

# Simulation von Supply Chains mit Petri-Netzen

Yu Li<sup>1</sup>, Marco Mevius<sup>2</sup> und Andreas Oberweis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>{li | oberweis}@aifb.uni-karlsruhe.de

Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB)

Universität Karlsruhe (TH), 76187 Karlsruhe

<sup>2</sup>mevius@fzi.de

FZI Forschungszentrum Informatik, 76131 Karlsruhe

## Kurzfassung

Das erfolgreiche Management von über- und innerbetrieblichen logistischen Geschäftsprozessen stellt insbesondere bei der Realisierung von komplexen Logistikprojekten einen kritischen Erfolgsfaktor dar. Zur Unterstützung des Managements von Geschäftsprozessen in Supply Chains bedarf es einer strukturierten Modellierung, Analyse und Kontrolle der relevanten Geschäftsprozesse. XML-Netze, eine Variante höherer Petri-Netze, bieten dabei durch die Unterstützung der Modellierung und Manipulation strukturierter Prozessobjekte ein besonderes Einsatzpotenzial. Im Rahmen des Beitrags werden die Architektur, die Implementierungsaspekte und das Einsatzpotenzial des prototypisch implementierten Softwarewerkzeuges "INCOME2010" auf der Basis von XML-Netzen vorgestellt, welches das Geschäftsprozessmanagement in Supply Chains unterstützt.

## 1 Einleitung

In der relevanten Literatur zum Supply Chain Management findet sich eine Reihe von - nicht einheitlichen und nicht überschneidungsfreien - Definitionen des Begriffs Supply Chain. Da in diesem Beitrag der Fokus auf die in einer Supply Chain durchgeführten (Wertschöpfungs-)Prozesse gerichtet wird, wird den weiteren Ausführungen folgende prozessorientierte Definition zu Grunde gelegt: "The supply chain encompasses all activities associated with the flow and transformation of goods from the raw materials stage (extraction) through to the end user, as well as the associated information flows." [1]. Der in dieser Definition angeführte Materialfluss von der Rohstoffgewinnung bis hin zum Endkunden ist das Resultat der Verknüpfung von Geschäftsprozessen. Ein Geschäftsprozess sei hier definiert als eine Menge von manuellen, teilautomatisierten oder automatisierten Aktivitäten, die unter Berücksichtigung bestimmter Regeln auf ein gemeinsames Geschäftsziel hin ausgeführt werden. Die einzelnen Aktivitäten und deren Kontrolle können an geographisch unterschiedlichen Orten stattfinden (verteilte Geschäftsprozesse) [2].

In Bezug auf Supply Chains stehen insbesondere Produktionsprozesse, logistische Prozesse (Lagerung, Umschlag, Transport) sowie die unterstützenden Informationsprozesse im Vordergrund des Interesses. Eine Supply Chain kann prozessbezogen durch die Geschäftsprozesse, die durch sie realisierbar sind, charakterisiert werden. Die realisierbaren Geschäftsprozesse konstituieren das mittelfristige Leistungspotenzial der Supply Chain.

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags werden die Architektur, die Implementierungsaspekte und das Einsatzpotenzial des prototypisch implementierten Softwarewerkzeugs "INCOME2010" auf der Basis von XML-Netzen vorgestellt, welches das Geschäftsprozessmanagement in Supply Chains unterstützt. Die Funktionalitäten dieses Softwareprototypen umfassen neben Modellierungs-, Präsentations- und Simulationsfunktionen Funktionen zur Koordination und Kontrolle der relevanten Geschäftsprozesse [3]. Das Softwarewerkzeug lässt sich für die simulative Validierung der Geschäftsprozesse auf Basis von Prozesskennzahlen einsetzen.

## **2 Modellierung und Simulation von Supply Chains mit Petri-Netzen**

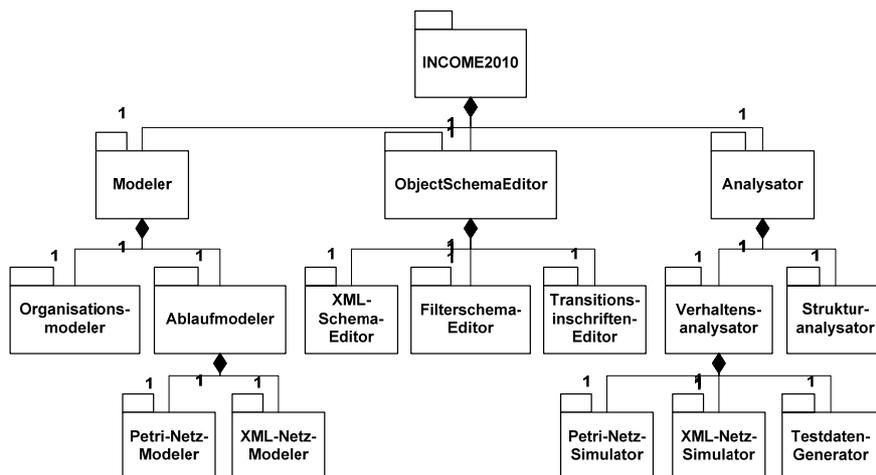
Petri-Netze [4] sind eine Beschreibungssprache für Geschäftsprozesse, welche die Vorteile einer graphischen Darstellung und einer präzisen Semantik vereint. Petri-Netze setzen sich aus statischen Komponenten – den Stellen, dargestellt durch Kreise – und dynamischen Komponenten - den Transitionen, dargestellt durch Rechtecke - zusammen. Statische und dynamische Komponenten können durch gerichtete Kanten miteinander verbunden werden. Aufgrund ihrer präzisen Semantik können Petri-Netze simuliert (z.B. können Geschäftsprozesse mit vorgegebenen Ressourcen "durchgespielt" werden) und methodisch analysiert werden. Beispielsweise kann getestet werden, ob ein Prozess vollständig durchlaufen wird oder bereits vor seinem regulären Ende abbricht. Durch die unterschiedliche Interpretation der statischen und dynamischen Komponenten sind verschiedene Petri-Netz-Typen vorgeschlagen worden. Höhere Petri-Netz-Typen basieren auf der Interpretation der Stellen als Behälter für Mengen unterscheidbarer Objekte, beispielsweise ablaufrelevanter Daten [5]. Zur integrierten Modellierung von Geschäftsprozessen in Supply Chains und den relevanten Prozessobjekten wird eine Variante höherer Petri-Netze, die so genannten XML-Netze [6], eingesetzt. In XML-Netzen können Schemata für die Struktur der prozessrelevanten Objekte und Wertebereiche für deren Inhalt durch eine präzise graphische Beschreibungssprache vorgegeben werden. Die Stellen des XML-Netzes können somit als Behälter für eine Menge von zum entsprechenden Schema passenden XML-Dokumenten aufgefasst werden. Die Aktivitäten werden durch Transitionen repräsentiert, die über Kanten mit den entsprechenden Stellen verbunden sind. Die Kantenrichtung bestimmt dabei, ob es sich bei den für die Aktivität relevanten Dokumenten um Input- oder Outputobjekte der Aktivität handelt.

In dem neu entwickelten Softwarewerkzeug INCOME2010 werden die Supply Chains als höhere Petri-Netze modelliert. Die modellierten Prozessschemata können um Prozesskennzahlen und für diese formulierte Toleranzbereiche ergänzt werden. Der Analysator dient zur Simulation der Prozessschemata und wird zur Validierung der modellierten Supply Chains eingesetzt. Im Zusammenhang mit dem Ausführen von so genannten Korrektur-Workflows ist insbesondere die Frage von Interesse, ob alle kritischen Prozesskennzahlen beschrieben worden sind und ob die modellierten Korrektur-Workflows zur Behebung der Verletzungen von Toleranzbereichen (Abweichung des Ist-Werts vom Soll-Wert einer Prozesskennzahl) innerhalb der Supply Chain ausreichend und korrekt sind. Beim Einsatz des Analysators werden zwei Simulationsstrategien unterschieden:

- Simulation der Supply Chain unter der Vorgabe, dass keine Korrektur-Workflows notwendig werden. Beim simulativen “Durchspielen“ der im Modeler beschriebenen Supply Chain dürfen nur solche Aktivitäten ausgeführt werden, deren Ergebnisse keine Zielvorgaben verletzen. Dazu muss der Analysator für jede Aktivität überprüfen, ob deren Durchführung bei gegebener Parametrisierung einen Korrektur-Workflow aktiviert. So kann beispielsweise überprüft werden, welche Prozesse innerhalb einer Supply Chain wann stattfinden müssen und welche Ergebnisse dabei erzeugt werden sollten, so dass alle für die spezifischen Prozesskennzahlen formulierten Toleranzbereiche eingehalten werden.
- Simulation mit Einbeziehung der vordefinierten Korrektur-Workflows. Durch das Durchführen bestimmter Aktivitäten und Teilprozesse in der Supply Chain werden Toleranzbereiche der modellierten Prozesskennzahlen verletzt. Die verknüpften Korrektur-Workflows werden in den Simulationsläufen auf ihre Wirkung hin validiert.

### 3 Architektur

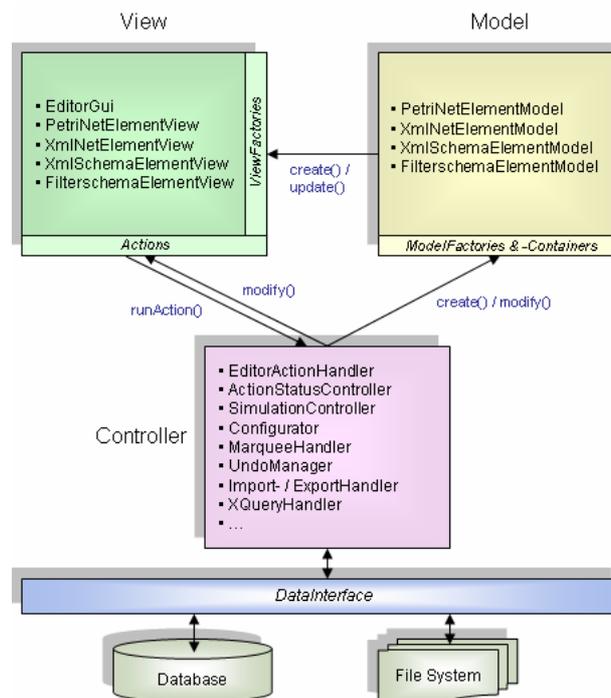
Das Softwarewerkzeug INCOME2010 ist mit dem Ziel der Wiederverwendbarkeit und Erweiterbarkeit komponentenorientiert aufgebaut und besteht aus einem *Modeler*, einem *ObjectSchemaEditor* und einem *Analysator* (vgl. Bild 1). Der Modeler dient zur graphischen Erstellung von Geschäftsprozess- und Organisationsmodellen. Der ObjectSchemaEditor ist eine XML-Netz-spezifische Komponente zum Erstellen und Editieren von XML-Netz-Objekten, wie XML-Schemata, Filterschemata und Transitionsinschriften. Der Analysator besteht aus einem *Verhaltensanalysator* und einem *Strukturanalysator*. Während der Verhaltensanalysator Prozessmodelle visuell simuliert und validiert, überprüft der Strukturanalysator strukturelle Eigenschaften der Petri-Netz-Modelle. Der Verhaltensanalysator besitzt einen *Testdatengenerator*, in den ein XML-Editor zum Erzeugen der Startmarkierungen eingebaut ist.



**Bild 1:** UML-basiertes Komponentendiagramm für die Architektur von INCOME2010

Durch einheitliche Schnittstellen können externe Werkzeuge oder Module integriert werden. Beispielsweise lässt sich ein Monitoring-Modul koppeln, welches den Simulationsvorgang durch Abbildung der aktuellen Werte von relevanten Prozesskennzahlen (z.B. Durchlaufzeiten, Prozesskosten) überwacht, die als XML-Dokumente modelliert und direkt in das XML-Netz eingebunden werden können [7].

Aus objektorientierter Sicht basiert INCOME2010 auf dem Entwurfsmuster *Model-View-Controller* (MVC) [8], einem Architekturmuster für interaktive Software-systeme, wobei die Systeme streng in Datenmodell (Model), Präsentation (View) und Systemsteuerung (Controller) aufgeteilt sind (vgl. Bild 2). Die View präsentiert dem Benutzer eine graphische Editoroberfläche (*EditorGui*) und eine Sicht auf die Objektdaten der Petri-Netz-, XML-Netz-, XML-Schema- und Filterschema-Element-Modelle. Die vom Benutzer aktivierten Ereignisse werden durch die Schnittstelle *Actions* abgefangen, welche daraufhin die entsprechenden Handler des Controllers aufrufen. Je nach Benutzerereignis modifiziert der Controller entweder die EditorGui direkt, oder er greift auf die Schnittstelle *ModelFactories & -Containers* des Models zu, um neue Modelle zu erstellen bzw. um existierende Modelle zu modifizieren. Nach der Erstellung bzw. Modifizierung der Modelle werden die entsprechenden Element-Views über die Schnittstelle *ViewFactories* erzeugt bzw. aktualisiert.



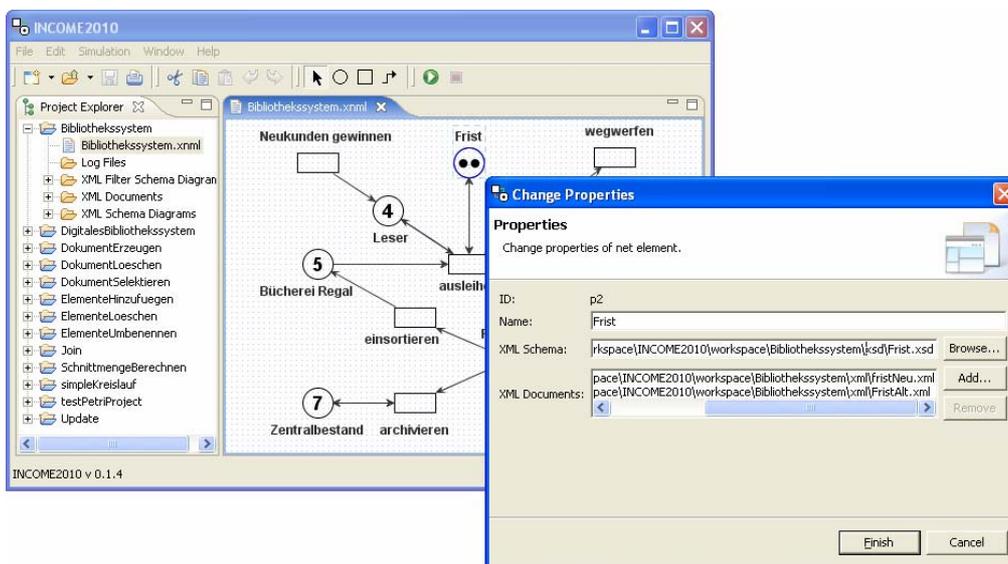
**Bild 2:** Architektur von INCOME2010 nach dem MVC-Entwurfsmuster

Die Datenzugriffe erfolgen ausschließlich durch den Controller über das *DataInterface*, welches das Werkzeug von konkreten Datenbank- bzw. Dateisystemen entkoppelt. Hierfür ist eine einheitliche und von der Datenquelle unabhängige Anfragesprache zu entwickeln, die gemäß konkreten und eingesetzten Datenbank- oder Dateisystemen durch das *DataInterface* geparsed wird. Aufgrund dessen ist das Werkzeug unabhängig von den

darunter liegenden Datenquellen und kann flexibel auf verschiedenen Datenhaltungssystemen aufgebaut werden.

## 4 Implementierung

Das Softwarewerkzeug wird zwecks Plattformunabhängigkeit komplett in Java entwickelt. Die in Bild 3 dargestellte GUI basiert auf den SWT- und JFace-Toolkits<sup>1</sup> von Eclipse und der Graphenbibliothek JGraph<sup>2</sup>. Anfragen auf XML-Schemata werden durch den *XQueryHandler* als XQuery[9]-Anfrage geparsed und daraufhin mit Hilfe von Saxon<sup>3</sup> ausgeführt. Zum Speichern und zum Austausch von XML-Netz-Modellen wurde ein XML-basiertes Austauschformat *XNML* als Erweiterung von PNML entwickelt, in dem neben den graphischen Informationen der Netzelemente (Position, Größe, Farbe etc.) auch XML-Netz-spezifische Informationen wie beispielsweise Transitionsinschriften und Pfade der Schemata gespeichert werden.



**Bild 3:** Graphische Oberfläche von INCOME2010

In der aktuellen Version des Werkzeuges wird eine teilautomatisierte Simulation von XML-Netz-Modellen durch einen *SimulationController* unterstützt, der beim Starten der Simulation prüft, welche Transitionen aktiviert sind. Die aktivierten Transitionen werden durch einen roten Rahmen gekennzeichnet und mit "enabled" beschriftet. Der Benutzer kann durch Anklicken mit der Maus eine der markierten aktivierten Transitionen schalten, woraufhin die entsprechenden XQuery-basierten Operationen auf den beteiligten XML-Dokumenten durchgeführt werden. Nach jedem Schalten wird ein entsprechender Eintrag im Simulationsbericht erzeugt und dann erneut geprüft, welche Transitionen nun aktiviert

<sup>1</sup> SWT (Standard Widgets Toolkit) und JFace sind Java-Bibliotheken zur Erstellung graphischer Benutzeroberfläche (GUI). <http://www.eclipse.org/swt>.

<sup>2</sup> JGraph ist eine Java-Bibliothek zur Visualisierung von Graphen. <http://www.jgraph.com/>.

<sup>3</sup> Saxon ist ein XSLT- und XQuery-Prozessor. <http://saxon.sourceforge.net/>.

sind. Zustandsveränderungen der am Schalten beteiligten Stellen werden direkt im Anschluss an das Schalten angezeigt, d.h. die Anzahl der enthaltenen Marken wird aktualisiert, so dass der Markenfluss graphisch verfolgt werden kann. Nach dem Ende der Simulation besteht die Möglichkeit, die Simulationsergebnisse (z.B. die erzeugten XML-Dokumente) persistent zu speichern.

## 5 Zusammenfassung

Der zunehmende Einsatz von web-basierten Informationssystemen hat eine Integration von Unternehmen mit ihren in der Supply Chain vor- und nachgelagerten Partnern in den letzten Jahren stark gefördert. Dadurch haben sich die Komplexität der wechselseitigen Verflechtungen und die Anzahl der Partner in der Supply Chain ständig erhöht. Die vorgestellte Methode sowie das prototypisch implementierte Modellierungs- und Simulationswerkzeug können einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Prozessmanagement im Rahmen von komplexen Supply Chains leisten. Die in den unterschiedlichen Simulationsexperimenten gewonnen Erkenntnisse führen neben der operativen Verbesserung des Managements der Supply Chain auf einer taktisch-strategischen Ebene auch zu einer mittel- bis langfristigen Erhöhung der Effektivität des gesamten Logistiknetzwerks.

## 6 Literatur

- [1] *Handfield, R. B.; Nichols, E. L. Jr.:* Introduction to the Supply Chain Management, Prentice Hall, 1999, S. 2.
- [2] *Oberweis, A.:* Modellierung und Ausführung von Workflows mit Petri-Netzen. Teubner-Reihe Wirtschaftsinformatik, B.G. Teubner Verlag, 1996.
- [3] *Mevius, M.; Oberweis, A.:* A Petri-Net Based Approach to Performance Management of Collaborative Business Processes, In: Proc. 16th Int. Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA'05), Copenhagen/Denmark, 2005, S. 987-991.
- [4] *Reisig, W.; Rozenberg, G. (Hrsg.):* Lectures on Petri Nets I: Basic Models. Lecture Notes in Computer Science Vol. 1491, Springer-Verlag, 1998.
- [5] *Desel, J.; Oberweis, A.:* Petri-Netze in der Angewandten Informatik: Einführung, Grundlagen und Perspektiven, in: Wirtschaftsinformatik, 38(4), 1996, S. 359-367.
- [6] *Lenz, K.; Oberweis, A.:* "Inter-organizational Business Process Management with XML Nets". In: Ehrig, H., Reisig, W., Rozenberg, G., Weber, H. (eds.): Advances in Petri Nets. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2472, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2003, S. 243-263.
- [7] *Mevius, M.; Pibernik, R.:* Process Management in Supply Chains - A New Petri-Net Based Approach, in: Proc. 37<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences, Maui/Hawaii, 2004.
- [8] *Glenn, E.; Krasner, S.; Pope, T.:* A Cookbook for using the Model-View-Controller Userinterface Paradigm in Smalltalk-80. ParcPlace Systems, 1988.
- [9] *Katz, H.; Chamberlin, D.; Draper, D.; Fernandez, M.; Kay, M.; Robie, J.; Rys, M.; Simeon, J.; Tivy, J.; Wadler, P.:* XQuery from the Experts: A Guide to the W3C XML Query Language. Addison-Wesley Professional, September 2003.