anordnung) die Gesamtanlage zusammen. Die Anlagenanforderungen bestehen aus Kundenanforderungen (z.B. geforderte Kräfte und Geschwindigkeiten), Sicherheitsanforderungen (z.B. max. zulässige Drücke, umweltverträgliche Hydraulikflüssigkeit) und sonstigen Randbedingungen (z.B. max. zulässige Geräusche).

Bild 2.1: Struktur einer hydraulischen Anlage

2.1 Projektentwicklung einer Anlage

Bild 2.2 zeigt die Tätigkeiten und den Ablauf einer Projektentwicklung. Der Verkauf bzw. der Vertrieb ermittelt die Wünsche des Kunden und erstellt ein Pflichtenheft sowie eine Grobspezifikation der Anlage. Im Pflichtenheft werden die Anforderungen, die räumliche Grundstruktur, Randbedingungen und das Arbeitsprinzip der Anlagen festgehalten. Daraan schließt sich die Projektierung der Anlage als auch die Erstellung eines detaillierten Angebotes an. Bei den nun stattfindenden Verhandlungen werden so lange Angebotsänderungen vorgenommen, bis das Angebot den Vorstellungen des Kunden entspricht und dieser den Auftrag erteilt. In dem sich anschließenden Bereich der Konstruktion werden die einzelnen Komponenten zur Gesamtanlage zusammengestellt und alle Einzelteile ausgearbeitet. Weiter werden Funktionsdiagramme der Anlagenanforderungen unter Berücksichtigung der Randbedingungen angefertigt. Nach der Fertigung und der Vormontage

Bild 2.2: Projektabwicklung

der Anlage im Werk wird die Anlage beim Kunden angeliefert, montiert und in Betrieb genommen. Fehler, die erst an dieser Stelle entdeckt und Änderungen, die an der Anlage vorgenommen werden, erweisen sich oft als problematisch und kostenintensiv. Wie sich in der Praxis zeigt (Lemmen 1991b), ist eine anforderungsgerechte sowie fehlerfreie Projektierung und Konstruktion die wichtigste Voraussetzung einer schnellen und guten Inbetriebnahme. Neben der zu verbessernden Informationssituation des Inbetriebnahmepersonals über die Anlage, beinhalten diese Punkte ein großes Automatisierungspotential.

2.2 Ziele beim Einsatz eines modellbasierten Systems

Aus den oben genannten Voraussetzungen der Inbetriebnahme lassen sich folgende Ziele beim Einsatz eines modellbasierten Systems ableiten:

- Informationssituation des Inbetriebnahmepersonals verbessern durch:
 - Informationen über die Anlagenanforderungen und Kundenwünsche.

- Informationen über die Anlagenstruktur, den Anlagenaufbau und die Anlagenfunktionen.
- Informationen über die verwendeten Komponenten und Baugruppen.
- Informationssituation der Projektierung/Konstruktion verbessern durch:
 - Institutionalisierung des Informationsflusses.
 - Rückinformation über Probleme, Umbauten und Konstruktionsänderungen auf der Baustelle und bei der Inbetriebnahme auftreten.
 - Erfassung und allgemeine Verfügbarkeit des Fachwissens und umfangreicher Erfahrungen eines bzw. mehrerer Experten (z. B. Verfügbarkeit von erfahrenen Kollegen oder die Vermeidung der Wiederholung von Fehlern).
- Teilgebiete der Funktions- und Konfigurationskontrolle sollen sowohl zeitlich als auch im Betriebsablauf vorverlegt und automatisiert werden. Ein Fehler, der in der Konstruktionsphase statt in der Inbetriebnahmephase entdeckt wird, lässt sich einfacher und kostengünstiger korrigieren.
- Standard- und Nebentätigkeiten sollten an weniger qualifiziertes Personal delegiert werden. Dieses Personal könnte dann mit der kompetenten Unterstützung durch das modellbasierte System diese Aufgaben durchführen, dabei lernen und sich qualifizieren.

3 Wissensbasierte Methoden der Konfigurierung

Im weiteren soll auf das Hauptziel dieses modellbasierten Ansatzes, nämlich die Gewährleistung einer funktions- und anforderungsgerechten Projektierung und Konstruktion, eingegangen werden. Diese Aufgabe läßt sich als die Lösung eines Konfigurierungsproblems beschreiben. Zunächst wird auf die Konfigurierung, deren Methoden sowie die Vor- und Nachteile der Methoden eingegangen.

3.1 Konfigurierung

Eine der bedeutendsten Definitionen der Konfigurierung lautet (Ebner 1992):

Konfigurieren ist der planerische Prozeß, welcher die Auswahl von Komponenten aus einer vorgegebenen Menge von Komponenten zu einem den Anforderungsdefinitionen entsprechenden Gesamtsystem zum Ziel hat. Das Resultat wird als Konfiguration bezeichnet.

In Bild 3.1 wird der Sachverhalt verdeutlicht, daß aus den Komponenten unter Berücksichtigung der Anlagenanforderungen eine Anlagenkonfiguration erstellt wird. Die Konfi-

Bild 3.1: Black–Box–Modell der Konfigurierung (Ebner 1992)

gurierung wird in der Literatur (Puppe 1990) in drei Teilbereiche untergliedert:

- **Neukonfigurierung**

Bei dem Neuerstellen einer Anlage stehen die Planung, die Komponentenauswahl, die Anordnung und Topologie der Komponenten und Anlagenteile sowie die Parametrierung der Komponenten im Vordergrund.

- **Konfigurationsprüfung**

Die Konfigurationsprüfung ist ein Teil der Auftragsprüfung, wobei die Prüfung der Anlage nach technischen Gesichtspunkten durchgeführt wird. Es wird die Erfüllung von Anforderungen und Randbedingungen kontrolliert.

- **Änderungskonfigurierung**

Die Änderungskonfigurierung beschreibt die Anpassung einer gegebenen Anlage an neue Anforderungen. Das bedeutet eine Änderung von Komponenten, der Anordnung und Topologie sowie der Komponentenparameter.

Im modellbasierten System wird, wie in Bild 3.2 dargestellt, bei dem Neu- bzw. Änderungskonfigurationsprozeß ein kausales Modell der gesamten Anlage erstellt, wobei die Informationen lokal in den einzelnen Komponenten gespeichert sind. Das kausale Modell

wird durch den hydraulischen Schaltplan zusammen mit allen Beschreibungen der Komponenten, Anforderungen und Randbedingungen gebildet. Das modellbasierte System soll insbesondere die Aufgaben Konfigurierung, Prüfung und Diagnose, lösen. Dies soll mit einer gemeinsamen Wissensbasis, dem kausalen Modell erfolgen.

Bild 3.2: Kausales Modell bei der Systembenutzung

3.2 Wissensbasierte Methoden der Konfigurierung

Die wissensbasierten Methoden der Konfigurierung werden in die drei in Bild 3.3 gezeigten Bereiche untergliedert (Puppe 1990).

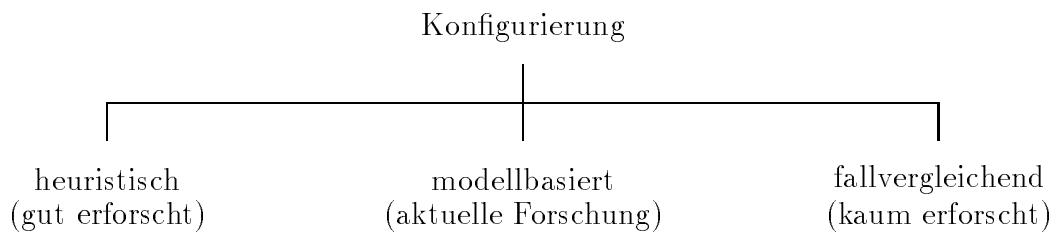


Bild 3.3: Einteilung der Konfigurierungsmethoden

- **Heuristisches Konfigurieren**

Beim heuristischen Konfigurieren stützt man sich maßgeblich auf die Erfahrungen und das Wissen von Experten. Gerade das Erfahrungswissen lässt sich sehr gut durch wenn-dann-Beziehungen, den Regeln, darstellen. Dabei wird Oberflächenwissen, also Wissen darüber wie etwas gemacht wird, benutzt. Im Gegensatz dazu ist mit tiefem Wissen, Wissen darüber gemeint, warum etwas wie gemacht wird. Von besonderer Bedeutung für ein heuristisches System ist ein ausreichend strukturiertes Anwendungsgebiet. Wenn keine starren Strukturen, wie z.B. beim Skelettkonfigurieren (Ebner 1992), vorgegeben sind nimmt die Regelmenge zur Modellbeschreibung explosionsartig zu.

- **Modellbasiertes Konfigurieren**

Beim modellbasierten Konfigurieren steht dagegen ein physikalisches und technisches Modell zur Verfügung, das die Funktionalitäten beschreibt. Man spricht hierbei von einem tiefen Systemverständnis, im Gegensatz zum sogenannten Oberflächenwissen der heuristischen Beschreibung (Puppe 1988, Ebner 1992, Lemmen 1991b).

- **Fallvergleichendes Konfigurieren**

Das fallvergleichende Konfigurieren erkennt ähnliche, schon vorhandene Fälle und ändert diese den neuen Anforderungen entsprechend ab. Dabei existieren insbesondere beim Erkennen von Ähnlichkeiten große informationstechnische Probleme. Dieses Verfahren entspricht am ehesten der Vorgehensweise eines Experten.

3.3 Vergleich von rein heuristischen mit rein modellbasierten Systemen.

Der heuristischen Beschreibung liegt das abstrakte Erfahrungsmodell eines oder mehrerer Experten zugrunde. Dieses Erfahrungsmodell besteht zum einen aus Wissen über viele abgeschlossene Fälle, die aber nur fallvergleichend bearbeitbar wären und zum anderen aus einer kleinen Anzahl von sehr mächtigen Regeln, die aus den Fallerfahrungen abgeleitet sind. Das ist der Grund, weshalb schon kleine, schnell entwickelte Expertensysteme, die eben diese Regeln verarbeiten, relativ leistungsstark sind. Bei der modellbasierten Beschreibung muß an dieser Stelle ein allgemein sehr komplexes physikalisches und linguistisches Modell der Anlage und aller Komponenten aufgestellt werden. Deshalb dauert es bei der Entwicklung eines solchen umfangreicherens Systems deutlich länger bis erste Ergebnisse vorhanden sind. Dafür kann ein solches System aber erklären, warum und nicht nur wie sich die Lösungen ergeben bzw. nicht ergeben haben. Wenn ein modellbasiertes System erst einmal existiert, lässt es sich leicht warten und auf andere Anwendungsgebiete und neue oder geänderte Komponenten hin verändern. Änderungen der Komponenten oder des Anwendungsgebietes führen bei rein regelbasierten Systemen zu einem hohen Aufwand bei der Abänderung der Regelbasis, der soweit gehen kann, daß die gesamte Regelbasis neu erstellt werden muß. Das Problem einer rein heuristischen Beschreibung liegt darin, daß nicht nur die Vorgehensweise, sondern auch das gesamte Modell durch

Regeln beschrieben werden muß. Ein Vorteil eines heuristischen Systems liegt darin, daß es gerade auch durch den begrenzten Suchraum, in dem es arbeitet, schnell zu Lösungen kommt. Allerdings lassen sich modellbasierte Systeme wesentlich leichter auf größere und komplexere Probleme anwenden, was bei heuristischen Systemen aufgrund der schlechten Überschaubarkeit Probleme bereitet. Bei modellbasierten Systemen kann man im Gegensatz zu heuristischen Systemen, die keine explizite Zustandsrepräsentation haben, auf jeden Systemzustand gezielt zugreifen. Während die Problemlösungsmethoden heuristischer Systeme gut erforscht sind, sind die der modellbasierten Systeme Gegenstand der Forschung. Gerade für größere komplexe technische Anlagen, die nicht starr strukturiert sind, eignet sich der modellbasierte Ansatz. Allerdings sollte kein rein modellbasieter Ansatz gewählt werden, um auch die Vorteile der heuristischen Beschreibung zu nutzen. In Bild 3.4 sind die Vor- und Nachteile beider Ansätze gegenübergestellt.

Heuristische Systeme	Modellbasierte Systeme
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> Abstraktes Erfahrungsmodell des Experten. Schon kleine, schnell entwickelte Systeme sind leistungsstark. Kleiner Suchraum. Problemlösung bekannt bzw. gut erforscht. 	<ul style="list-style-type: none"> Komplexes tiefes Modell. Komplexes umfangreiches System. Untersuchung des Gesamtmodells. Wenig erforschte Problemlösungsmethoden.
Nachteile	Vorteile
<ul style="list-style-type: none"> Keine explizite Zustandsrepräsentation. Überschaubarkeit und Wartung problematisch. Übertragbarkeit und Änderbarkeit schwierig. Schwierige Wissensakquisition. Heuristisches Wissen ist kaum validierbar. Systemgüte vom Experten abhängig. 	<ul style="list-style-type: none"> Zugriff auf jeden Systemzustand. Vollständigkeitsprüfung, Übersicht und Wartung der Wissensbasis einfacher. Offenes, leicht änderbares System. Gemeinsame nicht redundante Wissensbasis. Lösung komplexer Systeme. Aussagefähige Erklärungen möglich.

Bild 3.4: Gegenüberstellung heuristischer und modellbasierter Systeme

4 Struktur des modellbasierten Systems

Die wesentlichen Aufgaben des modellbasierten Systems zur Inbetriebnahmeunterstützung sind:

- Die Informationssituation des Inbetriebnahmepersonals zu verbessern
- Die Informationssituation der Projektierung und Konstruktion zu verbessern
- Teilgebiete der Funktions- und Konfigurationskontrolle von Anlagen sollen sowohl zeitlich als auch im Betriebsablauf vorverlegt werden

Um diese Aufgabe lösen zu können wird für das modellbasierte System eine Systemarchitektur gewählt, die einen Prüf- und Diagnosekern als das Herzstück eines Informations- und Beratungssystems besitzt. Diese Systemarchitektur ist in Bild 4.1 dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung gibt Lemmen (1991c).

Bild 4.1: Systemarchitektur des modellbasierten Systems

Neben der Beschreibung der Systemarchitektur, wie sie sich dem Entwickler des Systems darstellt, existiert noch die Beschreibung der in Bild 4.2 gezeigten Benutzerstruktur. Auf

diese Art und Weise stellt sich das System einem Benutzer gegenüber bei einem Arbeitsablauf dar.

Bild 4.2: Benutzerstruktur des modellbasierten Systems

Der Benutzer des Systems erhält vom Kunden über den Vertrieb die Anforderungen und Randbedingungen der zu entwerfenden hydraulischen Anlage. Mit diesen Informationen werden eine Anlage entworfen und der zugehörige Hydraulik–Schaltplan sowie die Funktionsdiagramme (z.B. Weg / Zeit) erstellt. Dies geschieht entweder von Hand oder mit Rechnerunterstützung. Dazu sind an das modellbasierte System algorithmische Programme angebunden (z.B. zur statischen Auslegung von Antrieben). An dieser Stelle führt das modellbasierte System erste formale Prüfungen durch. Weiter werden in diesem Eingangsinformationsbereich bekannte Anlagen- und Komponentenparameter angegeben und die Anlagenanforderungen aufgearbeitet. Der Kern des modellbasierten Systems wird durch den Funktionsprüfungs- und Diagnosekomplex gebildet. Dieser Kern untergliedert sich in drei Untersuchungsbereiche, die aufeinander aufbauen und vom Umfang und Schwierigkeitsgrad zunehmen. Es wird zunächst mit der Untersuchung der Schnittstellen begonnen. Danach werden die statische und dann die dynamische Funktion der Anlage betrachtet. Der Prüfungs- und Diagnosekomplex wird in einem Zyklus durchlaufen. Wird durch die Prüfung ein Fehler entdeckt muß die Fehlerursache diagnostiziert werden. Die Informationen, eventuell um Änderungsvorschläge ergänzt, werden dem Benutzer zur Verfügung gestellt, der eine entsprechende Änderung vornimmt. Dieser Zyklus wird so lange durch-

laufen bis keine Fehler mehr auftreten. Die Prüfung, die derzeit im Vordergrund der Projektbearbeitung steht, untergliedert sich neben der formalen und allgemeinen Prüfung in folgende Bereiche:

- Schnittstellenprüfung
- statische Funktionsprüfung
- dynamische Funktionsprüfung.

Die **Schnittstellenprüfung** erfolgt nach dem Bilanzprinzip (Weiner 1991). Schnittstellen können z.B. Flanschanschlüsse von Rohren und Hydraulikkomponenten oder aber elektrische Anschlüsse sein, die z.B. auf Maße und zulässige Belastungen geprüft werden. Das Bilanzprinzip leitet sich davon ab, daß untersucht wird, ob die von einer Komponente geforderten Bedingungen an die Schnittstelle erfüllt werden.

Eine informationstheoretische Beschreibung der **statischen Funktionsprüfung** durch das modellbasierte System liefert Stein, Hoffmann und Lemmen (1992). Es wird ein lokales Prüfverfahren verwendet, die sogenannte Propagierung. Lokal bedeutet dabei, daß die beschreibende Information einer Komponente nur an dieser selbst vorhanden ist. D.h., es wird ein ungerichtetes Netz von beschriebenen Komponenten aufgebaut (vergleiche Bild 4.3). Bei der Propagierung werden die Informationen bezüglich der Zustandsgrößen über die Komponenten weitergegeben (propagiert). Dies geschieht genauso, wie der Signal- und Energiefluß im realen System erfolgt.

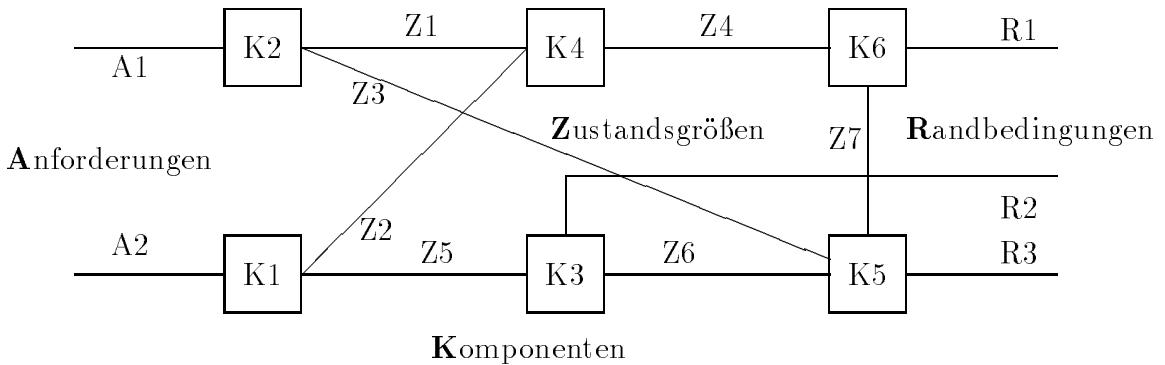


Bild 4.3: Modellstruktur als ungerichtetes Netz

Besonders hervorzuheben ist, daß mit diesem Modellaufbau eine Beschreibung und Untersuchung von statischen Nichtlinearitäten, wie z.B. das potentialabhängige Verhalten des Differentialzylinders, über den gesamten Arbeitsbereich möglich ist. Dies ist mit Hilfe der linearen Netzwerktheorie nicht möglich. Es lassen sich mit dem Verfahren der Propagierung folgende Punkte realisieren:

- Die örtlich verteilte Prüfung erspart den komponentenorientierten Aufbau eines Übertragungsmodells bezüglich der jeweiligen Ein- und Ausgangsgrößen.
- Bei der Änderung einer einzelnen Komponente oder einer u.U. geringfügigen Strukturänderung der Anlage ist kein Gesamtmodell hinfällig.
- Es besteht die Zugriffs- und Bestimmungsmöglichkeit auf jeden statischen Systemzustand.

Ein graphisches Verfahren zur Behandlung nichtlinearer Netzwerke wird von Phillipow (1987:537ff) beschrieben. Hierbei werden ähnlich wie bei der Propagierung die Komponenten einzeln nacheinander betrachtet. Bei der Propagierung werden die Eingangswerte einer Komponente den Ausgangswerten zugeordnet.

Bei der **dynamischen Funktionsprüfung** werden vorhandene eingebundene Simulationsprogramme aufgerufen. Dazu muß zunächst der zu simulierende Anlagenteil aus dem Kreislauf extrahiert, bezüglich seiner Umwelt beschrieben und eventuell in seiner Ordnung reduziert werden. Anschließend ist ein entsprechendes Simulationsprogramm auszuwählen und aufzurufen. Diese Vorgänge sowie die Präsentation der Ergebnisse sollen mit Hilfe wissensbasierter Methoden realisiert werden.

5 Vorgehensweise an einem technischen Beispiel

Bei dem modellbasierten System handelt es sich um einen prinzipiell offenen Ansatz. Der offene Ansatz bedeutet dabei, daß sich mit dem System prinzipiell alle Anlagen untersuchen lassen, die sich aus miteinander verbunden Komponenten zusammensetzen. Diese Komponenten müssen für sich selbst vollständig physikalisch bezüglich ihres Verhaltens beschrieben werden können.

Nach dem derzeitigen Stand der Implementierung sind folgende Teile des modellbasierten Systems Art Deco bereits funktionsfähig: Eingabe und formale Prüfung des Schaltplans, selbsttägiger interner Modellaufbau sowie die Propagierung zur Prüfung der statischen Funktion.

5.1 Eingaben im modellbasierten System

Die Vorgehensweise bei der Bearbeitung einer hydraulischen Anlage mit Unterstützung des modellbasierten Systems wird an dem folgenden einfachen Beispiel erläutert. An einen hydraulischen translatorischen Antrieb seien die in Bild 5.1 dargestellten Hauptanforderungen in Form von Geschwindigkeits- und Kraft-Zeitverläufen gestellt. Davon ausge-

Bild 5.1: Statische Anforderungen an den Antrieb

hend muß die hydraulische Anlage projektiert werden. Zur statischen Auslegung eines Zylinderantriebes existieren bereits algorithmische Programme, die aber noch nicht eingebunden sind. Mit Hilfe des Editors von Art Deco (Hoffmann 1992) werden dann die einzelnen Bauteile aus der Komponentenbibliothek des Systems parametriert und zu dem hydraulischen Schaltkreis zusammengesetzt. Bild 5.2 zeigt die Benutzeroberfläche von Art Deco, die aus dem Bibliotheks-, dem Arbeits- und dem Informationsfenster besteht. Die Bibliothek enthält sowohl Komponenten als auch ganze Kreisläufe. Im Informationsfenster wird detaillierter auf die Aktionen im Arbeitsfenster eingegangen. Das Arbeitsfenster beinhaltet den aktuellen Schaltplan und erlaubt dessen Änderung, Ergänzung oder den Zugriff auf jeden beliebigen Anlagenzustand. In der hydraulischen Anlage ist ein Anlagenzustand durch einen Druck- und einen Flußwert gekennzeichnet. Bei der Schaltplanerstellung werden schon erste formale Tests durchgeführt. So wird z.B. kontrolliert, daß keine hydraulischen Leitungen an elektrische Anschlüsse angeschlossen werden oder ob Anschlüsse noch offen sind. Während der Erstellung des Schaltplans durch den Benutzer baut das System im Hintergrund das Modell der Anlage mit allen Anlageninformationen auf. Die Anlageninformationen setzen sich aus den allgemeinen, die Schnittstellen betreffenden, den statischen und den dynamischen Beschreibungen der Komponenten so-

Bild 5.2: Benutzeroberfläche des Art Deco

wie der Topologie zusammen. Zusätzlich müssen dem modellbasierten System noch die Anlagenanforderungen und Randbedingungen angegeben werden. Ein komfortables Anforderungseingabemodul muß noch implementiert werden. Diese Anforderungen werden dann wie am Beispiel der statischen Anforderungen unter Berücksichtigung der Beschleunigungskräfte wie in Bild 5.3 aufgearbeitet. Mit den aufgearbeiteten Anlagenanforderungen

Bild 5.3: Aufgearbeitete statische Anforderungen

gen werden die in Abschnitt 4 angesprochenen Prüf- und Diagnosezyklen durchlaufen, von denen bis jetzt die Propagierung der statischen Funktionsprüfung implementiert ist. Nach der Propagierung können durch das Anwählen der Komponentenschnittstellen im Arbeitsfenster die stationären Werte der Drücke und Flüsse angezeigt werden. Für eine parametrisch überbestimmte Hydraulikanlage kommt es, falls Fehler in der Anlage vorhanden sind, zu einem Widerspruch. Ist die Anlage parametrisch unterbestimmt, können die Schnittstellen nicht vollständig mit Werten belegt werden. Wenn die Anlage vollständig parametrisch bestimmt ist, belegt die Propagierung alle noch offenen Parameter mit Werten.

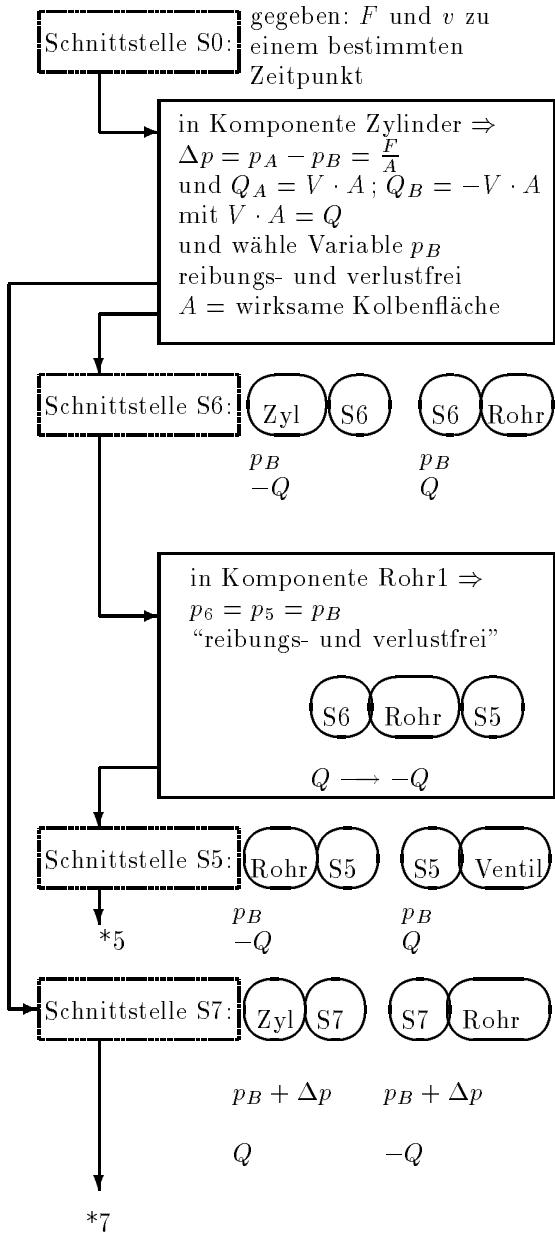
5.2 Propagierungsbeispiel

Ziel der statischen Funktionsprüfung mittels der Propagierung ist es nachzuprüfen, ob die Hydraulikanlage die an sie gestellten Anforderungen in Abhängigkeit der jeweiligen Randbedingungen, z.B. der Ventilstellung, erfüllt. Der Ablauf einer solchen Propagierung im Computer soll im folgenden anhand eines einfachen Beispielkreislaufes erläutert werden. Dieser besteht aus einem reibungs- und verlustfreien Gleichgangzyylinder, einem symmetrischen Stetigventil, verlustfreien Rohrleitungen, einem Tank und einer Konstantpumpe, die als druckbegrenzt betrachtet werden soll. Diese Einschränkungen lassen sich vermeiden, wenn in den einzelnen Komponentenbeschreibungen die entsprechenden Verluste berücksichtigt werden. In dem ausgeführten System Art Deco werden Verluste berücksichtigt. Bild 5.4 zeigt die beschriebene Anordnung, die auch durch einen ungerichteten Graph (Bild 5.5) dargestellt werden kann.

Bild 5.4: einfacher Beispielkreislauf

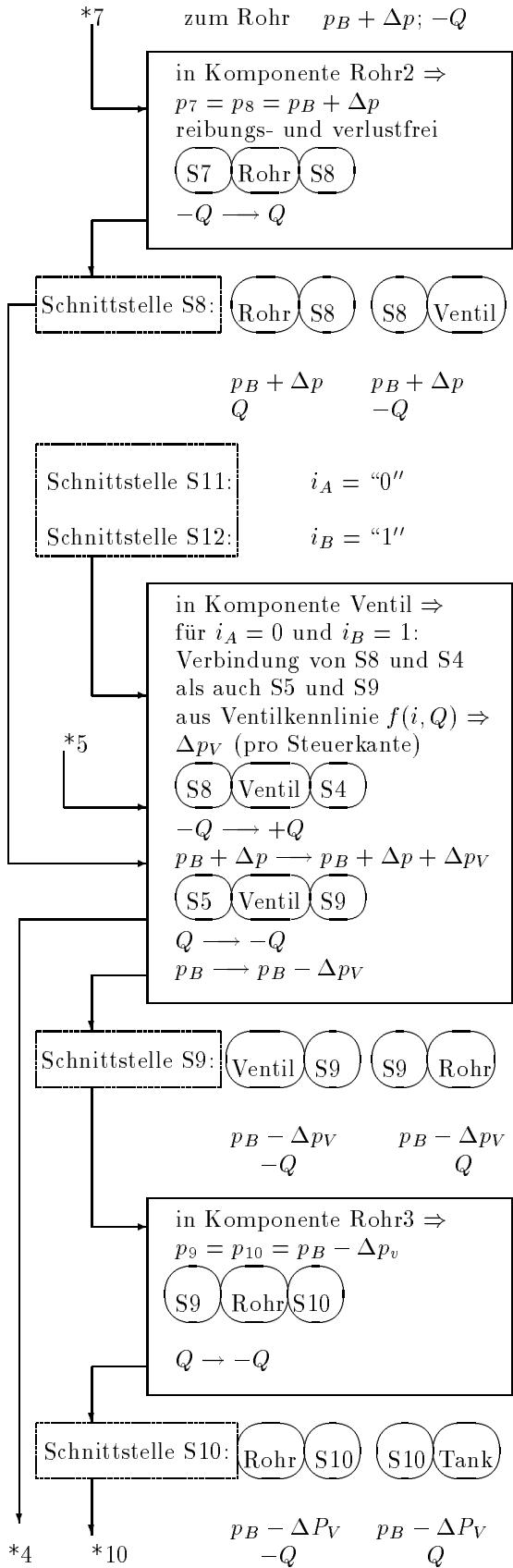
Bild 5.5: Ungerichteter Graph des Beispielkreislaufes

Propagieren von den Anforderungen aus:

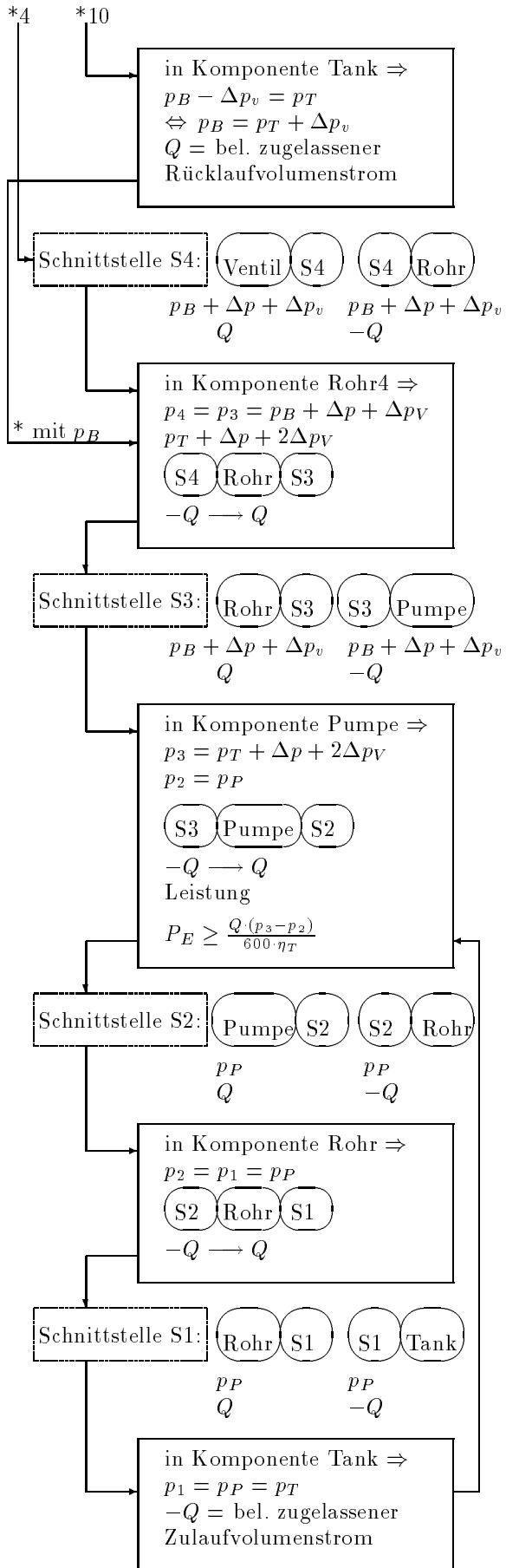


Die Sollkräfte F und Sollgeschwindigkeiten v werden aus den an die Anlage gestellten Anforderungen auch unter Berücksichtigung der Beschleunigungskräfte bestimmt. Ausgehend von diesen Werten startet der Propagierungsalgorithmus.

Aus der geforderten Kraft läßt sich mit Hilfe der Kolbenfläche A die benötigte Druckdifferenz in den Zylinderkammern A und B errechnen. Die benötigten Ölvolumenströme lassen sich wiederum über die Kolbenfläche und die Größe und Richtung der geforderten Geschwindigkeit v ermitteln. Die Vorzeichen ergeben sich aus der in der Thermodynamik üblichen Betrachtungsweise. Danach erhalten Stoffströme, die einem System zugeführt werden ein positives Vorzeichen. Stoffströme, die aus einem System entnommen werden, erhalten ein negatives Vorzeichen. Da in diesem Beispiel die beiden Zustandsgrößen p_A und p_B linear miteinander verknüpft sind, ist es ausreichend, eine der beiden Größen als Variable weiter zu propagieren, um auch die andere zu beschreiben. In den Schnittstellen kehren sich die Vorzeichen der Volumenströme um. Dieses liegt daran, daß das Bezugssystem, also die betrachtete Komponente, gewechselt wird. Auf das Druckpotential hat dieses jedoch keinen Einfluß.



Die Rohrleitung überträgt hier in diesem Beispiel den Ölvolumeinstrom ohne Druckverluste, wobei das modellbasierte System allerdings auch Druckverluste verarbeiten soll. Bei der Komponente Ventil können die Steuerströme i_A und i_B für das Stetigventil als Randbedingungen betrachtet werden, die von außen (einer elektrischen Ansteuerung) vorgegeben werden. Das Ventilkennlinienfeld kennzeichnet die Beziehungen von Ansteuerstrom i , Volumenstrom Q und Ventildruckabfall Δp_V untereinander. Bei gegebenem Ansteuerstrom i und Volumenstrom Q erhält man so den Ventildruckabfall Δp_V und kann diesen in Abhängigkeit der Strömungsrichtung zu dem propagierten Druck addieren oder von diesem subtrahieren. Die Ansteuerströme geben ferner Information darüber, wie die Tank- und Versorgungsdruckanschlüsse mit den Arbeitsanschlüssen, also die hydraulischen Schnittstellen der Komponente Ventil, miteinander in Verbindung stehen. Vom Ventil ausgehend gelangt man schließlich über die Rohrleitung zum Tank. Diese Komponente liefert eine weitere, wichtige Randbedingung, nämlich den Tankdruck, der das Potential der Drücke definiert. Die Komponente Tank schließt quasi den hydraulischen Kreislauf.



Die Rohrleitung 4 verbindet das Ventil mit der druckbegrenzten Pumpe. Bei der Komponente Pumpe wird geprüft, ob der notwendige Volumenstrom und Druck erbracht werden kann. Um die Eingangsleistung kontrollieren zu können, wird noch der Ausgangsdruck der Pumpe P_p benötigt. An dieser Stelle wird wiederum die Variable P_p eingeführt und bis zum Tank propagiert, womit der Kreislauf geschlossen ist und die Pumpenleistung überprüft werden kann.

Für den Fall der druckverlustfreien Leitungen, wie in diesem Beispiel, ist es allerdings sinnvoller direkt den Tankdruck bei noch unbekanntem Volumenstrom zu propagieren. Bei der konstruktiven Constraint–Propagierung (Ebner 1992) geschieht diese Vorgehensweise automatisch, wenn Druck und Volumenstrom unabhängig voneinander sind.

Prinzipiell kann man noch unterscheiden, ob man sich bei der Propagierung in die Tiefe oder in die Breite vorarbeitet, also ob man einen Weg so weit wie möglich löst, oder aber alle Wege immer nur um einen Schritt abarbeitet. Auf die Breiten- und Tiefensuche wird in Puppe (1988) sowie Harmon und King (1989) ausführlicher eingegangen.

Bei dem ausgeführten System wird eine Propagierung in die Tiefe vorgenommen. Das heißt, von den bekannten Werten ausgehend wird so weit wie möglich propagiert. Erst wenn keine vorgegebenen Werte mehr zur Verfügung stehen, müssen Variablen eingeführt werden. Wenn alle Zustände, die für den Benutzer an den Schnittstellen zugänglich sind, mit Werten belegt sind, ist die Propagierung abgeschlossen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Bericht beschreibt den Aufbau und die Struktur eines modellbasierten Systems zur wissensbasierten Funktionsprüfung und Diagnose sowie Inbetriebnahmeunterstützung. Von Bedeutung ist, daß dieses vom Ansatz her offene System in der Lage ist, auch beliebige statische Nichtlinearitäten praxisgerecht, anlagen- bzw. komponentenorientiert zu verarbeiten. Der Stand der Systementwicklung ist so weit fortgeschritten, daß neben der Eingabe und der formalen Prüfung des Schaltplans sowie dem selbstdiagnostischen internen Modellaufbau auch die Propagierung implementiert ist. Diese Module haben ihre Funktionstüchtigkeit unter Beweis gestellt. Die nächsten Arbeitsaufgaben nach Abschluß der statischen Funktionsprüfung liegen in der Entwicklung und Implementierung der dynamischen Funktionsprüfung. Dabei kann für die dynamische Simulation auf schon existierende Programme und Methoden zurückgegriffen werden.

7 Literaturverzeichnis

- Ebner, R.** 1992. *Entwicklung eines Expertensystems zur Konfigurierung hydraulischer Fahrantriebe für Radlader* interner Abschlußbericht. MSRT. Universität Duisburg.
- Harmon, P. und D. King.** 1987. *Expertensysteme in der Praxis*. München Wien: Oldenbourg
- Hoffmann, H.** 1992. *Der Editor von Art Deco – Bedienungsanleitung*.
- Lemmen, R.** 1991a. *Entwicklungsmethodiken für Expertensysteme*. Seminarvortrag. MSRT. Universität Duisburg
- Lemmen, R.** 1991b. *Akquisition und Analyse von Wissen für die Inbetriebnahme von hydraulischen translatorischen Antrieben*. Diplomarbeit. MSRT. Universität Duisburg
- Lemmen, R.** 1991c. *Nutzen und Struktur eines Wissensbasierten Systems zur Inbetriebnahmehilfeunterstützung einer hydraulischen Anlage*. Forschungsbericht 12/91 MSRT Universität Duisburg.
- Phillipow, E.** 1987. *Taschenbuch Elektrotechnik Band 2: Grundlagen der Informationstechnik*. Berlin: VEB Verlag Technik.
- Puppe, F.** 1988. *Einführung in Expertensysteme*. Berlin: Springer.
- Puppe, F.** 1990. *Problemlösungsmethoden in Expertensystemen*. Berlin: Springer.
- Stein, B. M. Hoffmann und R. Lemmen** 1992. Art DeCo: A System which Assists the Checking of Hydraulic Circuits. Wien: 10th European conference on artificial intelligence.
- Weiner, J.** 1991. *Aspekte der Konfigurierung technischer Anlagen*. Dissertation Praktische Informatik. Universität Duisburg.