

# Modellierung von Supply Chains unter Berücksichtigung variierender Organisationsstrukturen

Falko Bause, Peter Buchholz  
Universität Dortmund\*

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag stellt eine neue Entwicklung aus dem Teilprojekt “Strukturierte Modelle und effiziente Simulation” des Sonderforschungsbereichs “Modellierung großer Netze in der Logistik” (SFB 559) vor. Zur Bewertung logistischer Netze, die sich durch häufige Variationen in den Organisationsstrukturen auszeichnen, wird eine problemangepasste Modellierungsunterstützung angeboten und in die innerhalb des SFB 559 vorhandene Werkzeugumgebung integriert. Die Modellierungsunterstützung basiert u.a. auf dem wahlweisen Ein- und Ausblenden von Teilstrukturen, welches die Komplexität großer Modelle besser beherrschbar macht.

## 1 Einführung

Supply Chains agieren heutzutage in einer dynamischen Umwelt und sind einem permanenten Veränderungsprozess ausgesetzt. Zur Bewertung und zum Management von Supply Chains wird meist ein modellbasierter Ansatz verfolgt, wobei vielfach Prozesskettenorientierte Beschreibungen verwendet werden. Innerhalb des SFB 559 “Große Netze in der Logistik” ([SON]) dient das Prozessketten-Paradigma (PK-Paradigma) nach Kuhn [Kuh95, Kuh99] als Basis der Modellierung dynamischer Vorgänge und damit als Grundlage von Simulationsmodellen. Das PK-Paradigma ist eine deskriptive Modellwelt und wurde mit dem Ziel der Beschreibung logistischer Netze und Abläufe entwickelt. Es ermöglicht die Erfassung einer Vielzahl logistisch relevanter Informationen und deren Strukturierung mittels sog. Potentialklassen. Im Rahmen des SFB 559 wurde eine Teilmenge des PK-Paradigmas präzisiert und formalisiert. Diese Entwicklung resultierte im sogenannten *ProC/B*-Paradigma [BBF<sup>+</sup>02], welches eine präzise definierte Semantik besitzt [BBS03]. *ProC/B*-Modelle eröffnen damit die Möglichkeit der automatisierten Analyse, welche durch ein zugehöriges Toolset unterstützt wird.

Innerhalb des SFB 559 wurde *ProC/B* auch zur Untersuchung von Supply Chains eingesetzt [BFKV01]. Typische Fragestellungen in diesem Bereich bedingen oft die Untersuchung unterschiedlicher Organisationsstrukturen. Da sich im heute gegebenen Umfeld

---

\*Lehrstuhl Informatik IV, Universität Dortmund, D-44221 Dortmund, {falko.bause,peter.buchholz}@udo.edu  
Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 559 “Modellierung großer Netze in der Logistik” unterstützt.

Supply Chains den sehr dynamischen Umgebungsbedingungen zeitnah anpassen müssen (z.B. [CFP]) werden sogar Untersuchungen interessant in denen die Struktur während der Simulation variiert. Solche Änderungen der Organisationsstruktur sind beispielsweise motiviert durch Umstellungen des Fertigungsverfahrens, Verringerung der Fertigungstiefe, Nutzung neuer Vertriebswege, Lieferantenwechsel, Veränderungen in der Beschaffungsstruktur, Wechsel von klassischer Lagerhaltung zur Just-in-time Produktion, Übernahme von Unternehmen oder Out- und Insourcing von Aufgaben und Abteilungen etc. Die simulative Analyse der Änderungsstrategien kann hierbei sogar die Berücksichtigung der Strukturänderungen im Simulationsmodell zur Laufzeit erfordern. Ein weiteres Anwendungsgebiet variierender Modellstrukturen ist die Optimierung von Simulationsmodellen, bei der automatisch zwischen Simulationsläufen Strukturen geändert werden, um so Strukturalternativen zu vergleichen, s. [HBX04]. Die manuelle Modifikation von Modellen ist in der Regel aufwändig, da Änderungen an der Organisationsstruktur auch Änderungen in der Verhaltensbeschreibung nach sich ziehen (z.B. bei Dienstanbindungen) und verhindert damit die Nutzung automatischer Optimierungsverfahren. Ferner resultiert die Vielzahl der Unternehmen in heutigen Supply-Chain-Modellen und deren Darstellung als rechtlich selbstständige Teile in komplexen Modellen, die entsprechend unübersichtlich und schwer handhabbar sind.

In diesem Beitrag wird am Beispiel der *ProC/B*-Modellwelt aufgezeigt, wie der Analyst bei der Beschreibung solcher Systeme unterstützt werden kann. Unseres Wissens nach existieren bisher im Bereich der Simulationsmodelle keine vergleichbaren Ansätze, die eine homogene Beschreibung von Modellen mit Strukturalternativen erlauben. Insofern wird ein neues Konzept entwickelt. Der Beitrag legt den Schwerpunkt auf die praktische Umsetzung der Konzepte in der *ProC/B*-Werkzeugumgebung.

## 2 Prozessketten-orientierte Modellierung von Supply Chains mit *ProC/B*

*ProC/B* stellt eine Formalisierung von Teilen des Prozessketten-Paradigmas nach Kuhn dar, mit dem Ziel Modelle automatisiert analysieren zu können. Der Schwerpunkt der Analyse liegt dabei auf der Ermittlung technischer Größen, wie beispielsweise Durchsätzen, Durchlaufzeiten und Beständen, sowie daraus ableitbarer Kostenmasse. Ähnlich anderen Modellen aus dem Leistungsbewertungsbereich, zeichnen sich auch *ProC/B*-Modelle durch einen gewissen Abstraktionsgrad aus und verzichten z.B. auf die Erfassung detaillierter Datenabhängigkeiten, wie sie beispielsweise in ARIS-Modellen auftreten [Sch01]. *ProC/B*-Modelle sind in der Regel hierarchisch aufgebaut und basieren auf sogenannten Funktionseinheiten (FEs), welche zur Darstellung von Unternehmen oder Unternehmensabteilungen verwendet werden können. FEs bieten Dienste an, die von ihrer Umgebung genutzt werden können. Sie können ihrerseits FEs enthalten und zur Dienstleistung die Dienstangebote der enthaltenen FEs nutzen. Das Verhalten von FEs wird durch Prozessketten beschrieben. Abb. 1 und 2 zeigen ein Beispiel eines *ProC/B*-Modells. Das Modell besitzt drei Prozessketten (*WebChan*, *RetailChan*, *WebChanCont*). Jede Prozesskette beschreibt das Verhalten einer Klasse von Prozessen durch die Angabe einer Menge von Prozessketten-

Elementen (PKEs), welche die Aktivitäten eines Prozesses darstellen. PKEs werden über der Zeit angeordnet indem graphisch eine Halbordnung der Elemente festgelegt wird. So legt z.B. der Oder-Konnektor der Prozesskette *WebChan* fest, dass ein Prozess diesen Typs mit Wahrscheinlichkeit 0.9 den oberen Teil der Prozesskette durchläuft, welcher mit der Aktivität *D2.2* beginnt. Einzelne Aktivitäten einer Prozesskette können durch Dienste interner Funktionseinheiten durchgeführt werden. Beispielsweise wird in Abb. 1 die Aktivität im PKE *ManufactW* der Prozesskette *WebChan* durch Aufruf des Dienstes *WebOrder* der FE *Manufacture* ausgeführt. Dieser Dienst wird in der Spezifikation der FE *Manufacture* (s. Abb. 2) seinerseits durch eine Prozesskette beschrieben. Die hierarchische Beschreibung von *ProC/B*-Modellen endet an Standard-Funktionseinheiten, welche vordefinierte Dienste anbieten. *ProC/B* bietet zwei Arten von Standard-FEs an: Server zur Modellierung von Zeitverbräuchen (ähnlich Stationen in einem Warteschlangen-Netz) und Counter zur Modellierung von Raumnutzungen (z.B. Lager).

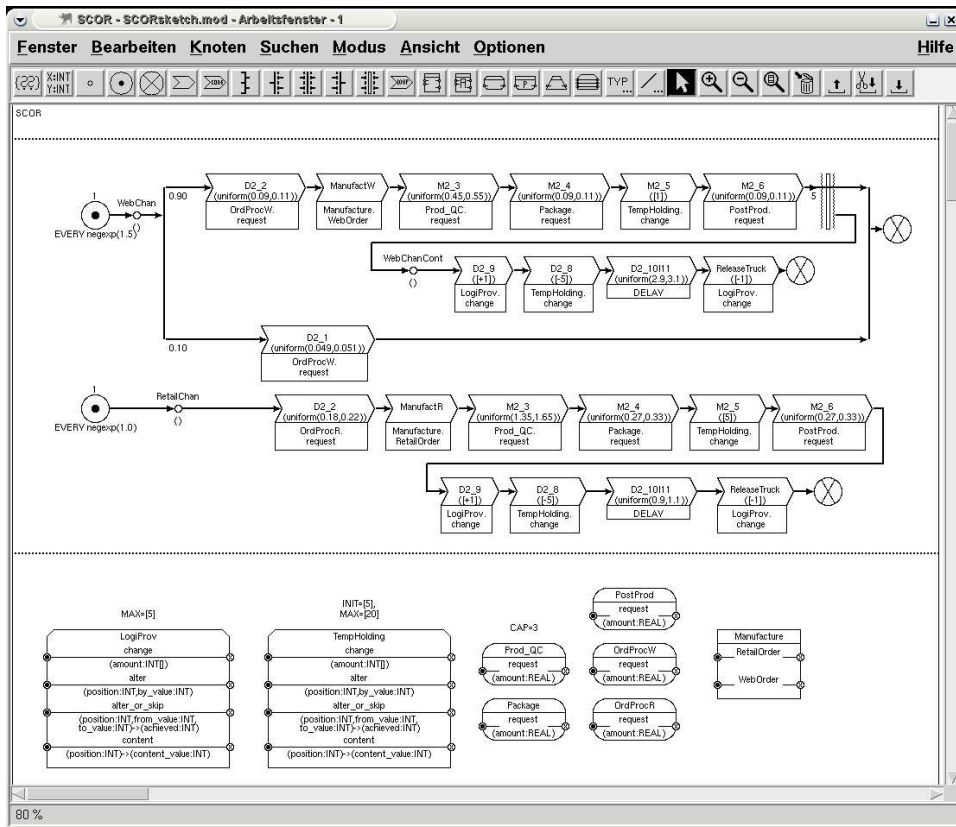


Abbildung 1: Beispiel eines *ProC/B*-Modells

Durch den Import/Export von Diensten benachbarter Funktionseinheiten ist es möglich

allgemeine azyklische Hierarchien der Dienstennutzung zu beschreiben und somit In- und Outsourcing-Szenarien durchzuspielen. Die Beschreibung und Analyse von *ProC/B*-Modellen wird innerhalb des SFB 559 durch ein Toolset unterstützt, welches eine graphische Benutzeroberfläche zur Modellbeschreibung, sowie Tools zur simulativen Bewertung allgemeiner *ProC/B*-Modelle und zur analytischen und numerischen Analyse spezieller *ProC/B*-Modelle anbietet. Für eine detaillierte Einführung in *ProC/B* und dem zugehörigen Toolset sei auf [BBF<sup>+</sup>02] verwiesen.

### 3 Modellierungsprobleme bei variierenden Organisationsstrukturen

Beim Entwurf des *ProC/B*-Paradigmas lag der Schwerpunkt auf der Erfassung dynamischer Vorgänge, die auf statisch definierten Strukturen ablaufen. Die Untersuchung von Supply Chains erfordert allerdings oft die Betrachtung einer Vielzahl von Varianten, welche sich nicht nur in ihren Parametersetzungen unterscheiden, sondern zusätzlich in den Organisationsstrukturen. Man kann grundsätzlich zwei Anwendungsszenarien für variierende Organisationsstrukturen unterscheiden. Zum einen können variierende Organisationsstrukturen genutzt werden, um Realisierungsalternativen in einem Modell darzustellen. Dadurch besteht die

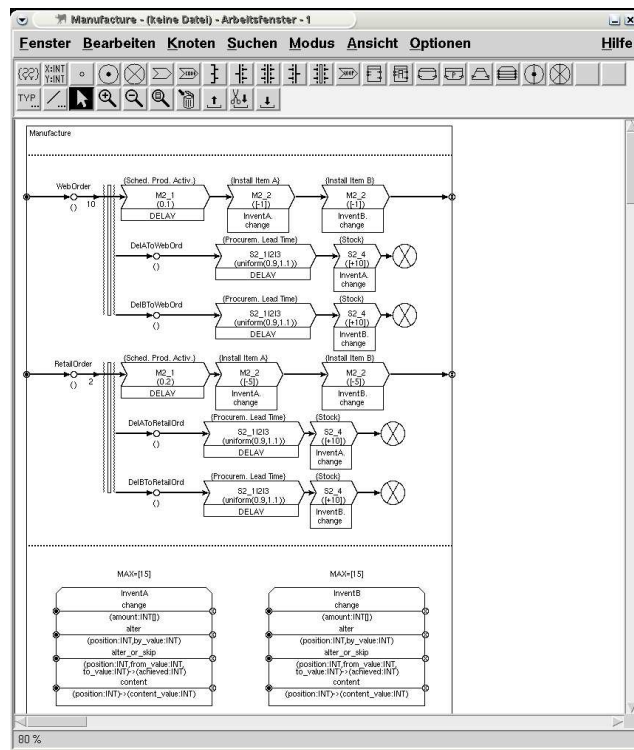


Abbildung 2: Beispiel einer Funktionseinheit

Möglichkeit, sehr effizient Modelle für eine Vielzahl von Varianten zu erzeugen. Dies ist bei der Kopplung von Simulationwerkzeugen mit automatischen Optimierungsverfahren von großem Interesse, wenn über Strukturalternativen optimiert werden soll. Zum anderen können variierende Organisationsstrukturen dazu genutzt werden, zusätzliche Dynamik im Modell zu erzeugen, wenn während eines Simulationslaufs auf Grund des internen Zustands, die Organisationsstruktur modifiziert wird. In diesem Fall ist natürlich auf eine fundierte statistische Auswertung zu achten, die sich aber nicht grundsätzlich vom üblichen

Vorgehen unterscheidet, da jedes Modell mit variierenden Organisationsstrukturen auf ein komplexeres Modell ohne Strukturalternativen abbildbar ist (vgl. auch Kap. 4.2).

Da Organisationsstrukturen im *ProC/B*-Paradigma durch Funktionseinheiten und deren Beziehungen erfasst werden, ist die Änderung einer Organisationsstruktur im Modell teilweise aufwändig. Änderungen der Struktur implizieren auch eine Änderung der aufzurufenden Dienste, deren Anbindung an Prozessketten-Elemente statisch erfolgt. Die Beschreibung von Modellen mit variierenden Organisationsstrukturen macht Schwierigkeiten. Diese sind teilweise dadurch bedingt, dass moderne Modellierungs- und Simulationssprachen Konzepte objekt-orientierter Programmiersprachen berücksichtigen um die Komplexität großer Modelle beherrschbar zu machen.

Möchte der Modellierer beispielsweise mehrere In- und Outsourcing-Varianten durchspielen, so entstehen durch das "Verlagern" von Organisationseinheiten in der Regel nicht mehr lauffähige Modelle, die manuell angepasst werden müssen. In der objekt-orientierten Modelwelt *ProC/B* drückt sich dies z.B. dadurch aus, dass vorher nutzbare Dienste nicht mehr zur Verfügung stehen, da die anbietenden Funktionseinheiten verlagert wurden. Variieren die Organisationsstrukturen während der Modellzeit, so ist das Gesamtmodell oft komplex und schwer zu überschauen. Soll beispielsweise untersucht werden, welche Auswirkungen eine schrittweise Veränderung von Massenproduktion (Distribute-to-Stock) zur Fertigung auf Kundenwunsch (Engineer-to-Order) hat, bedingen die variierenden Kundenentkopplungspunkte eventuell unterschiedliche Lagerstandorte. Solche Veränderungen in der Struktur müssen selbstverständlich vom Modellierer spezifiziert werden, um analysiert werden zu können. Allerdings resultiert die Variation der Struktur in komplexeren Modellen, da in der Regel jede einzelne Strukturalternative ein für sich lauffähiges Modell beschreibt. Um den Überblick zu behalten, benötigt der Modellierer somit Hilfsmittel um einzelne Sichten auf die (Teil-)Modelle einnehmen zu können.

## **4 Modellierungsunterstützung für variierende Organisationsstrukturen**

Die oben geschilderten Modellierungsprobleme betreffen die Modellbeschreibung, so dass Abhilfemaßnahmen die (heutzutage üblicherweise graphischen) Benutzeroberflächen betreffen. Im Folgenden werden einige jüngst vorgenommene Erweiterungen des *ProC/B*-Instrumentariums beschrieben ([Ter05]), die die oben genannten Modellierungsprobleme mildern.

### **4.1 Modellierungsunterstützung für In- und Outsourcingszenarien**

In- und Outsourcingscheidungen sind typische Beispiele für Veränderungen der Organisationsstruktur. Wenn das Modell diese Organisationsstruktur widerspiegeln soll, müssen Funktionseinheiten verlagert werden. *ProC/B* bietet die bekannte Visualisierung von Organisationsstrukturen in Form eines Hierarchiebaums an (vgl. Abb. 3). In diesem Hierarchiebaum lassen sich FEs mit wenigen Mausclicks ausschneiden und einfügen. Beispielsweise

zeigt der Hierarchiebaum in Abb. 3 die Situation nach Insourcing des zuvor eigenständigen LDLs in den Groß-Spediteur. Diese Modifikation lässt sich auf Basis des Hierarchiebaums einfach vornehmen, führt allerdings in der Regel zu inkonsistenten Modellen. Hat z.B. der OEM Dienste des LDL genutzt, so stehen diese Dienste nicht mehr (direkt) zur Verfügung, da (auch rechtlich betrachtet) der OEM sich nun mit seinen Transportaufträgen an den Groß-Spediteur wenden muss. In dieser Situation benötigt der Modellierer zumindest Hinweise, welche Dienstanbindungen durch die Manipulation des Hierarchiebaums nicht mehr gültig sind bzw. gelöscht wurden.

Sollen die (vorerst nur im Groß-Spediteur nutzbaren) Dienste des LDL wieder dem OEM zur Verfügung gestellt werden, so muss der Groß-Spediteur diese dem OEM anbieten. Um den Aufwand für die zugehörigen Modellanpassungen zu verringern, lassen sich in *ProC/B* einzelne Dienste einer FE auf höheren Hierarchiestufen anbieten. Beispielsweise zeigt Abb. 4 die Benutzereingabe, welche bewirkt, dass der Dienst *Abfrage freie Kapazitäten* der FE *LDL* auch vom Groß-Spediteur angeboten wird. Die Prozesskette, welche das Verhalten des vom Groß-Spediteur angebotenen Dienstes beschreibt, besteht dabei nur aus einem Element, welches den zugehörigen Dienst des LDL aufruft (nicht in der Abb. dargestellt).

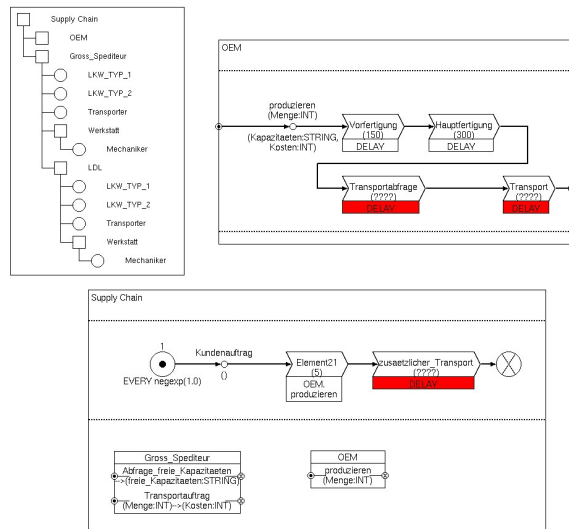


Abbildung 3: Hinweis auf nicht mehr nutzbare Dienste [Ter05]

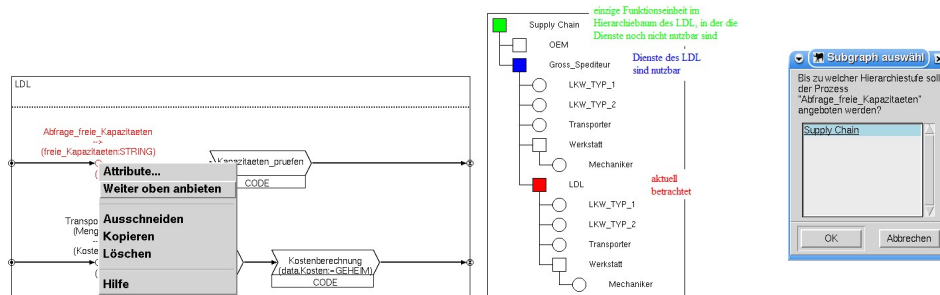


Abbildung 4: Vereinfachte Dienstanbindungen in hierarchischen Modellen [Ter05]

## 4.2 Sichten auf Teilstrukturen

Sollen Strukturänderungen während der Laufzeit der Simulation betrachtet werden, so müssen zwangsläufig die Strukturalternativen (vor Start der Simulation) vom Modellierer beschrieben werden. Dies führt in der Regel zu großen und, allein schon wegen der Anzahl der Modellierungselemente, unübersichtlichen Modellen. Um den Überblick bewahren zu können, bietet die *ProC/B*-Oberfläche die Möglichkeit verschiedene Sichten auf die Modell(-Teile) zu definieren. Abb. 5 zeigt ein konkretes Beispiel: Der Ablauf eines Prozesses der Prozesskette *Lagerbestellung* hängt vom Wert der Variablen *JIT* ab, die der Modellierer während der Modellierung belegt.

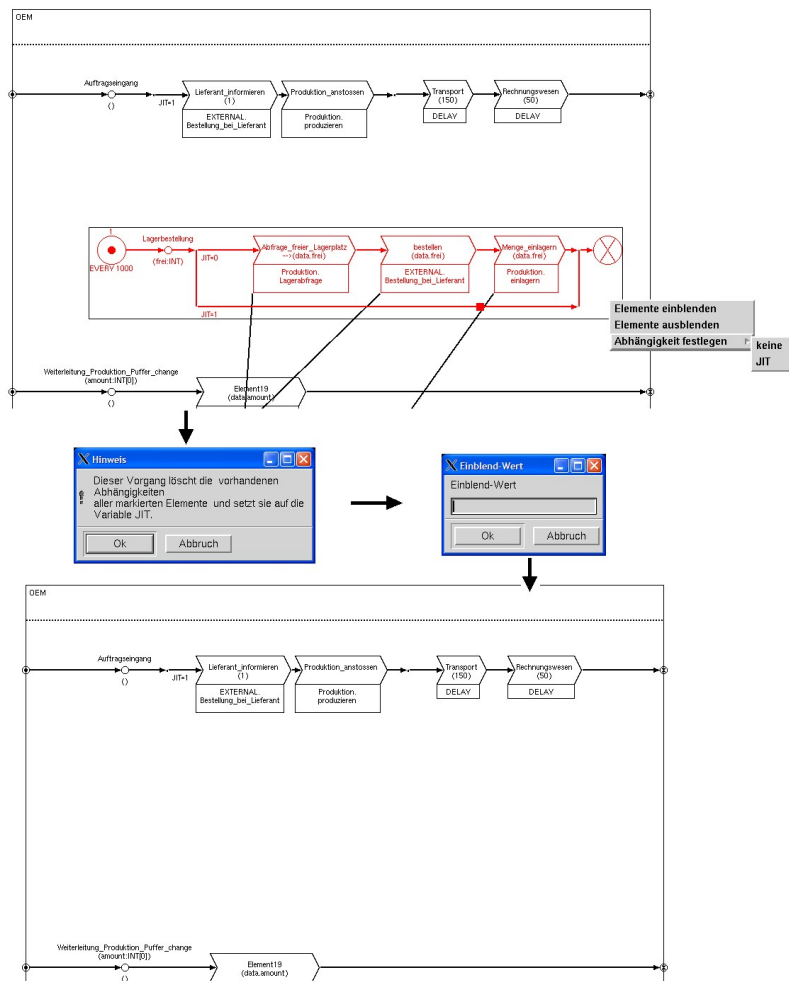


Abbildung 5: Einblenden der Teilstrukturen bei Wert JIT=1 [Ter05]

Die breiteren schwarzen Pfeile markieren die Reihenfolge der Benutzeraktionen. Zuerst werden alle Elemente markiert und ihre Abhängigkeit von der Variablen *JIT* festgelegt. Abschliessend wird der Wert der Variablen gesetzt wodurch entsprechende Teile ausgeblendet werden. Da in diesem Beispiel keine Aktivitäten bei *JIT=1* ausgeführt werden, wird die Prozesskette *Lagerbestellung* nicht mehr dargestellt.

Durch diese Möglichkeit Teilstrukturen wahlweise ein- und auszublenden, wird die Komplexität gerade bei großen Modellen mit vielen alternativen Prozessabläufen besser beherrschbar. Die Vorteile kommen nicht nur bei der Erstellung und visuellen Überprüfung der Modelle zum tragen, sondern auch bei der Präsentation der Modelle.

### 4.3 Kompakte Darstellung von Entscheidungsalternativen

Änderungen der Organisationsstruktur in der Simulation hängen von Entscheidungen ab, die zwischen einzelnen Simulationsläufen oder auch während eines Simulationlaufs zu treffen und durch einen entsprechenden, teilweise komplexen Entscheidungsalgorithmus zu spezifizieren sind. Vielfach ist es hierbei notwendig den Zustand einzelner Organisationseinheiten zu ermitteln, d.h. Dienste von Funktionseinheiten aufzurufen. Dies kann zu überfrachteten Prozessketten-Darstellungen führen in denen große Teile nur die logischen Abläufe zur Entscheidungsfindung darstellen. Eine Möglichkeit solche logischen Abläufe kompakt darzustellen, ist das Kapseln solcher Teilketten in dedizierten Bausteinen, in *ProC/B* Entscheidungselemente genannt, welche ähnlich den Funktionseinheiten genutzt werden können.

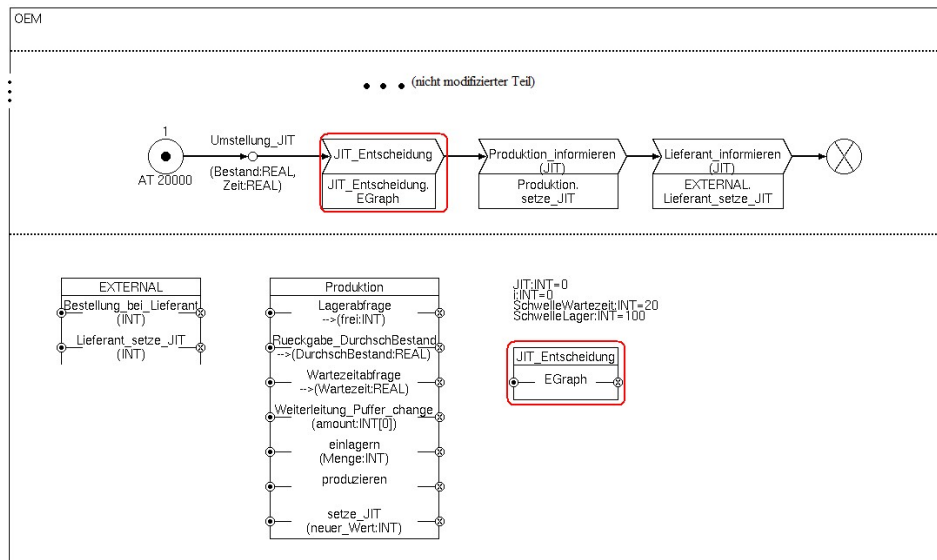


Abbildung 6: Entscheidungselement (externe Ansicht) [Ter05]



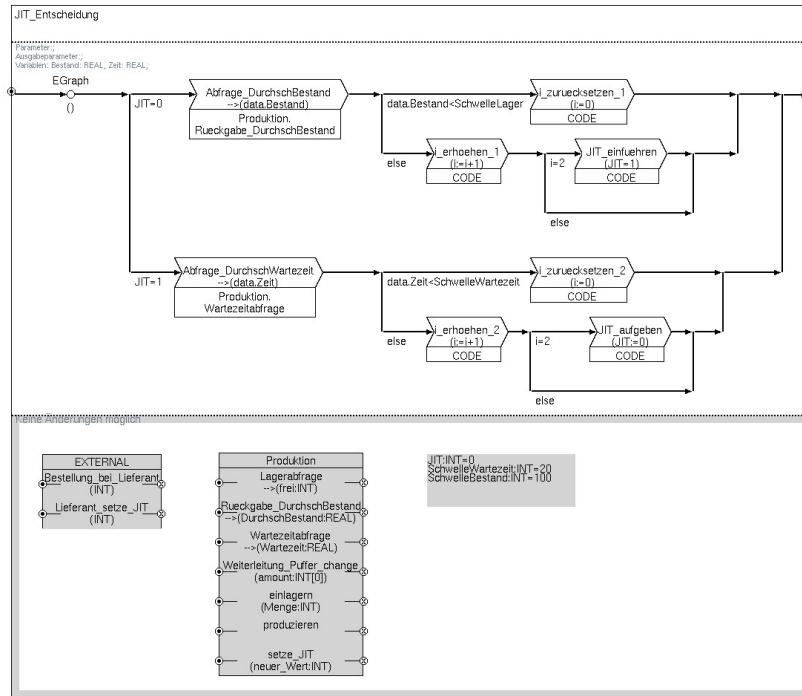


Abbildung 7: Entscheidungselement (interne Ansicht) [Ter05]

Ein Beispiel zeigen die Abbildungen 6 und 7. Das Entscheidungselement erlaubt eine Modularisierung einer Prozesskette. Da nur ein Abschnitt einer Prozesskette separat dargestellt wird, kann auf eine explizite Darstellung der Schnittstellen des Entscheidungselementes verzichtet werden. Aus Konsistenzgründen ist es sogar vorteilhaft dem Benutzer die Möglichkeit einer eigenen Definition zu nehmen, um so eine unnötige Fehlerquelle zu eliminieren. Zur Vermeidung weiterer Fehler bietet *ProC/B* dem Nutzer nur eingeschränkte Modellierungsmöglichkeiten innerhalb von Entscheidungselementen: Funktionseinheiten und Variablen der FE (in Abb. 7 grau dargestellt) können zwar genutzt, aber nicht modifiziert oder gelöscht werden. Ferner ist das Anlegen weiterer FEs nicht möglich. Die Modularisierung einer Prozesskette mittels Entscheidungselementen impliziert, dass Quellen, Senken und Konnektoren zur Synchronisation mehrerer Prozessketten (sog. Prozessketten-Konnektoren) als Modellierungselemente in der internen Ansicht nicht erlaubt sind und daher auch vom *ProC/B*-Instrumentarium nicht angeboten werden. Durch den Einsatz von Entscheidungselementen bleibt der Vorteil der graphischen Darstellung in Form von Prozessketten weiterhin auch für die Beschreibung logischer Abläufe erhalten.

## 5 Fazit

Die Komplexität heutiger großer Netze der Logistik führt zu komplexen und schwer zu handhabenden Modellen. Mit Hilfe von dynamischen Strukturalternativen, die bei Bedarf ein- und ausgeblendet werden können, lässt sich diese Komplexität erheblich reduzieren. Der Beitrag stellt ein neues Konzept zur Realisierung solcher Strukturalternativen im Rahmen des *ProC/B*-Paradigmas vor und beschreibt insbesondere dessen Umsetzung in eine konkrete Werkzeugumgebung.

## Literatur

- [BBF<sup>+</sup>02] F. Bause, H. Beilner, M. Fischer, P. Kemper, M. Völker. The ProC/B Toolset for the Modelling and Analysis of Process Chains. In T. Field, P.G. Harrison, J. Bradley, and U. Harder (Hrsg.), *Computer Performance Evaluation, Modelling Techniques and Tools, 12th International Conference, TOOLS 2002, London (UK), LNCS*, No 2324, S. 51–70. Springer, 2002.
- [BBS03] F. Bause, H. Beilner, M. Schwenke. Semantik des ProC/B-Paradigmas. SFB 559, Universität Dortmund, SFB-Bericht 03001, ISSN 1612-1376, 2003.
- [BFKV01] F. Bause, M. Fischer, P. Kemper, M. Völker. Performance and Cost Analysis of Supply Chain Models. In *Proc. of the First Seoul International Simulation Conference (SeoulSim 2001), Seoul (Korea)*, S. 425–434, Oct. 2001.
- [CFP] CFP: Hamburg International Conference of Logistics 2006. <http://www.hicl.org/call.htm>.
- [HBX04] D. Hongwei, L. Benyoucef, X. Xiaolan. A simulation-based optimization method for production-distribution network design. In *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 5, S. 4521 – 4526, 2004.
- [Kuh95] A. Kuhn (Hrsg.). *Prozessketten in der Logistik: Entwicklungstrends und Umsetzungsstrategien*. Verlag Praxiswissen, Dortmund, 1995.
- [Kuh99] A. Kuhn, (Hrsg.) *Prozesskettenmanagement: Erfolgsbeispiele aus der Praxis*. Verlag Praxiswissen, Dortmund, 1999.
- [Sch01] A.W. Scheer. *ARIS - Modellierungsmethoden, Metamodelle, Anwendungen*. Springer, 2001.
- [SON] SONDERFORSCHUNGSBEREICH 559. Modellierung großer Netze in der Logistik. <http://www.sfb559.uni-dortmund.de>.
- [Ter05] G. Terhardt. Modellierung und Bewertung von Supply-Chain-Modellen unter Berücksichtigung variierender Strukturen. Diplomarbeit, Fachbereich Informatik, Universität Dortmund, 2005.