

# Der Einsatz von Petri-Netzen im INCOME/STAR- und INCOME/WF-Projekt

Andreas Oberweis<sup>\*</sup>, Roland Schätzle<sup>\*\*</sup>, Woffried Stucky<sup>\*\*</sup>,  
Wolfgang Weitz<sup>\*\*</sup>, Gabriele Zimmermann<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>J.W. Goethe-Universität Frankfurt/Main  
Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik II

Mertonstr. 17  
60054 Frankfurt/Main

<sup>\*\*</sup>Universität Karlsruhe  
Institut für Angewandte Informatik und Formale  
Beschreibungsverfahren  
Kollegiengebäude am Ehrenhof  
76128 Karlsruhe

E-mail: {oberweis|zimmermann}@wiwi.uni-frankfurt.de

E-mail: {schaetzle|stucky|weitz}@aifb.uni-karlsruhe.de

## Abstract

Dieser Übersichtsbeitrag beschreibt die Verwendung von Petri-Netzen in den beiden INCOME-Projekten im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms "Verteilte DV-Systeme in der Betriebswirtschaft". Im ersten Teilprojekt (INCOME/STAR, 1992-1995) wurde die kooperative Entwicklung und Wartung verteilter, datenbankgestützter Informationssysteme untersucht, im Nachfolgeprojekt (INCOME/WF, 1995-1997) die flexible Unterstützung betrieblicher Abläufe mit Workflow-Managementsystemen. Zentrale Idee beider Projekte ist es, Petri-Netze und semantische Datenmodellierung als integrierten Beschreibungsformalismus für die konzeptuelle Modellierung dynamischer und statischer Aspekte von Informationssystemen zu verwenden.

## 1 Einleitung

INCOME wurde von 1985 bis 1991 in einem von der DFG geförderten Forschungsprojekt als Methodensammlung und Werkzeug für die konzeptuelle Modellierung von datenbankgestützten Informationssystemen konzipiert und prototypmäßig implementiert [NOS92]. Das Modellierungskonzept basiert auf einer Integration von höheren Petri-Netzen (Prädikate/Transitionen-Netzen [GeL81]) zur Modellierung von Systemdynamik mit dem semantischen Datenmodell SHM [Bro84] zur Modellierung statischer Objektstrukturen. Rapid Prototyping [Sch89] wird eingesetzt, um konzeptuelle Objekt- und Ablaufmodelle zu validieren.

Dieser Artikel gibt eine kurze Übersicht über die in zwei Nachfolgeprojekten im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms "Verteilte DV-Systeme in der Betriebswirtschaft" entwickelten neuen Methoden und Anwendungen im Bereich der Petri-Netz-Modellierung und -Ausführung. Im abschließenden Kapitel wird ein kurzer Ausblick über geplante künftige Entwicklungen gegeben.

Aus Platzgründen kann hier nur ein grober Überblick über die entwickelten Konzepte gegeben werden, auf Veröffentlichungen mit ausführlicheren Beschreibungen wird an den entsprechenden Stellen im Text verwiesen. Postscript-Fassungen der meisten Publikationen aus den Projekten sind im WWW unter der URL <http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/InfoSys/INCOME> verfügbar.

## 2 Einsatzgebiete für Petri-Netze

### 2.1 Konzeptuelle Modellierung von Informationssystemen

Prädikate/Transitionen-Netze stellen eine natürliche Modellierungssprache für das Verhalten von datenbankgestützten Informationssystemen dar: die Prädikate (Stellen) in diesen Netzen repräsentieren Relationstypen, die mit Relationen (d.h. Mengen von Konstanten-Tupeln) markiert sein können. Die Transitionen beschreiben Klassen von Operationen auf den Eingangs- bzw. Ausgangsrelationen, das Schalten einer Transition die Ausführung einer konkreten Datenbankoperation, die sich aus mehreren atomaren Einfüge- bzw. Löschoperationen zusammensetzen kann.

Das Konzept der NR/T-Netze (**NF<sup>2</sup>-Relationen/Transitionen-Netze** [Obe96b, ObS96]) stellt die zentrale methodische Neuentwicklung des INCOME/STAR-Projekts dar. Dabei handelt es sich um eine Erweiterung von Prädikate/Transitionen-Netzen (Pr/T-Netzen), die es ermöglicht, verteilte Abläufe auf komplexen Objektstrukturen in integrierter Form zu modellieren. Die Erweiterung ist "aufwärtskompatibel", d.h. jedes Pr/T-Netz kann auch als spezielles NR/T-Netz interpretiert werden. Verfügbare Werkzeugunterstützung für NR/T-Netze kann also auch für bereits vorhandene Pr/T-Netze eingesetzt werden.

Bei der Verwendung herkömmlicher Pr/T-Netze kommt es immer dann zu Problemen, wenn diese in Kombination mit Datenmodellen eingesetzt werden, die auch komplexe Objektstrukturen zulassen. Es ist beispielsweise nicht möglich, Nebenläufigkeit auf komplex strukturierten Objekten zu beschreiben. Falls Dokumente (z.B. Büroformulare, Stücklisten, Vorgangsmappen, Spreadsheets) in Dateiform vorliegen, kann es aber durchaus vorkommen, daß unterschiedliche Sachbearbeiter gleichzeitig auf unterschiedliche Komponenten *desselben* Dokuments zugreifen.

Der wichtigste Unterschied in der graphischen Darstellung von NR/T-Netzen zu herkömmlichen Pr/T-Netzen ist die Verwendung sogenannter Filtertabellen als Kantenbeschriftung. Filtertabellen repräsentieren den Selektionsmechanismus für die beim Schalten von Transitionen zu entfernenden bzw. einzufügenden Objekte.

Es wurde weiterhin methodische Unterstützung zur schrittweisen Entwicklung komplexer Netzmodelle bereitgestellt. Damit soll ein allgemeiner Mangel im Petri-Netz-Bereich behoben werden,

der darin besteht, daß bisher zwar vielfältige Analyseverfahren entwickelt und untersucht, gleichzeitig aber die methodische Unterstützung der schrittweisen, evolutionären Entwicklung von Netzmodellen vernachlässigt wurde.

Die methodische Integration von NR/T-Netzen und semantischen Datenmodellen wird in [JOS94, Jae96] ausführlich beschrieben.

## **2.2 Beschreibung von Vorgehensmodellen zur Software-Entwicklung**

Während das Vorläuferprojekt INCOME nur implizit ein Vorgehensmodell für die Systementwicklung vorsah, bietet INCOME/STAR eine explizite Vorgehensmodell-Unterstützung im Sinne einer rechnergestützten Koordination von Tätigkeiten und Verwaltung von Resultaten (Dokumenten) an [SOS93]. Dazu werden Entwicklungsaktivitäten als höhere Petri-Netze (die um spezielle, leicht verständliche graphische Symbole für Software-Entwicklungsprozesse angereichert worden sind) und die entstehenden Dokumente als Schemata im semantisch-hierarchischen Objektmodell SHM spezifiziert.

Standardmäßig enthält INCOME/STAR Netze, die das Vorgehensmodell ProMISE (*Process Model for Information Systems Evolution*) [SOS94] abbilden. ProMISE ist speziell für die Systementwicklung mit INCOME/STAR konzipiert. Es basiert im wesentlichen auf den in INCOME/STAR verwendeten Methoden, die in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht und durch neue Konzepte ergänzt wurden. Prinzipiell ist es aber auch möglich, andere Vorgehensmodelle mit den o.g. Beschreibungskonzepten zu modellieren.

Weiterhin unterstützt die Vorgehensmodellkomponente in INCOME/STAR ein manuelles Tailoring (= Anpassung des Vorgehensmodells an projektspezifische Gegebenheiten), wobei die Auswirkungen dieser Veränderungen zunächst mit Hilfe eines Petri-Netz-Interpreters simuliert und untersucht werden können.

## **2.3 Simulation**

Simulation in INCOME/STAR unterstützt eine evolutionäre Vorgehensweise zur Systementwicklung: Eine vorläufige und zunächst (möglicherweise) noch unvollständige Spezifikation des Systemverhaltens ist als Menge von Petri-Netz-Fragmenten gegeben, die mittels Simulation überprüft und bei Bedarf verbessert bzw. erweitert werden können. Eine anwendungsnahe Visualisierung von Petri-Netzen und Markierungen mittels Icons (Piktogrammen) erwies sich als eine für Informatik-Laien recht brauchbare Darstellungsvariante von Petri-Netzen.

Zusätzlich zur interaktiven Auswahl der durch den Simulator zu schaltenden Transitionen durch den Benutzer kann die Auswahl entsprechend einer vorzugebenden Strategie erfolgen. Es können somit

automatisch Markierungsfolgen erzeugt und zu Analysezwecken in einer Simulationsdatenbank abgelegt werden.

Als Besonderheit wurde die graphische Anfragesprache für Simulationsdatenbanken GTL (*Graphical Temporal Language*) entwickelt und formal spezifiziert [Obs94, Sän96]. Die Notwendigkeit solcher Anfragemöglichkeiten zeigte sich, als in automatisch erzeugten Simulationsläufen umfangreiche Markierungsfolgen, bestehend aus Tausenden von Markierungen, erzeugt wurden. Jede dieser Markierungen wurde - mit einer Zeitmarke versehen - in der Simulationsdatenbank abgespeichert. Ein manuelles "Browsen" durch die Datenbank zur Validierung des Simulationslaufes war wegen deren Größe nicht mehr praktikabel. Die direkte Formulierung von Anfragen in SQL an die "zeitbehafteten" Daten erwies sich als sehr umständlich, da Standard-SQL nur bescheidene Möglichkeiten zur Behandlung von Zeitaspekten bereitstellt. Die von uns entwickelte graphische Anfragesprache ist demgegenüber nicht nur leicht verständlich, sondern hat auch den Vorteil, daß temporale Aspekte in anschaulicher Weise dargestellt werden können.

## **2.4 Modellierung schwach strukturierter Kommunikationsabläufe**

Die Entwicklung von Informationssystemen stellt bekanntermaßen eine komplexe Aufgabe dar, die an die Projektbeteiligten hohe Anforderungen stellt. Diese Anforderungen ergeben sich aus der ständig zunehmenden Informationsflut, die verarbeitet werden muß, und aus der fortschreitenden Spezialisierung der einzelnen Mitarbeiter. Um dennoch eine effiziente, *kooperative* Systementwicklung zu gewährleisten, ist eine geeignete Unterstützung der gemeinsamen Arbeit der Projektbeteiligten bereitzustellen. Die methodischen Grundlagen einer solchen Unterstützung und deren Umsetzung in entsprechende Werkzeuge sind Bestandteil des Forschungsgebietes CSCW (Computer-Supported Cooperative Work).

Im Rahmen des INCOME/STAR-Projektes wurde zunächst die Eignung verschiedener CSCW-Ansätze untersucht, die die individuelle Unterstützung der einzelnen Mitarbeiter unter Berücksichtigung der jeweiligen Gruppenziele ermöglichen sollen. Ausgehend von dieser Untersuchung wurde auf konzeptioneller Ebene ein Multi-Agenten-Ansatz namens RoCoMan (*Role Collaboration Manager*) entwickelt, der jeden Projektbeteiligten rollenspezifisch in seiner Entwicklungstätigkeit unterstützt. Ausgehend von diesen Rollenbeschreibungen ist jeder Projektbeteiligte in der Lage, seine Arbeitsumgebung in RoCoMan rollenspezifisch zu benutzen und diese gegebenenfalls anzupassen. Daneben ermöglicht RoCoMan auf Basis dieser Rollen die Unterstützung von Gruppenprozessen, wie z.B. die Durchführung von Problemlösungsprozessen mittels strukturierter Konversationen, und die Verwaltung der Zugriffsberechtigung bezüglich gemeinsamer Daten.

Ausgehend von diesem Gesamtkonzept wurde die Möglichkeit zur Unterstützung einer projektspezifischen Kommunikation untersucht, die auf allgemeinen Kommunikationsverläufen aufbaut. Als Ergebnis wurde ein Schichtenmodell der Kommunikation entwickelt, das ausgehend von elementaren Kommunikationseinheiten die Erstellung von allgemeinen Kommunikationsschemata und deren weitergehende Spezialisierung zu projektspezifischen Kommunikationsschemata ermöglicht. Dieses Schichtenmodell wird in RoCoMan für die Darstellung verschiedener Kommunikationsaspekte verwendet, wie z.B. die Kommunikation zwischen den Agenten.

Für den Bereich der Kommunikation wurde das Kommunikationsmodell MICONOS (*Model of Integrated COmmunicatioN Oriented NR/T-NetS*) konzipiert [OWS94, Wen96]. Aufbauend auf MICONOS wurde ein Prototyp implementiert, der auf Basis von sogenannten Konversationsdiagrammen die Durchführung einer E-Mail-basierten, sprechaktororientierten Kommunikation ermöglicht. Konversationsdiagramme basieren auf höheren Petri-Netzen, die mit Hilfe der in INCOME/STAR verfügbaren Tools nach einem entsprechenden Transformationsvorgang bearbeitet werden können.

## **2.5 Workflow-Management**

Seit April 1995 werden die Arbeiten des INCOME/STAR-Projektes im Nachfolgeprojekt "Flexibles Management verteilter, kooperativer betrieblicher Abläufe" mit etwas geänderter Zielrichtung im Hinblick auf den betrieblichen Einsatz von Workflow-Managementsystemen fortgeführt.

Ausgangspunkt dieses Projektes ist die Erkenntnis, daß einer flexiblen Anpassung betrieblicher Abläufe an veränderte Umweltbedingungen oder neue Markterfordernisse oftmals starre Ablaufstrukturen betrieblicher Anwendungssysteme gegenüberstehen. Daran haben Methoden und Vorgehensmodelle des Information Systems Engineering bisher nur wenig geändert. Abläufe sollten künftig nicht mehr - wie bisher - in den Anwendungssystemen "fest verdrahtet", sondern in einem flexiblen Ablaufschema modelliert werden, das als Grundlage für die Ablaufplanung, -überwachung und -steuerung dient. Im Rahmen dieses Projektes wird der Prototyp eines Benutzerarbeitsplatzes für ein Workflow-Management-System (INCOME/WF) implementiert. Die dabei zugrundegelegten Konzepte werden ausführlich in [Obe96a, Obe96b] beschrieben. Petri-Netze werden in INCOME/WF als durchgängige Beschreibungssprache für Workflows verwendet. Für die Workflow-Ausführung kann ein Petri-Netz-Interpreter verwendet werden, der an entsprechende Anwendungssysteme gekoppelt wird. Spezielles Augenmerk wird in INCOME/WF auf die Unterstützung schwach strukturierter Abläufe gerichtet, da diese von konventionellen Workflow-Managementsystemen oft nur unzureichend berücksichtigt werden.

## 2.6 Kooperatives Bearbeiten von Petri-Netzen

Da realistische Petri-Netz-Modelle komplexer Abläufe schnell eine Größe und damit Komplexität erreichen, die von einem einzelnen Entwickler nur schwer bewältigt werden können, wurde im INCOME/WF-Projekt an der Entwicklung einer adäquaten Werkzeugunterstützung zur kooperativen Bearbeitung von Petri-Netzen gearbeitet. Aufbauend auf Erfahrungen mit dem GAPS-System [OSW94], das im Rahmen von INCOME/STAR entstand, wurde dessen Nachfolger GAPS++ [Wei96] als verteilte Objektanwendung implementiert, bei der Objektdienste zur Erzeugung und Haltung von Daten (Petri-Netze, Netz-Layouts etc.) einerseits und darauf operierende Anwendungs-Objekte (Netz-Editoren, Analyse- und Visualisierungsprogramme etc.) andererseits auf verschiedene Rechnerknoten verteilt laufen können.

GAPS++ ist als offenes „Baukastensystem“ für die Arbeit mit Petri-Netzen ausgelegt. Eine Erweiterung durch Hinzufügen neuer Komponenten auch zum laufenden System ist jederzeit möglich. Über einen Objektverzeichnis-Service kann abgefragt werden, auf welchem Rechnerknoten ein gewünschter Objektdienst angeboten wird und welche Objekte von diesem Dienst instanziiert wurden. Für den Anwender steht auch ein graphischer Browser bereit, der eine globale Sicht aller verteilten Objekte anbietet. Dies schließt reine Daten-Objekte mit ein; der Anwender kann also beispielsweise durch Auswählen einer laufenden Editor-Sitzung im Browser feststellen, welches Petri-Netz-Objekt dort gerade bearbeitet wird, und sich durch Anklicken des Namens dieses Petri-Netzes selbst die einzelnen Netzbestandteile (Stellen/Transitionen/Kanten, ggf. mit Inschriften) zeigen lassen. Die gleichen Informationen lassen sich auch über einen gewöhnlichen WWW-Browser über eine Web-Schnittstelle des Verzeichnisdienstes abrufen.

Der Netz-Editor ist das zentrale Anwendungsobjekt. Er gestattet ein kooperatives Editieren von Petri-Netzen durch beliebig viele Anwender, die sich flexibel zu einer laufenden Editorsitzung (EditorSession-Objekt) mit Hilfe einer graphischen Benutzungsoberfläche (EditorView-Objekt) von einem entfernten Rechner aus dazuschalten und wieder daraus abmelden können. Unter Einbeziehung eines Videokonferenzsystems (CU-SeeMe) wurde im Rahmen von INCOME/WF das gemeinsame Bearbeiten eines Petri-Netzes zwischen einem Frankfurter und einem Karlsruher Projektmitarbeiter erfolgreich erprobt.

## 3 Ausblick

### 3.1 Das INCOME/WWW-Projekt

In [LeO96] werden neue Probleme im Zusammenhang mit der Modellierung und Ausführung betrieblicher Abläufe in öffentlichen Weitverkehrsnetzen untersucht. Ziel des INCOME/WWW-Projektes ist die Konzipierung und prototypmäßige Bereitstellung von Methoden und Werkzeugen für die Entwicklung und Wartung von multimedialen, workflowbasierten Informationssystemen in öffentlichen Weitverkehrsnetzen.

Für alle Phasen der Systementwicklung soll Unterstützung bereitgestellt werden. Es ist geplant, eine Integration bestehender "konventioneller" Datenbestände sowie existierender bewährter Software-Komponenten zu ermöglichen. Neben einem evolutionären Vorgehensmodell zur Systementwicklung sollen Modellierungskonzepte für Daten- und Ablaufstrukturen zur Verfügung gestellt werden, die den Anforderungen einer global verteilten, hypermedialen Informationsstruktur gerecht werden. Auch hierbei ist der Einsatz höherer Petri-Netze beabsichtigt. Basierend auf Konzepten aus dem Bereich der verteilten Datenbanken sollen Strategien zur effizienten Datenhaltung und Operationsausführung in öffentlichen Weitverkehrsnetzen untersucht und bereitgestellt werden.

### 3.2 Das VIP-Projekt

In [DeO94] werden Vorschläge für neuartige, auf partiell geordneten Abläufen in Petri-Netzen basierende Konzepte der Validierung und Verifikation verteilter Informationssysteme skizziert. Diese Konzepte werden seit 1995 in dem Projekt "Verifikation von Informationssystemen durch Auswertung halbgeordneter Petrinetz-Abläufe: theoretische Untersuchungen, Methodik und Werkzeuge (VIP)" untersucht.

Die Verifikation von Informationssystemen bzw. ihrer formalen Modelle durch Simulation scheidet oft an der Nicht-Beherrschung der großen Zahl verschiedener Ausführungsfolgen. Dies gilt verstärkt für verteilte Informationssysteme: Die Anzahl der Abläufe wächst dort i.a. exponentiell mit dem Grad der Nebenläufigkeit. Die systematische Konstruktion und Analyse der entsprechend den Kausalitätsbeziehungen halbgeordneten Abläufe hilft, dieses Problem zu überwinden.

In diesem Projekt werden Modelle von Informationssystemen und ihre Abläufe durch höhere Petri-netze beschrieben. Für die Formulierung von geforderten dynamischen Systemeigenschaften wird eine anschauliche graphische Spezifikationsprache entwickelt, deren Ausdrücke im Netzmodell integriert sind. Ziel des Projektes ist es, - im Rahmen einer Methodik zur evolutionären Informationssystementwicklung - werkzeugunterstützt Systemeigenschaften formulieren zu können und diese (halb-)automatisch durch Simulation und Analyse der Abläufe zu validieren bzw. verifizieren.

## Literatur

- [Bro84] M.L. Brodie: On the development of data models, in: M.L. Brodie, J. Mylopoulos, J.W. Schmidt (Hrsg.): On Conceptual Modelling, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1984, S. 19-47
- [DeO94] J. Desel, A. Oberweis: Verifikation von Informationssystemen durch Auswertung halbgeordneter Petrinetz-Abläufe: Theoretische Untersuchungen, Methodik und Werkzeug - eine Projektübersicht, Universität Karlsruhe, Institut AIFB, Forschungsbericht 324, Karlsruhe, Okt. 1995
- [GeL81] H.J. Genrich, K. Lautenbach: System modelling with high level Petri nets, *Theoretical Computer Science*, 13, 1981, S. 109-136
- [Jae96] P. Jaeschke: Integrierte Unternehmensmodellierung - Techniken zur Informations- und Geschäftsprozeßmodellierung, Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Karlsruhe, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1996
- [JOS94] P. Jaeschke, A. Oberweis, W. Stucky: Deriving complex structured object types for business process modelling, in: Loucopoulos, P. (Hrsg.): Proc. 13th International Conference on the Entity-Relationship Approach ER94, Business Modelling and Re-Engineering, Manchester/Großbritannien, Springer-Verlag, Dez. 1994, S. 28-45
- [LeO96] K. Lenz, A. Oberweis: Modellierung und Ausführung verteilter betrieblicher Abläufe in öffentlichen Weitverkehrsnetzen, in: Softwaretechnik für Kommunikationssysteme, Reihe 10: Informatik/Kommunikationstechnik, Nr. 439, VDI-Verlag, 1996, S. 146-160
- [NOS92] T. Németh, A. Oberweis, F. Schönthaler, W. Stucky: INCOME: Arbeitsplatz für den Programmwurf interaktiver betrieblicher Informationssysteme, Universität Karlsruhe, Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren, Forschungsbericht 251, Karlsruhe, Aug. 1992
- [Obe96a] A. Oberweis: Modellierung und Ausführung von Workflows mit Petri-Netzen, B.G. Teubner-Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1996
- [Obe96b] A. Oberweis: An integrated approach for the specification of processes and related complex structured objects in business applications, *Decision Support Systems*, 17, 1996, S. 31-53
- [ObS94] A. Oberweis, V. Säger: GTL - a graphical language for temporal data, in: Proc. Seventh International Working Conference on Scientific and Statistical Database Management, Charlottesville/Virginia, Sept. 1994, S. 22-31
- [ObS96] A. Oberweis, P. Sander: The specification of complex object behaviour by high-level Petri nets, *ACM Transactions on Informations Systems*, 1996, S. 380-420
- [OSS94] A. Oberweis, G. Scherrer, W. Stucky: INCOME/STAR: Methodology and tools for the development of distributed information systems, *Information Systems*, Vol. 19 (8), 1994, S. 641-658
- [OSW94] A. Oberweis, V. Säger, W. Weitz: GAPS - a multiuser tool for graphical simulation of Petri nets, in: J. Halin, W. Karplus, R. Rimane (Hrsg.): Proc. First Joint Conference of International Simulation Societies, Zürich, Aug. 1994, S.377-381
- [OWS94] A. Oberweis, T. Wendel, W. Stucky: Teamwork coordination in a distributed software development environment, in: B. Wolfinger (Hrsg.): Innovationen bei Rechen- und Kommunikationssystemen, Informatik aktuell, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1994, S. 423-429
- [Sän96] V. Säger: Eine grafische Anfragesprache für temporale Datenbanken, Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Karlsruhe, Shaker Verlag, Aachen, 1996
- [Sch89] F. Schönthaler: Rapid Prototyping zur Unterstützung des Konzeptuellen Entwurfs von Informationssystemen, Dissertation, Universität Karlsruhe, Institut für Angewandte In-



formatik und Formale Beschreibungsverfahren, Jan. 1989

- [SOS93] W. Stucky, A. Oberweis, G. Scherrer: Process model support for the development of information systems. In: J. Niedereichholz, W. Schuhmann (Hrsg.): Wirtschaftsinformatik - Beiträge zur modernen Unternehmensführung, Campus-Verlag, Frankfurt, New York, 1993, S. 145-165
- [SOS94] G. Scherrer, A. Oberweis, W. Stucky: ProMISE - a process model for information system evolution, in: Proc. Third Maghrebian Conference on Software Engineering and Artificial Intelligence, Rabat/Marokko, Apr. 1994, S. 27-36
- [Wei96] W. Weitz: GAPS++: Ein verteiltes Petri-Netz-Werkzeug, in: J. Desel, E. Kindler, A. Oberweis (Hrsg.): 3. Workshop Algorithmen und Werkzeuge für Petrinetze, Tagungsband, Universität Karlsruhe, Institut AIFB, Forschungsbericht 341, Karlsruhe, Okt. 1996, S.77-82
- [Wen96] T. Wendel: Computerunterstützte Teamarbeit. Konzeption und Realisierung eines Teamarbeitssystems, Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Universität Karlsruhe, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1996