

Integration von ressourcenorientiertem und strukturorientiertem Konfigurieren am Beispiel von KONWERK

Oliver Gülden* und Lothar Hotz†

Universität Hamburg
Fachbereich Informatik, Labor für Künstliche Intelligenz
Vogt-Koelln-Str. 30, D-22527 Hamburg

Zusammenfassung

Das *ressourcenorientierte Konfigurieren* stellt ein Konfigurierungsmodell dar, das die Relationen zwischen den Komponenten einer Konfiguration durch den Austausch von Ressourcen abstrahiert. Das ressourcenorientierte Konfigurieren wird häufig als Gegensatz zum *strukturorientierten Konfigurieren* verstanden, das wesentlich auf der hierarchischen Komponentenstruktur technischer Systeme beruht. In diesem Papier wird gezeigt, wie ein ressourcenorientiertes Konfigurierungsmodell in das - von der Konzeption her vorwiegend strukturorientierte - Werkzeugsystem KONWERK integriert werden kann. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit zur Kombination einer ressourcenorientierten Modellierung mit verschiedenen anderen Techniken.

1 Einleitung und Motivation

Dieses Papier beschäftigt sich mit der Integration von verschiedenen Problemlösungsmethoden und Wissensrepräsentationsformalismen für Konfigurierungsaufgaben. Es wird gezeigt, wie ein ressourcenorientiertes und ein strukturorientiertes Konfigurierungsmodell integriert werden können. Dem *strukturorientierten* Ansatz liegt die Modellierung der hierarchischen Komponentenstruktur zugrunde. Das *ressourcenorientierte* Konfigurieren beruht im Gegensatz dazu auf einer Modellierung der von den einzelnen Komponenten benötigten und zur Verfügung gestellten „Ressourcen“. Beide Ansätze berücksichtigen unterschiedliche Aspekte und sind daher für unterschiedliche Arten von Domänen geeignet. Eine ressourcenorientierte Modellierung ist geeignet, wenn die kompositionelle Struktur eine geringe Rolle spielt, die Domäne von Multifunktionsbausteinen (z.B. Telefon/Fax Kombinationen) beherrscht wird und summarische Beziehungen einen Großteil der Konfigurierungsrestriktionen ausmachen. Ist kompositionelles Wissen vorhanden, spricht dies für eine strukturorientierte Modellierung. Richter macht zur Verwendung der unterschiedlichen Modelle folgende Aussage [Richter95, S. 72]:

„[Beim ressourcenorientierten Konfigurieren handelt sich um eine Methode], die in speziellen Situationen sinnvoll und erfolgreich angewendet werden [kann], und von daher ist es sicher zweckmäßig, sie in einem Werkzeugkasten zur Verfügung zu haben.“

*guelden@kogs.informatik.uni-hamburg.de

†hotz@informatik.uni-hamburg.de

Interessant an einer Integration beider Modellierungsarten ist die Tatsache, daß sie oft als gegensätzlich verstanden werden. Da viele Domänen jedoch verschiedene Modellierungstechniken erfordern, liegt es nahe, beide Ansätze zu kombinieren, um zu einer kooperativen Modellierung sowohl mit ressourcenorientierten, als auch mit strukturorientierten Mechanismen zu kommen. Dies soll am Beispiel einer Integration des ressourcenorientierten Konfigurierungsmodells in das zunächst strukturorientierte System KONWERK [Günter95a] gezeigt werden.

Das Konfigurierungswerkzeug KONWERK wurde im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens PROKON entwickelt und beruht auf dem Kerngedanken, daß für viele Konfigurierungsanwendungen eine einzige Methode der Wissensrepräsentation und -verarbeitung nicht ausreicht. Daher wurde KONWERK als Modulbaukasten realisiert, dessen Module – je nach Aufgabenstellung – geeignet kombiniert werden können, um die gewünschte Funktionalität zu erhalten. Hierbei wird zwischen Basismodulen unterschieden, welche die Basismechanismen unterstützen und vermutlich in jeder Anwendung benötigt werden und *Erweiterungsmodulen*, welche die Funktionalität des Grundsystems in verschiedene Richtungen ergänzen. Eine Integration von ressourcenorientierter Modellierung und Vorgehensweise in KONWERK erfolgt daher durch das Bereitstellen eines Erweiterungsmodul.

Eine Darstellung der Integration beider Ansätze bildet den Hauptteil des vorliegenden Papiers. Das für KONWERK konzipierte Erweiterungsmodul wurde implementiert und anhand einer beispielhaften Anwendungsdomäne getestet (vgl. [Gülden96]). Im folgenden werden die beiden Konfigurierungsmodelle kurz vorgestellt (Abschnitt 2 und 3). Im Abschnitt 4 wird die Integration beider Modellierungsverfahren dargestellt und im Abschnitt 5 Erfahrungen mit der realisierten Implementation aufgezeigt. Danach erfolgt ein Ausblick (Abschnitt 6) und eine Zusammenfassung sowie Bewertung (Abschnitte 7 und 8).

2 Strukturorientiertes Konfigurierungsmodell

Als strukturorientiert betrachten wir eine Modellierung, die zu wesentlichen Teilen auf der Verwendung von Zerlegungs- und Spezialisierungsbeziehungen beruht. Derartige Relationen können als gemischte Und/Oder-Graphen betrachtet werden, wobei die Und-Knoten die Zerlegungsrelation darstellen und die Oder-Knoten die Spezialisierungsrelation. Eine derartige kombinierte kompositionelle und taxonomische Hierarchie spannt also explizit den Raum der möglichen Konfigurationen auf. Bei der Problemlösung wird - ausgehend von dem zu konfigurierenden Objekt - der Graph schrittweise expandiert. Die Lösung ist dann ein Baum im Und-Oder-Graphen mit jeweils allen Und-Nachfolgern und genau einem Oder-Nachfolger (vgl. [Neumann91]). Neben einem Top-Down-Vorgehen ist auch ein Bottom-Up-Vorgehen möglich, um vorgegebene Komponenten zu Aggregaten zusammenzufügen. Mischformen sind ebenfalls denkbar.

Eine strukturorientierte Modellierung liegt vielen Systemen aus dem Bereich Konstruktion zugrunde, zum Beispiel AMOR, PLAKON, KONWERK, Skelettpläne in MOLGEN, XCON's Regelkontexte. Bei all diesen Systemen bezieht sich auch die Ablaufsteuerung auf die vorliegende Strukturinformation, die dabei zwei Bedeutungen hat (vgl. [Günter92]):

- Die deklarative Vorgabe der Lösungsstruktur und damit
- die Unterstützung der Ablaufsteuerung, durch die Möglichkeit, sich bei der Dekomposition von Aufgaben an der vorgegebenen Struktur zu orientieren.

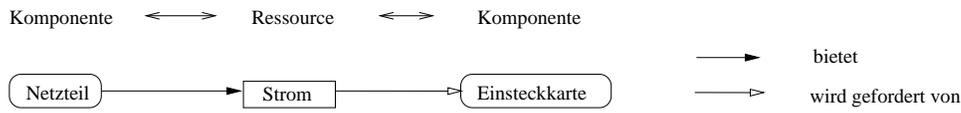


Abbildung 1: Beispiel: Beziehungen zwischen Komponenten und Ressourcen

Die Zerlegung in Teilaufgaben entspricht also der Zerlegung eines Aggregats in seine Komponenten. Stein [Stein95] empfiehlt, wo immer möglich, Strukturwissen zu verwenden, weil es die Vorgehensweise bei der Lösungsfindung unterstützt und den Suchraum deutlich einschränkt.

3 Ressourcenorientiertes Konfigurierungsmodell

Bei einer ressourcenorientierten Modellierung wird – im Gegensatz zu einer strukturorientierten – auf die explizite Repräsentation von kompositionellen Beziehungen zwischen den Objekten der Domäne verzichtet. Von den direkten Beziehungen der Domänenobjekte zueinander wird durch den *Austausch von Ressourcen* abstrahiert [Heinrich93].

Eine ressourcenorientierte Modellierung geht von dem einfachen Prinzip aus, daß Komponenten eines technischen Systems verwendet werden, weil sie eine abstrakte Leistung anbieten, die das System erbringen soll oder andere Komponenten des Systems diese Leistung benötigen [Heinrich91]. Diese abstrakten Leistungen werden als *Ressourcen* bezeichnet. Beispiele für Ressourcen sind technische Ressourcen wie Stromverbrauch, Speicherkapazität oder kaufmännische Ressourcen wie Preis und Wartungsaufwand, aber auch verschiedene Dienste wie ISDN, Ftp usw.

Als grundsätzliche Beziehungen zwischen Domänenobjekten und Ressourcen unterscheiden wir in diesem Papier zwei Fälle.

- Eine Komponente fordert eine Ressource (verbraucht) oder
- bietet eine Ressource (stellt bereit).

Als Beispiel dient die Beziehung zwischen den Netzgeräten und Einsteckkarten in einer speicherprogrammierbaren Steuerung: Die Einsteckkarten verbrauchen jeweils Strom in einer bestimmten Höhe, der von den Netzgeräten bereitgestellt werden muß. Die Einsteckkarten werden modelliert, indem sie die Ressource „Strom“ in bestimmter Höhe fordern, wohingegen die Netzteile diese Ressource anbieten (s. Abb. 1).

Während der Konfigurierung werden die Forderungen und Angebote bezüglich gleicher Ressourcen einander in sog. Bilanzen gegenübergestellt. Eine Bilanz kann dann ausgeglichen (die Angebote überwiegen) oder unausgeglichen sein (die Forderungen überwiegen).

Eine Aufgabenstellung wird im ressourcenorientierten Modell durch initiale Ressourcenforderungen gegeben. Diese Forderungen beschreiben die Anforderungen, Leistungen oder Funktionen, die das zu konfigurierende System erbringen soll. Weiterhin können in der Aufgabe initiale Ressourcenangebote vorgegeben werden. Dabei handelt es sich in der Regel um Betriebsmittel, von denen bekannt ist, daß sie von den Komponenten des technischen Systems benötigt werden, aber nicht von anderen Komponenten zur Verfügung gestellt werden können.

Ausgehend von einer Initialisierung der Bilanzen gemäß der initialen Forderungen und Angebote, besteht der Konfigurierungsvorgang in der sukzessiven Bearbeitung nicht ausgeglichener Bilanzen: Durch Hinzunahme geeigneter Komponenten, welche die defizitäre Ressource

anbieten, wird versucht, die offenen Forderungen auszugleichen. Die ausgewählten Komponenten können nun ihrerseits neue Ressourcenforderungen stellen, die ebenfalls ausgeglichen werden müssen. Der Konfigurierungsvorgang ist beendet, wenn alle Ressourcenforderungen durch entsprechende Angebote erfüllt sind. Das Ergebnis der Konfigurierung ist eine Liste der ausgewählten Komponenten.

Da Forderungen und Angebote einander in Bilanzen gegenübergestellt werden, wird dieses Verfahren auch als *Bilanzverarbeitung* bezeichnet. Weiner [Weiner91] bezeichnet die Ressourcen dementsprechend als Bilanzbegriffe. Neumann [Neumann90] und Stein [Stein95] verwenden den Begriff Funktionalität und betonen damit die Modellierung von „Funktion“ mithilfe von Ressourcen.

4 Integration von ressourcenorientierten und strukturorientierter Modellierung in KONWERK

In diesem Abschnitt wird das Konzept der Integration eines ressourcenorientierten Konfigurierungsmodells in das Konfigurierungswerkzeug KONWERK beschrieben. Die entsprechende Umsetzung führte zu einem KONWERK-Erweiterungsmodul, das zusammen mit den Basismodulen und anderen Erweiterungsmodulen zur Erstellung von hybriden KONWERK-Varianten genutzt werden kann.

Der Konzeption lag insbesondere die Zielsetzung zugrunde, die Kombinierbarkeit des ressourcenorientierten und strukturorientierten Konfigurierungsmodells zu zeigen.¹ Diese Zielstellung wurde bereits in der Einleitung motiviert und ergibt sich letztlich aus der Tatsache, daß beide Modelle ihre Zweckmäßigkeit unter Beweis gestellt haben und durch eine Kombination die Möglichkeit besteht, für jeden Aspekt einer Domäne die passende Wissensrepräsentation und Verarbeitung zu wählen.

Im weiteren erfolgt die Darstellung einiger Grundgedanken zur Integration eines ressourcenorientierten Konfigurierungsmodells in KONWERK. Anschließend (Abschnitte 4.2 und 4.3) wird die Organisation der Bilanzierung beschrieben. Abschnitt 4.4 geht auf die notwendigen Erweiterungen an den einzelnen Aspekten des Konfigurierungsmodells von KONWERK ein.

4.1 Grundgedanken zum Konzept des ressourcenorientierten Konfigurierens mit KONWERK

Bei der Konzeption der zu beschreibenden Erweiterungen waren die folgenden Gesichtspunkte von Bedeutung:

- Das bestehende System ermöglicht eine strukturorientierte Modellierung, die nicht durch ein ressourcenorientiertes Modell ersetzt, sondern sinnvoll ergänzt werden soll. Insbesondere bleibt die Funktionalität der Basismodule voll erhalten.
- Modellierungsschwierigkeiten, die bei rein ressourcenorientierten Systemen auftreten können, werden umgangen, weil durch den Modulvorrat von KONWERK weitere Modellierungsarten und spezifische Vorgehensweisen (z.B. Constraints, lineare Optimierung) unterstützt werden.

¹Es wurde nicht versucht, die verschiedenen erweiterten Techniken des ressourcenorientierten Konfigurierens zu realisieren. Es handelt sich insofern um einen ersten Ansatz, der zur Evaluierung dient und Aufschluß über notwendige Verbesserungen oder Erweiterungen bringt.

- Die Steuerung der Konfigurierung soll weiterhin mithilfe der (zu erweiternden) flexiblen Kontrollkomponenten von KONWERK erfolgen.

Das in Abschnitt 3 vorgestellte Grundmodell des ressourcenorientierten Konfigurierens berücksichtigt nicht, daß der Gültigkeitsbereich von Ressourcenforderungen und -angeboten in komplexen Domänen häufig strukturelle Grenzen aufweist. In einer rein ressourcenorientierten Modellierung, wie sie im System MOKON verwendet wird, führt dieser Umstand zu Modellierungsproblemen [Stein91]. Im System COSMOS wurde daher die *lokale Bilanzierung* eingeführt. Als Kritik an COSMOS bleibt bestehen, daß der eingeschränkte Gültigkeitsbereich von Ressourcen aus der Aufbaustruktur resultiert, aber eine explizite deklarative Modellierung dieser Aufbaustrukturen nicht erfolgt. Stattdessen wird die Modellierung kompositioneller Beziehungen mithilfe von sog. *Aufbauhierarchie-Ressourcen* durchgeführt. Stein und Weiner stellen für das System MOKON fest, daß Hat-Teile-Beziehungen über Pseudo-Eigenschaften modelliert werden müssen und so explizite, vorhandene Strukturinformation verloren geht [Stein91]. Diese Kritik trifft auch auf COSMOS zu.

Es ist offenbar, daß die vorhandenen Strukturinformationen auch im Rahmen eines ressourcenorientierten Systems ihre Bedeutung haben. Von daher sollte im Sinne einer deklarativen Wissensrepräsentation auch die Möglichkeit bestehen, Strukturwissen *explizit* zu modellieren und die strukturellen Grenzen für den Gültigkeitsbereich von Ressourcen auf die kompositionelle Struktur zurückzuführen.

In den folgenden zwei Abschnitten wird auf die Bilanzierung genauer eingegangen. Dabei werden insbesondere zwei Aspekte betrachtet:

1. *Welche* Ressourcenangebote und -forderungen werden einander in einer Bilanz gegenübergestellt? Diese Zuordnung wird durch die *Bilanzierungsprinzipien* festgelegt.
2. *Wie* werden die Angebote und Forderungen miteinander verrechnet, d.h., welche *Bilanzierungsoperatoren* werden verwendet?

4.2 Die Bilanzierungsprinzipien

Wesentlich für das entwickelte Konzept zur Integration einer ressourcenorientierten Modellierung und Vorgehensweise ist die Frage, *welche* Angebote und Forderungen in eine gemeinsame Bilanz eingehen. Im System MOKON hat sich die Bilanzierung aller Forderungen und Angebote bezüglich einer Ressource in *einer* Bilanz als Einschränkung bei der Modellierung erwiesen. Ein Mechanismus zur lokalen Bilanzierung ist erforderlich.

Kern des vorzustellenden Ansatzes ist die feste Zuordnung von Bilanzen zu Domänenobjekten. Bei jedem Domänenobjekt wird eingetragen, für welche Ressourcen es Bilanzen einrichten soll. Standardmäßig gelten für die Bilanzierung folgende Regeln:

- Angebote und Forderungen von Komponenten werden entlang der kompositionellen Hierarchie an die übergeordneten Aggregate weitergegeben und bei der ersten Bilanz eingetragen, welche die entsprechende Ressource verarbeitet.
- Angebote und Forderungen, für die kein übergeordnetes Aggregat existiert, das eine Bilanz für die entsprechende Ressource zur Verfügung stellt, werden in einem speziellen Objekt bilanziert, das als (virtueller) Oberknoten der kompositionellen Hierarchie betrachtet werden kann. Hier sind die globalen Bilanzen lokalisiert.

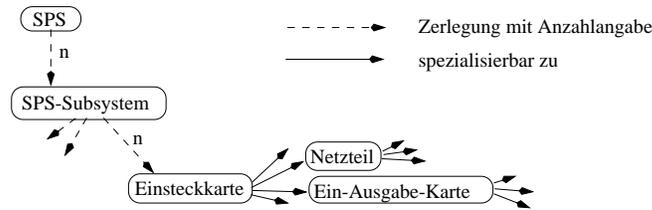


Abbildung 2: Taxonomische und kompositionelle Beziehungen des vorgestellten Domänen-ausschnittes

Mit diesen Bilanzierungsprinzipien ist die Möglichkeit gegeben, die strukturell begrenzten Gültigkeitsbereiche von Ressourcen auf die Aggregatstruktur zurückzuführen, die als Ursache des begrenzten Gültigkeitsbereiches der Forderungen und Angebote betrachtet wird: Dadurch, daß einem Domänenobjekt eine Bilanz für eine bestimmte Ressource zugeordnet wird, erfolgt eine lokale Bilanzierung „innerhalb“ des Domänenobjektes. Angebote und Forderungen bezüglich der betrachteten Ressource, die von den Komponenten ausgehen, die sich in der transitiven Hülle der hat-teile-Relation des Domänenobjektes befinden, müssen sich gegenseitig ausgleichen.

Ein Beispiel veranschaulicht die Bilanzierungsprinzipien. Wir greifen einige Aspekte der Beispieldomäne heraus, die in [Gülden96] ausführlich vorgestellt wird. Es handelt sich um die Konfigurierung speicherprogrammierbarer Steuerungen (*SPS*) (vgl. auch [Heinrich95]).

- Gegeben sei eine speicherprogrammierbare Steuerung, die aus mehreren Teilsystemen (*SPS-Subsystemen*) besteht.
- Ein *SPS-Subsystem* besteht u.a. aus verschiedenen Einsteckkarten. Für das Beispiel unterscheiden wir zwischen Ein-Ausgabe-Karten, die Strom verbrauchen und Netzteilen, die den benötigten Strom zur Verfügung stellen.
- Die Aufgabenstellung besteht u.a. darin, daß eine Anzahl bestimmter Ein- und Ausgänge gefordert wird, die von den Ein-Ausgabe-Karten bereitgestellt werden sollen.

Die kompositionellen und taxonomischen Beziehungen zwischen den Domänenobjekten sind in Abb. 2 dargestellt. In Abb. 3 ist eine Teilkonfiguration dargestellt, die zur graphischen Erläuterung der Bilanzierungsprinzipien dient. Gezeigt ist eine *SPS* (*SPS-1*), die aus zwei Teilsystemen besteht (*SPS-Subsystem-1* und *SPS-Subsystem-2*). Die beiden Teilsysteme bestehen jeweils aus mehreren Einsteckkarten (Ein-Ausgabe-Karten und Netzteilen). Weiterhin sind zwei besondere, virtuelle Objekte abgebildet: Die Umgebung des zu konfigurierenden Systems und das Objekt mit der Bezeichnung „Alles“, das als Oberknoten der konzeptuellen Hierarchie zu betrachten ist. In einer ressourcenorientierten Modellierung bieten die Netzteile die Ressource **Strom5V** in einer bestimmten Höhe an, wohingegen die Ein-Ausgabe-Karten diese Ressource fordern. Desweiteren bieten die Ein-Ausgabe-Karten verschiedene Ein- und Ausgänge an. Für das Beispiel betrachten wir die Ressource **digitaler-Ausgang**, die von den Digitalen-Ausgabe-Karten zur Verfügung gestellt wird. Für den Strom gilt: Der Strom eines Netzteiles kann nur von den Einsteckkarten genutzt werden, die sich in dem gleichen *SPS-Subsystem* befinden, d.h. der Gültigkeitsbereich der Ressource **Strom5V** ist beschränkt. Der Strom muß *lokal* innerhalb eines *SPS-Subsystem*s bilanziert werden. Die Bilanz für die entsprechende Ressource wird daher dem *SPS-Subsystem* zugeordnet. In die entsprechenden lokalen Bilanzen gehen alle Forderungen und Angebote der untergeordneten Komponenten ein. In Abb. 3 ist dies durch die schattierten Flächen Nr. 1 und 2 angedeutet.

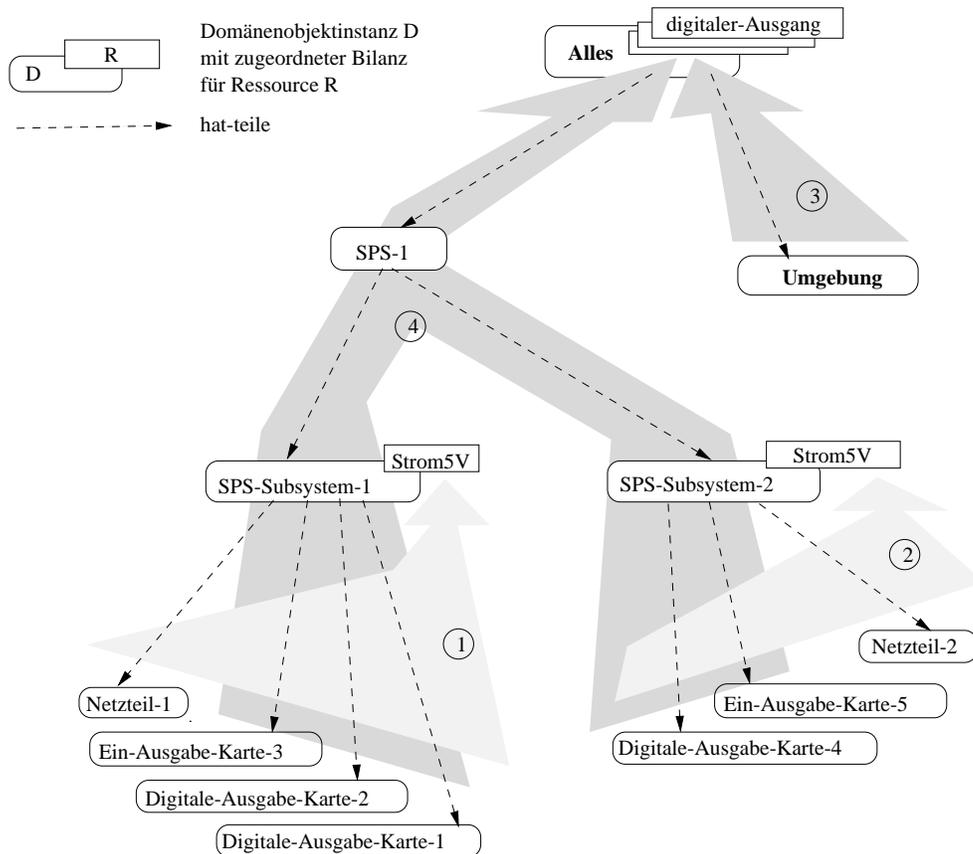


Abbildung 3: Teilkonfiguration zur Veranschaulichung der Bilanzierungsprinzipien

Ressourcenforderungen und -angebote werden solange entlang der kompositionellen Hierarchie nach „oben“ weitergereicht, bis eine geeignete Bilanz gefunden wird. In dem Objekt `Alles` werden alle Angebote und Forderungen verarbeitet, für die sich keine lokale Bilanz findet. In unserem Beispiel gehen die Forderungen der Umgebung (Aufgabenstellung) nach digitalen Ausgängen in eine derartige globale Bilanz ein (schattierte Fläche Nr. 3 in Abb. 3). Diese Forderungen müssen durch die Angebote der digitalen-Ausgabe-Karten bezüglich der Ressource `digitaler-Ausgang` ausgeglichen werden (Fläche Nr. 4).

4.3 Bilanzierungsoperatoren

Die Bilanzierungsoperatoren legen fest, *wie* Ressourcenforderungen und -angebote in einer Bilanz miteinander verrechnet werden bzw., wann eine Bilanz als ausgeglichen gilt.

Wir gehen, um die Realisierung einfach zu halten, von numerischen Ressourcen aus, d.h. die Forderungen und Angebote bezüglich einer Ressource werden durch die Angabe eines zahlenwertigen Objektdesktors² quantifiziert. Ressourcen werden folglich in einer bestimmten Höhe angeboten oder gefordert. Auf die Einführung abstrakter Operatoren (vgl. [Weiner91]) zur Flexibilisierung der Bilanzierung wird verzichtet.³ Als Bilanzierungsoperator dient die Sum-

²Das heißt einer Zahl, einer Auswahlmenge von Zahlen oder eines Intervalls.

³Daraus ergibt sich auch, daß es sich bei den durch Ressourcenforderungen und -angebote gegebenen Restriktionen um „harte“ Forderungen handelt. Prinzipiell sind auch „weiche“ Bilanzierungsoperatoren vorstellbar, die

menbildung bezüglich der Angebote und Forderungen. Der Bilanzübertrag (Saldo) ergibt sich wie bei einer klassischen Bilanz durch Subtraktion der Forderungen von den Angeboten.

Aus den Basismodulen von KONWERK ergibt sich, daß Ressourcenforderungen und -angebote außer durch einfache Zahlen auch durch Intervalle oder Auswahlmengen quantifiziert werden können. Um derartige *Mengen* zu addieren und subtrahieren, werden die Rechenregeln der *Mengenarithmetik* angewandt (vgl. [Alefeld74]).

Aus der Tatsache, daß mengenwertige Ressourcenforderungen und -angebote miteinander verrechnet werden, ergeben sich mit den oben genannten Regeln der Mengenarithmetik auch mengenwertige Salden. Insbesondere ist es möglich, daß ein Bilanzsaldo sowohl negative als auch positive Werte enthält. Es gilt daher zu klären, was überhaupt unter einer ausgeglichenen bzw. unausgeglichenen Bilanz zu verstehen ist. Wir betrachten eine Bilanz als

- *ausgeglichen*, wenn der Saldo keine negativen Werte enthält.
- *unausgeglichen* oder defizitär, wenn der Saldo ausschließlich negative Werte enthält.
- weder ausgeglichen noch unausgeglichen, wenn der Saldo sowohl negative Werte enthält als auch mindestens einen nichtnegativen Wert.

4.4 Erforderliche Erweiterungen

In diesem Abschnitt werden die Erweiterungen an den einzelnen Basismodulen (Aufgabenstellung, Domänenobjekte und Ablaufsteuerung) von KONWERK beschrieben, die notwendig sind, um ein ressourcenorientiertes Konfigurierungsmodell zu integrieren. Diese Erweiterungen ergeben in ihrer Gesamtheit das Erweiterungsmodul „Ressourcenorientiertes Konfigurieren“.

Die Aufgabenstellung wird um Möglichkeiten zur Vorgabe von initialen Ressourcenforderungen und -angeboten erweitert. Die Domänenobjekte treten beim ressourcenorientierten Konfigurieren als Anbieter und Anforderer von Ressourcen auf. Dementsprechend tragen die Domänenobjekte und ihre Instanzen Information darüber, welche Ressourcen in welcher Höhe von ihnen gefordert oder angeboten werden. Weiterhin besteht die Notwendigkeit zur Definition von Ressourcen in der Wissensbasis.

Im Gegensatz zum strukturorientierten Konfigurieren orientiert sich der Ablauf beim ressourcenorientierten Konfigurieren in erster Linie an den Bilanzen, die durch geeignete Maßnahmen ausgeglichen werden. In einer hybriden Modellierung müssen zusätzlich die kompositionellen und taxonomischen Beziehungen berücksichtigt werden. Der Konfigurierungsablauf in KONWERK beruht auf einem zentralen Zyklus, der eine Agendasteuerung des Konfigurierungsablaufs realisiert: Die jeweils möglichen Konfigurierungsschritte werden durch Analyse der Wissensbasis ermittelt und in einer Agenda verwaltet. Durch Kontrollwissen werden geeignete Schritte ausgewählt und anschließend durchgeführt. In den Basismodulen wird zwischen den Konfigurierungsschritttypen *parametrieren*, *integrieren*, *zerlegen* und *spezialisieren* unterschieden. Der zentrale Zyklus besteht demnach stark vereinfacht aus folgenden Schritten (vgl. [Günter95b]):

1. Generieren einer Agenda
2. Auswahl eines Konfigurierungsschrittes
3. Durchführung des Konfigurierungsschrittes und Weiterentwickeln der Teilkonfiguration

Mechanismen analog zur Constraintrelaxation oder Fuzzy-Arithmetik ermöglichen.

Das ressourcenorientierte Konfigurierungsmodell läßt sich in den zentralen Zyklus durch weitere Konfigurierungsschritttypen integrieren. Diese werden gemeinsam mit den übrigen Schritten in einer Agenda verwaltet. Wir unterscheiden dabei zwischen den neuen Konfigurierungsschritttypen *Bilanzausgleich* und *Bilanzkonkretisierung*, die für die folgenden Situationen gedacht sind:

- Eine Bilanz ist ausgeglichen. Aus Sicht des ressourcenorientierten Konfigurierungsmodells sind keine Maßnahmen erforderlich.
- Eine Bilanz ist unausgeglichen. In diesem Fall ist ein *Bilanzausgleich* erforderlich (z.B. durch Hinzunahme weiterer Komponenten). Es wird ein Agendaeintrag vom Typ *Bilanzausgleich* generiert.
- Eine Bilanz ist weder ausgeglichen noch unausgeglichen, d.h. die Bilanz kann sich im weiteren Konfigurierungsverlauf sowohl zu einer unausgeglichenen Bilanz als auch zu einer ausgeglichenen Bilanz weiterentwickeln. Zur Forcierung dieser Entscheidung wird ein Agendaeintrag vom Typ *Bilanzkonkretisierung* generiert.

Die Durchführung von Bilanzausgleichsschritten und Bilanzkonkretisierungsschritten besteht in der Durchführung geeigneter Konfigurierungsschritte, wie sie bereits vom Basismodul Kontrolle eingeführt wurden. Ein Bilanzausgleichsschritt kann beispielsweise auf einen Spezialisierungsschritt oder Zerlegungsschritt abgebildet werden. Die Ermittlung dieser Alternativen erfolgt unter Beachtung der in Abschnitt 4.2 vorgestellten Bilanzierungsprinzipien und macht einen wesentlichen Teil der erforderlichen Erweiterungen aus. Im Anschluß an die Durchführung eines Konfigurierungsschrittes erfolgt eine Aktualisierung der Bilanzen.

5 Anwendungsbeispiel und Erfahrungen

Die vorgestellten Konzepte wurden in einem Erweiterungsmodul von KONWERK implementiert und mittels der für die ressourcenorientierte Modellierung typischen Domäne der *speicherprogrammierbaren Steuerung* verifiziert (vgl. [Gülden96]⁴). Es konnten dabei alle wesentlichen Aspekte der Domäne abgebildet werden. Die von uns durchgeführte hybride Modellierung hat folgende Vorteile:

- Die Formulierung von funktionalen Anforderungen, die sich auf die Eigenschaften der Endkonfiguration beziehen und nur durch mehrere Komponenten gemeinsam erbracht werden können (z.B. die Forderung nach einer bestimmten Anzahl von digitalen Eingängen), ist mithilfe des ressourcenorientierten Modells deklarativ und einfach zu lösen.
- Beschränkungen bezüglich der Anzahl einzelner Komponenten können zweckmäßig durch Anzahlangaben bei der Formulierung von *Zerlegungswissen* formuliert werden. Dies erscheint sinnvoller als eine Modellierung mithilfe von Pseudoressourcen, die gefordert werden oder nur in begrenzter Anzahl angeboten werden.
- Durch die Zuordnung von Bilanzen zu Aggregaten kann der Gültigkeitsbereich von Ressourcenforderungen und -angeboten festgelegt werden. Dieses Prinzip erwies sich als angemessen, weil die Zerlegungsstruktur meist die natürliche Ursache für die strukturellen Grenzen der Wirksamkeit von Ressourcenforderungen und -angeboten darstellt.

⁴KONWERK als auch die Anwendungsmodellierung können bei den Verfassern bezogen werden.

Wir halten fest, daß eine Modellierung der vorgestellten Domäne, wie sie unter Verwendung der KONWERK-Basismodule *und* des Erweiterungsmoduls zum ressourcenorientierten Konfigurieren erstellt wurde, angemessen erscheint. Sowohl Strukturwissen als auch Wissen um Ressourcenforderungen und -angebote konnten kooperativ verwendet werden.

6 Ausblick

Die Konzeption und Realisierung des vorgestellten Integrationsansatzes hat sich teilweise an den Erfordernissen der (relativ) einfach strukturierten Beispieldomäne orientiert. Im Mittelpunkt stand der Nachweis einer sinnvollen Kombinierbarkeit des ressourcenorientierten Konfigurierungsmodells mit anderen Arten der Wissensrepräsentation und dazugehörigen Vorgehensweisen, insbesondere dem strukturorientierten Konfigurierungsmodell. Dementsprechend ist auf eine Umsetzung von weiterführenden Mechanismen des ressourcenorientierten Konfigurierens verzichtet worden. Der in dieser Arbeit entwickelte Ansatz hat prototypischen Charakter und bietet Spielraum für verschiedene Erweiterungen. Im folgenden sind einige der möglichen Erweiterungen bzw. Verbesserungen aufgeführt:

- Abstrakte Bilanzierungsoperatoren

Eine naheliegende Erweiterung des vorgestellten Modells betrifft die Einführung von abstrakten Bilanzierungsoperatoren [Weiner91], wie sie im System MOKON verwendet werden. Dadurch würde auch eine Unterscheidung zwischen dem *Verbrauch* von Ressourcen und der gemeinsamen *Nutzung* möglich, wie sie im System COSMOS (z.B. [Heinrich91]) stattfindet.

- Flexiblere Bilanzierungsprinzipien

Gegenwärtig werden die Forderungen und Angebote der Komponenten entlang der kompositionellen Hierarchie nach „oben“ weitergereicht, bis eine Bilanz für die entsprechende Ressource gefunden wird. Hierbei wird von *einer* kompositionellen Hierarchie ausgegangen. In KONWERK besteht aber durchaus die Möglichkeit zur Definition von verschiedenen kompositionellen Hierarchien, die sich gegenseitig überlagern. In solchen Domänen ist es erforderlich, Ressourcenforderungen und -angebote gezielt entlang einer bestimmten Relation weiterreichen zu können.

Ein anderer Erweiterungsaspekt liegt darin, nicht nur Ressourcenforderungen und -angebote an übergeordnete Konzepte weiterzureichen, sondern je nach Bedarf auch (vgl. [Weiner91]) Bilanzüberträge weiterzureichen, Bilanzen mit bestimmten Forderungen und Angeboten zu initialisieren oder Forderungen in Bilanzen untergeordneter Konzepte einzutragen.

- Domänenunabhängige Steuerung

Im Augenblick beruht die Steuerung der Konfigurierung auf domänenspezifischem Kontrollwissen. Für Probleme, bei denen sich derartiges Kontrollwissen schwer erheben läßt oder nicht existiert, sind domänenunabhängige Mechanismen zur Steuerung der Suche erforderlich [Stein96].

7 Bewertung

Der grundsätzliche Unterschied zu den aus der Literatur bekannten ressourcenorientierten Systemen besteht in der Tatsache, daß eine ressourcenorientierte Modellierung mit KONWERK die Existenz einer (expliziten) kompositionellen Hierarchie nicht ausschließt, sondern voraussetzt. Es wird der folgende Standpunkt eingenommen: Das Abstraktionsprinzip der (De-)Komposition ist für die meisten technischen Domänen von überragender Bedeutung. Auch in Domänen mit schwacher Struktur können kompositionelle Grundstrukturen identifiziert werden. Daher sollte in jedem Fall eine Möglichkeit zur (expliziten) Repräsentation von Strukturwissen bestehen. Eine rein ressourcenorientierte Modellierung ohne kompositionelle Strukturen erscheint uns nicht sinnvoll.

Unter diesen Prämissen wurde ein Ansatz entwickelt, der eine ressourcenorientierte Modellierung mit der Modellierung von kompositionellem Wissen kombiniert. Die Komponentenstruktur konnte zweckmäßig zur Realisierung der lokalen Bilanzierung ausgenutzt werden: Der eingeschränkte Gültigkeitsbereich von Ressourcenforderungen und -angeboten wird durch die Zuordnung von Bilanzen zu Domänenobjekten ausgedrückt. Der Gültigkeitsbereich der Forderungen und Angebote bleibt auf einen Teilbaum der kompositionellen Hierarchie beschränkt. Die Festlegung des Gültigkeitsbereiches von Ressourcen durch die kompositionelle Struktur ist angemessen, weil gerade die Komponentenstruktur die Ursache des begrenzten Gültigkeitsbereiches von Ressourcenforderungen und -angeboten darstellt.

Das Vorgehen während der Konfigurierung konnte problemlos in das Konzept der flexiblen Kontrolle von KONWERK integriert werden, das auf einer Agendasteuerung beruht. Das ressourcenorientierte Konfigurieren wird durch die neuen Konfigurierungsschritttypen Bilanzausgleich und Bilanzkonkretisierung in den Konfigurierungsablauf integriert. Um auch Intervalle und Mengen bilanzieren zu können, wurden Rechenregeln der Mengearithmetik angewandt. Bei der Modellierung der Beispieldomäne konnte sowohl Struktur-, als auch Ressourcenwissen gewinnbringend eingesetzt werden. Es kann von einer hybriden kooperativen Modellierung gesprochen werden.

Die Modulbibliothek von KONWERK wurde mit dem Erweiterungsmodul „Ressourcenorientiertes Konfigurieren“ um einen weiteren interessanten Problemlösungsbaustein ergänzt. Durch die Kombination von verschiedenen Verfahren wird es möglich, eine ressourcenorientierte Modellierung genau dort zu verwenden, wo es aus Sicht der Anwendung adäquat ist.

8 Zusammenfassung

Im vorliegenden Papier wurde die Integration eines ressourcenorientierten Konfigurierungsmodells in das Konfigurierungswerkzeug KONWERK vorgestellt. KONWERK beruht im wesentlichen auf einem strukturorientierten Ansatz, der das Abstraktionsprinzip der (De-)Komposition zur Modellierung des Konfigurationenraumes ausnutzt. Die Modellierung von kompositionellem Wissen erscheint uns für eine große Anzahl von Konfigurierungsaufgaben als geeignet. Von daher ist das Ziel unseres Ansatzes die Synthese beider Verfahren innerhalb eines modularen Systems. Daraus ergibt sich der Vorteil, daß eine Kombination mit weiteren Verfahren, die in Form von Erweiterungsmodulen bereitgestellt werden, den möglichen Anwendungsbereich vergrößern. Das zentrale Merkmal des Verfahrens ist die lokale Bilanzierung, die sich auf die Zerlegungsstruktur bezieht. Weiterhin wurde die Bilanzierung von Ressourcen mithilfe der Mengearithmetik durchgeführt.

Das entwickelte Konzept wurde durch eine prototypische Implementation in Form eines KONWERK-Erweiterungsmoduls umgesetzt und anhand der Domäne der speicherprogrammierbaren Steuerung erfolgreich auf seine Tauglichkeit geprüft.

Literatur

- [Alefeld74] Alefeld, G.; Herzberger, J.: Einführung in die Intervallrechnung, BI-Wissenschaftsverlag, Reihe Informatik 12, Mannheim, 1974
- [Gülden96] Gülden, O.: Ressourcenorientiertes Konfigurieren mit KONWERK, Diplomarbeit an der Universität Hamburg, 1996
- [Günter92] Günter, A.: Flexible Kontrolle in Expertensystemen zur Planung und Konfigurierung in technischen Domänen, Dissertation an der Universität Hamburg, infix Verlag, Sankt Augustin, 1992
- [Günter95a] Günter, A.(Hrsg.): Wissensbasiertes Konfigurieren, infix Verlag, Sankt Augustin, 1995
- [Günter95b] Günter, A.; Hotz, L.; Vietze, T.: Die Basismodule von KONWERK, in [Günter95a], S. 77–87
- [Heinrich91] Heinrich, M.: Ressourcen-orientierte Modellierung als Basis des Konfigurierens modularer Technischer Systeme, in: Günter, A.; Cunis, R. (Hrsg.): Beiträge zum 5. Workshop Planen und Konfigurieren, S. 61–74, Labor für Künstliche Intelligenz, Hamburg, 1991
- [Heinrich93] Heinrich, M.: Ressourcenorientiertes Konfigurieren, in: KI 1/93, S. 11–15, 1993
- [Heinrich95] Heinrich, M.; Übungsbeispiel zur ressourcenorientierten Modellierung mit COSMOS, persönliche Kommunikation zwischen Michael Heinrich u. Andreas Günter, 1995
- [Neumann90] Neumann, B.: Ein Ansatz zur wissensbasierten Auftragsprüfung für technische Anlagen des Breitengeschäftes, Dissertation an der Universität - Gesamthochschule - Duisburg, 1990
- [Neumann91] Neumann, B.: Expertensysteme zur Konstruktion: Anforderungen an ein Werkzeugsystem, in: Cunis, R.; Günter, A.; Strecker, H. (Hrsg.): Das PLAKON-Buch, S. 58–76, Springer Verlag, Berlin, 1991
- [Richter95] Richter, M. M.: Kommentierung und Wertung der PROKON-Ergebnisse, in [Günter95a], S. 181 – 191
- [Stein91] Stein, B.; Weiner, J.: MOKON – Eine modellbasierte Entwicklungsplattform zur Konfigurierung technischer Anlagen, in: Günter, A.; Cunis, R. (Hrsg.): Beiträge zum 5. Workshop Planen und Konfigurieren, S. 100–106, Labor für Künstliche Intelligenz, Universität Hamburg, 1991
- [Stein95] Stein, B. M.: Functional Models in Configuration Systems, Dissertation an der Universität Paderborn, 1995
- [Stein96] Stein, B.; Curatolo, D.: Model Formulation and Configuration of Technical Systems, in: Sauer, J.; Günter, A.; Hertzberg, J.: Planen und Konfigurieren 96, S. 56–69, infix Verlag, Sankt Augustin, 1996
- [Weiner91] Weiner, J.: Aspekte der Konfigurierung technischer Anlagen, Dissertation an der Universität - Gesamthochschule - Duisburg, 1991