

Vernetzt-kooperative Planung mit Computern - Grundlagen und Methoden der Bauinformatik -

Udo F. Meißner, Uwe Rüppel

Technische Universität Darmstadt
Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen
Petersenstraße 13, 64287 Darmstadt, Deutschland
E-Mail: sekretariat@iib.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

In Anbetracht der leistungsstarken Computernetzwerke und der intensiven Globalisierung von Wissenschaft und Technik im Bauwesen ist es das Ziel der Bauinformatik, die Planungsprozesse des Konstruktiven Ingenieurbaus für die Nutzung verteilter Ressourcen zu gestalten, geeignete Kooperationsmodelle für die Fachplanung im Informationsverbund der Projektbeteiligten zu entwickeln und die kooperative Projektbearbeitung unter Nutzung verteilter Fachmodelle in Netzen zu ermöglichen. Dazu werden neue methodische Grundlagen geschaffen, welche die tiefgreifenden Veränderungen der Arbeits- und Organisationsstrukturen berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund zeigt der Beitrag aktuelle Forschungsinhalte der Bauinformatik auf, die insbesondere im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1103 „Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau“ von verschiedenen Projekten arbeitsteilig entwickelt werden. Es wird ein integratives Prozessmodell vorgestellt, das die Grundlage für die Unterstützung der vernetzt-kooperativen Planung mit modernen Methoden der Informationsverarbeitung und Kommunikationstechnik zusammenführt. An einem Beispiel aus dem baulichen Brandschutz werden die methodische Ansätze der Prozessmodellierung mit Petri-Netzen und der mobilen Softwareagenten zur Unterstützung der Kooperation in der Fachplanung des Bauwesens dargestellt und erläutert.

1 Einführung

In der Planung des Konstruktiven Ingenieurbaus sind die Bearbeitungsprozesse in hohem Maße arbeitsteilig organisiert. Geplant und hergestellt werden überwiegend individuell gestaltete Bauwerke, die als Unikate von Grund auf neu entworfen und gestaltet werden. Die Organisation für spezielle Projekte besteht meistens aus vielen selbständigen Planungspartnern, die örtlich verteilt spezifische Planungsaufgaben bearbeiten. Daraus resultieren für das Management der Projekte sehr komplexe und aufwendige Abstimmungsprozesse, um die Konsistenz der Planung und die Qualität des Herstellungsproduktes abzusichern. Die ökonomischen Bedingungen der globalisierten

Wirtschaft verschärfen die dabei herrschende Wettbewerbssituation. Hinzu kommen flexible Anforderungen an die Auslegung und Nutzung der Gebäude, die sich in der Gestaltung und der technischen Ausstattung niederschlagen. Bereits in frühen Planungsphasen sind niedrige Betriebskosten und ressourcenschonende Bauverfahren wichtige Zielfunktionen. Diese Rahmenbedingungen erfordern die Evolution traditioneller Prozessstrukturen und Kooperationsformen unter Einsatz leistungsfähiger Software-Methoden und angepasster Hardware-Ressourcen.

Aus der globalen Verfügbarkeit von leistungsstarken Computernetzen und mobilen Endgeräten ergeben sich für die Neugestaltung der Kooperation in der Planung viel versprechende neue Möglichkeiten zur besseren Vernetzung der Planungspartner und zur effektiven Koordination der Arbeitsabläufe des Konstruktiven Ingenieurbaus. Um dafür die ingenieurmäßigen und informationstechnischen Grundlagen zu erforschen, fördert die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) seit dem Jahre 2000 mit dem Schwerpunktprogramm 1103 „Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau“ [DFG 2000] zurzeit 13 Forschungsprojekte. Diese verfolgen unterschiedliche Ansätze und entwickeln innovative Methoden, die in Zukunft für die rechnergestützte kooperative Arbeit der Fachplaner benötigt werden. Hierbei werden die Forschungsarbeiten in vier Arbeitsgruppen mit thematisch und methodisch verwandten Zielen koordiniert. Diese Arbeitsgruppen beschäftigen sich mit der netzwerkgerechten Produktmodellierung, der netzwerkbasierten Prozessmodellierung, der verteilten Simulation in Netzen und der Nutzung von Softwareagenten im Bauwesen. Im Folgenden sollen die Ziele und Ansätze des Schwerpunktprogramms anhand eigener Forschungskonzeptionen erläutert und mit einem ausgewählten Anwendungsbeispiel aus der Baupraxis veranschaulicht werden.

2 Prozessmodellierung

Als vernetzt-kooperative Ingenieurplanung wird das arbeitsteilige Zusammenwirken der Fachplaner über Computernetze zur zielgerichteten Erfüllung der Planungsaufgaben bezeichnet. Die beteiligten Fachplaner verfügen dabei über spezialisierte Kompetenzen. Diesbezüglich sind die einzelnen Planungsaktivitäten auf Informationen der anderen Planungsbeteiligten angewiesen. Da die Dauer bei Bauprojekten begrenzt ist, muss die Aufgabe arbeitsteilig und teilweise gleichzeitig in Kooperation durchgeführt werden. Allgemein wird Kooperation als die Zusammenarbeit mehrerer Gruppen, Personen und Organisationen in einem Team an einem gemeinsamen Material und auf ein gemeinsames Ziel hin bezeichnet [Rüppel/Theiß 2000]. In der Ingenieurplanung werden von der heterogenen Bauprojektorganisation gemeinsam Dokumente, Pläne und Modelle mit dem Ziel erstellt, ein virtuelles Bauwerk im Sinne von Handlungsanweisungen für das real zu erstellende Gebäude zu entwickeln. Die beteiligten Personen werden dabei als Akteure bezeichnet. Die Typisierung eines Akteurs im Hinblick auf die für die Aufgabenerledigung erforderlichen Eigenschaften, wie z. B. Wissen, Rechte, Pflichten und Fähigkeiten, wird als Rolle bezeichnet. Dadurch können in der Ingenieurplanung erforderliche Rollen unabhängig von den tatsächlich beteiligten Personen und Organisationen spezifiziert werden.

Die Kooperation kann implizit durch die Arbeit am gemeinsamen Material oder explizit durch den bewussten Austausch von Informationen im Sinne einer Konversation erfolgen. Die Kooperation kann einerseits hinsichtlich des Ortes klassifiziert werden: Sie wird als zentral bezeichnet, wenn alle Beteiligten am selben Ort arbeiten und als verteilt, wenn die Beteiligten an verschiedenen Orten agieren. Andererseits kann eine Klassifikation hinsichtlich der Zeit erfolgen: Die Kooperation wird als synchron bezeichnet, wenn die Planungsaktivitäten gleichzeitig zusammen in genau einem Bereich des gemeinsamen Materials erfolgen. Dies

wird auch als wechselseitige Kooperation bezeichnet. Diese Art der Kooperation erfolgt meistens bei Planungskonflikten. Als synchrone Kooperation wird auch das parallele Arbeiten, d. h. die gleichzeitige Bearbeitung verschiedener Teile des gemeinsamen Materials, bezeichnet. Hierzu ist eine vorherige Aufteilung des gemeinsamen Materials in einzelne, voneinander unabhängig zu bearbeitende Arbeitsbereiche erforderlich. Die Kooperation wird als asynchron bezeichnet, wenn die Bearbeitung der zugewiesenen Teilaufgaben nacheinander im Sinne eines sequentiellen Arbeitsflusses zu unterschiedlichen Zeiten erfolgt.

Für die Kooperation ist eine Kommunikation zwischen den Planungsbeteiligten erforderlich. Als Kommunikation wird der reine Austausch von Informationen zwischen den Planungspartnern zum Zwecke der Verständigung bezeichnet [Klingenberg/Kränzle 1983]. Die Kommunikationsform beschreibt das Darstellungsmittel, mit dessen Hilfe Informationen ausgedrückt werden, wie z. B. verbal (Text, Grafik etc.) und symbolisch (Gestik, Mimik etc.). Als Kommunikationsmittel wird das Medium zur Überwindung der räumlichen und/oder zeitlichen Distanz bezeichnet. Grundsätzlich ist zu beachten, dass Kommunikation für die Kooperation eine notwendige Voraussetzung ist [Piepenburg 1991].

Die Planungstätigkeiten auf dem gemeinsamen Material in der Ingenieurkooperation stehen oftmals in Konkurrenz, d. h. die individuellen Ziele der Beteiligten stehen im Konflikt zueinander. Für die Lösung dieser Planungskonflikte ist eine Koordination erforderlich. Die Koordination besteht aus der Abstimmung konkurrierender Planungstätigkeiten mit dem gemeinsamen Material und der Verwaltung der Abhängigkeiten zwischen den aufgabenbezogenen Tätigkeiten.

Die Kooperation mithilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zwischen räumlich verteilten Organisationen sowie Organisationseinheiten wird als Telekooperation bezeichnet [Reichwald 1998], welche Software-gestützte Koordinationsmechanismen unterschiedlicher Automatisierung und Granularität in Bezug auf die Planungszustände, die Planungsaktivitäten und den Fluss der Planungsinformationen erfordert. Daher ist es das Ziel der aktuellen Forschung der Bauinformatik, eine grundlegende Strukturierungssystematik für die vernetzt-kooperativen Planungsprozesse des Konstruktiven Ingenieurbaus zu finden, diese mit mathematischen Methoden abzubilden und geeignete Software-Methoden und -Werkzeuge zur Darstellung, Simulation und Verwaltung der Planungsprozesse zu entwickeln. Grundlage hierfür ist die Verfügbarkeit eines holistischen Prozessmodells, das die maßgeblichen Prozesselemente konsistent integriert. Ein solches integratives Prozessmodell wurde in [Meissner 2002] skizziert und verfolgt die in [Scheer 1998], [Hollingsworth 1995] und [Damrath 2002] dargestellten Konzepte auf der Basis von Petri-Netzen [Petri 1962]. Im Folgenden wird dieser Ansatz vorgestellt und mit seinen Elementen näher erläutert.

2.1 Ein Integratives Prozessmodell

Das Integrative Prozessmodell besteht aus vier Ebenen (Abbildung 1). Die Forschungsprojekte des oben vorgestellten DFG-Schwerpunktprogramms 1103 leisten im Sinne der Zielsetzung des gesamten Schwerpunktprogramms zu einer oder mehrerer dieser Ebenen Beiträge.

**Dynamische Kommunikation
(Mobile Objekte)**

**Organisation
(Akteure/Rollen)**

**Koordination
(Petri-Netze)**

**Ressourcen
(Modelle, Wissen, Methoden)**

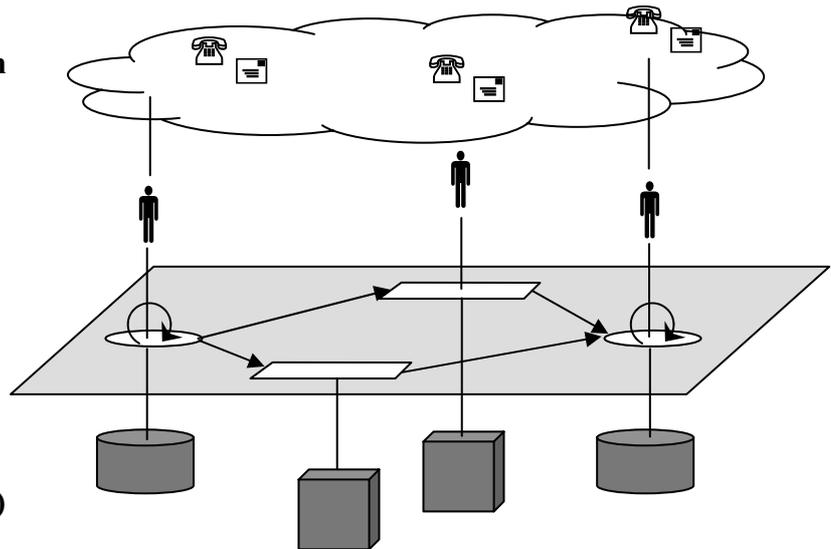


Abbildung 1: Integratives Prozessmodell

Die *Ressourcen-Ebene* umfasst die Modelle, das Wissen und die Verarbeitungsmethoden, die zur Ausführung der Planungsvorgänge benötigt werden. Sie stellt netzwerkgerechte Methoden und Werkzeuge zur Speicherung und Manipulation von Objekten mit deren spezifischen Zuständen in den verschiedenen Planungsphasen als Grundlage für das vernetzkooperative Arbeiten zur Verfügung. Ziel der Arbeitsgruppe „Verteilte Produktmodelle“ ist die Entwicklung und Bereitstellung fachspezifischer Produktmodelle und der zugehörigen Verarbeitungsmethoden für die verteilte Nutzung im Verbund der Planungspartner. Für die Prognose von Systemreaktionen unter speziellen Einwirkungen und Randbedingungen sind Modellierung und Simulation integrale Bestandteile des Planungsprozesses. Dementsprechend entwickelt die Arbeitsgruppe „Verteilte Simulation“ geeignete Simulationsmodelle und -methoden für komplexe Ingenieursysteme, die von den verteilten Planungspartnern im Verbund betrieben und genutzt werden können.

Die *Koordinationsebene* dient zur Modellierung und Ablaufsteuerung der Arbeitsvorgänge und des Informationsflusses. In dieser Ebene werden die zeitabhängigen Planungsaktivitäten und Informationszustände erfasst. Mit mathematischen Modellen der Prozessmodellierung werden die Abfolge und die Synchronisation der sequentiellen, iterativen und nebenläufigen Arbeitsvorgänge geregelt. Aufgrund der zugrunde liegenden mathematischen Struktur werden hierfür gegenwärtig bevorzugt Petri-Netze untersucht [Damrath/König 2002] [Rüppel et al. 2002a] [Klinger/König 2002], deren vielfältige Repräsentations- und Simulationseigenschaften im Nachfolgenden detailliert dargestellt werden.

In der *Organisationsebene* werden die beteiligten Fachplaner bzw. deren Repräsentation abgebildet, soweit sie die Hoheit über die Zustände des Prozessmodells innehaben und bei den Arbeitsvorgängen des Prozessmodells mitwirken. Mithilfe wohl definierter Rollen werden in dieser Ebene die Rechte und Fähigkeiten der Fachorganisationen des Konstruktiven Ingenieurbaus erfasst und mit den Modellen und Verarbeitungsmethoden der Ressourcen-Ebene verknüpft. Ziel dieser Ebene ist die Integration von fachlichen Entscheidungen und Handlungskompetenzen, die letztendlich für eine rechtssichere Bauplanung von maßgebender Bedeutung sind. Zur Unterstützung der am Planungsprozess beteiligten Fachplaner können hier insbesondere auch Softwareagenten assoziiert werden und Überwachungs- und Handlungsaufgaben übernehmen, um so im Kommunikationsverbund zu agieren [Hartmann/Bilek 2003] [Cremers et al. 2003] [Meißner et al. 2003].

Über die *Kommunikationsebene* werden die dynamischen Nachrichtenverbindungen moderner Kommunikationsnetze in die Prozessmodellierung einbezogen. Hierbei sind insbesondere alle Wahlverbindungen zu beachten, die für die Informationsübertragung dynamisch geschaltet werden können und für deren Einbindung auf der Koordinationsebene entsprechende Ereignisbeobachter vorgesehen werden müssen. Das Bauwesen ist durch einen sehr hohen Grad an Arbeitsteilung und Heterogenität der Planungsorganisation gekennzeichnet. Daher ist es notwendig, in diese Ebene die spezifische Projektkommunikation einzubinden, die über digitale Dokumente und Modelle bis hin zum Einsatz mobiler Softwareagenten stattfindet.

Im Schwerpunktprogramm werden hierfür insbesondere die Möglichkeiten der Steuerung durch die Verwendung von Planungs-Meta-Informationen und durch ein zentrales Prozessmanagement zwischen lokalen Prozessdomänen untersucht. Zur Erprobung dieses integrativen Prozessmodells und damit zur Unterstützung der kooperativen Fachplanung in Computer-netzen entwickelt die Bauinformatik die erforderlichen fachspezifischen Grundlagen und Methoden. Dafür sind sowohl Grundlagen der Informatik und Mathematik als auch fundierte natur- und ingenieurwissenschaftliche Kernkompetenzen unabdingbare Voraussetzungen.

2.2 Prozessmodellierung mit Petri-Netzen

Wesentlicher Bestandteil des integrativen Prozessmodells ist die Methodik zur mathematischen Modellierung der Planungsprozesse, die in Aktivitäten, Zustände und deren Beziehungen strukturiert werden. Die Arbeitsgruppe „Verteiltes Prozessmodell“ verfolgt daher im Rahmen des Schwerpunktprogramms das Ziel, eine formale Beschreibung der Planungsprozesse des Konstruktiven Ingenieurbaus zu entwickeln und gemeinsam mit den beteiligten Forschungsprojekten zu erproben.

Unterschiedliche Modellierungsmethoden wie die Petri-Netze [Petri 1962], die Unified Modeling Language (UML) [OMG 2001] [Oestereich 1998], die Netzplan-Technik [Seeling 1996] und auch ereignisorientierte Prozessketten (EPK) [Rump 1999] [ARIS 1998] oder IDEF0 [IDEF0 1993] wurden deshalb vor dem Hintergrund der speziellen Anforderungen des Konstruktiven Ingenieurbaus und der Vernetzung der Planungspartner analysiert und bewertet. Diese Bewertung stützt sich auf eine beispielhafte Analyse der Planungsprozesse der Geotechnik [Katzenbach et al. 2002] [Katzenbach et al. 2001] [Schönenborn 1999] [Diaz 1998]. Den meisten Modellierungsmethoden liegen graphentheoretische Konzepte zu Grunde [Pahl/Damrath 2000] [Diestel 1996], die durch diverse Erweiterungen ergänzt wurden, um im Kontext eines bestimmten Problemfeldes der speziellen Anforderung gerecht zu werden. Für die dargelegten Anforderungen der integrativen Prozessmodellierung sind viele Methoden für händische Einsatzzwecke nicht geeignet. Petri-Netze hingegen werden aufgrund mathematischer Semantik, basierend auf der bipartiten Graphenstruktur und dem Konzept des dynamischen Markenflusses, als sehr geeignet bewertet, um als Grundlage für die Modellierung der Planungsprozesse des Konstruktiven Ingenieurbaus zu dienen. Daher wird im Folgenden die Anwendung der Petri-Netze näher vorgestellt.

2.3 Petri-Netz-basierte Prozessmodellierung

Petri-Netze sind eine im Ingenieurwesen weit verbreitete Methode zur Beschreibung, Analyse und Simulation dynamischer Systeme mit nebenläufigen und nichtdeterministischen Vorgängen. Sie bieten sowohl einen grafischen als auch einen mathematischen Formalismus zur Beschreibung verteilter synchroner und asynchroner Prozesse eines diskreten Systems

[Baumgarten 1996]. Ihre Entwicklung geht auf das Jahr 1962 zurück, als Carl Adam Petri mit seiner Dissertation „Kommunikation mit Automaten“ promovierte [Petri 1962]. In der Folgezeit setzte weltweit eine intensive Erforschung und praktische Anwendung der Petri-Netze in verschiedenen Bereichen ein. Die klassischen Petri-Netze wurden stetig weiterentwickelt und um Datenkonzepte, zeitliche und hierarchische Aspekte erweitert [Baumgarten 1990] [Jensen 1996] [PetriNetWorld 2003]. Insbesondere wurde in den letzten Jahren die Anwendung von Petri-Netzen auf Probleme des Workflow-Managements erforscht [Aalst 1998] [Aalst/Hee 2002] [Oberweis 1996]. Mittlerweile existieren mehrere kommerzielle Software-Produkte im Bereich des Workflow-Managements, die auf den methodischen Grundlagen der Petri-Netze basieren, z. B. INCOME Suite [INCOME 2003] [Oberweis 1997].

Die Grundstruktur eines Petri-Netzes wird im Folgenden anhand eines Stellen-/Transitions-Netzes illustriert. Das Petri-Netz ist ein bipartiter gerichteter Graph mit den Stellen S und den Transitionen T ,

$$\begin{array}{ll} \text{Stellen:} & S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\} \\ \text{Transitionen:} & T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\} \end{array}$$

so dass gilt:

$$S \cap T = \emptyset \quad \text{und} \quad S \cup T \neq \emptyset$$

Stellen und Transitionen sind durch gerichtete Kanten, so genannte Flussrelationen F

$$\text{Flussrelationen: } F \subseteq (S \times T) \cup (T \times S)$$

miteinander verbunden. Stellen, Transitionen und Flussrelationen bilden einen Netzgraphen, der durch das Tripel $NG = (S, T, F)$ beschrieben wird:

$$\text{Netzgraph } NG = (S, F, T).$$

Stellen können Markierungen aufnehmen, wobei eine Anfangsmarkierung der Stellen durch die Menge M^0 gegeben ist. Die Anzahl der aufnehmbaren Markierungen kann durch eine Kapazität K begrenzt sein. Kanten können Kantengewichte W zugeordnet werden. Sofern kein Gewicht angegeben ist, hat eine Kante das Gewicht 1.

$$\text{Anfangsmarkierung } M_0 : S \rightarrow \mathbb{N}_0, \quad \forall s \in S : M^0(s) \leq K(s)$$

$$\text{Kapazität } K : S \rightarrow \mathbb{N} \cup \{\infty\}$$

$$\text{Kantengewicht } W : S \rightarrow \mathbb{N}$$

Ein Stellen/Transitions-Netz (kurz S/T-Netz) ist somit ein geordnetes 6-Tupel $STN = (S, T, F, K, W, M^0)$. Abbildung 2 stellt die Elemente eines Stellen-/Transitions-Netzes grafisch dar:

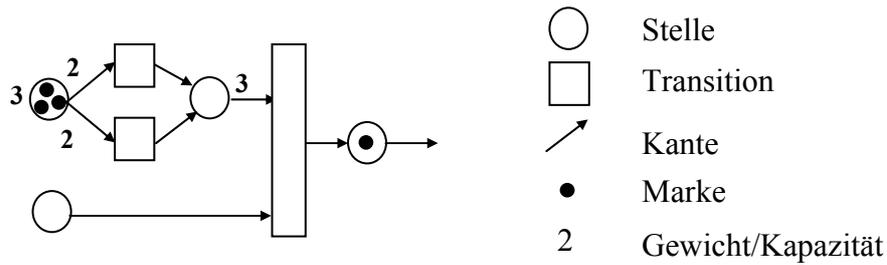


Abbildung 2: Elemente eines Stellen-/Transitions-Netzes

Aufgrund dieser Informationen lässt sich die Markierungsgleichung

$$M_i = M_i^0 + N_{ij} \cdot K_j$$

aufstellen.

- Hierin sind:
- M_i der Markierungsvektor, der für jede Stelle s_i die aktuelle Markierung angibt,
 - M_i^0 der Anfangsmarkierungsvektor, der für jede Stelle s_i zum Ausgangszeitpunkt der Simulation die Anzahl der Marken angibt,
 - K_j der Vektor der Schaltungen, der für jede Transition t_j angibt, wie oft sie geschaltet wurde,
 - N_{ij} die Inzidenzmatrix, die eine mathematische Repräsentation des Petri-Netzes darstellt, wobei gilt:

$$N_{ij} = \begin{cases} W(t_j, s_i) & \text{wenn } (t_j, s_i) \in F \\ -W(s_i, t_j) & \text{wenn } (s_i, t_j) \in F \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Markierungsgleichung stellt die Grundlage für die Analyse der modellierten Abläufe dar. Ebenso ist sie die Grundlage für die Laufzeitsteuerung, da aufgrund der aktuellen Markierung die möglichen Schaltungen der nachfolgenden Transitionen bestimmt werden [Baumgarten 1990][Desel 1998].

Planungsprozesse werden mit den Elementen der Petri-Netze wie in Tabelle 1 dargestellt beschrieben:

Tabelle 1: Abbildung von Planungsprozessen mit Elementen der Petri-Netze

Planungsprozess	Repräsentation im Petri-Netz	Grafische Darstellung
Planungszustände	Stellen S	○
Planungsaktivitäten, Ereignisse	Transitionen T	□
Abhängigkeiten	Flussrelationen F	→
Informationen, Objekte	Marken M	••

Darüber hinaus wurden zur Prozessmodellierung höhere Petri-Netze und spezielle Erweiterungen entwickelt. In [Oberweis 1996] wird ein spezieller Netztyp vorgestellt, um komplexe Datenstrukturen zu erfassen. Van der Aalst definiert in [Aalst 1998] ein Workflow-Netz (kurz WF-Netz) als die Spezialisierung eines Petri-Netzes, das vier verschiedene Transitionstypen vorsieht: automatisch ablaufende, nutzerbasierte, nachrichtenbasierte und zeitbasierte Transitionen, um spezielle Vorgänge charakterisieren zu können (Tabelle 2).

Tabelle 2: Typen von Transitionen eines Workflow-Netzes

Transitionstyp	Grafische Darstellung
automatisch ablaufend	
nutzerbasiert	
nachrichtenbasiert	
zeitbehaftet ablaufend	

Die Modellierung von Planungsprozessen mit Petri-Netzen wird zum Abschluss an einem Beispiel aus dem vorbeugenden baulichen Brandschutz unter Nutzung mobiler Softwareagenten illustriert.

3 Agententechnologie

Wooldridge und Jennings [Wooldridge/Jennings 1995] definieren einen Softwareagenten als ein unabhängiges Programm, das in der Lage ist, seine Entscheidungen und sein Handeln, basierend auf der Wahrnehmung seiner Umwelt, bei der Verfolgung von Zielen selbständig zu kontrollieren. Ein anderer Ansatz ist die Definition über die Eigenschaften von Agenten [Ferber 1999]. Danach ist ein Agent ein Programm, das alle oder einige der folgenden Eigenschaften besitzt:

- Agenten sind autonom, d. h. sie sind nicht direkt durch Anweisungen eines Benutzers oder anderer Agenten gesteuert, sondern durch Ziele, die ihnen eigen sind
- Zur Verfolgung ihrer Ziele besitzen Agenten eine Wissensbasis, die durch ihre vorhandene Lernfähigkeit erweitert wird
- Des Weiteren besitzen sie Möglichkeiten zur Kooperation und Kommunikation und können so gemäß ihren Eigenschaften nicht nur reagieren, sondern auch selbständig Aktionen initiieren (Pro-Aktivität)
- Dabei besitzt ein Agent die vollständige Kontrolle über seinen inneren Zustand und hat eine gewisse Vorstellung über seine Umwelt. Diese ist begrenzt, weil ein Agent immer ein wohldefiniertes Ziel verfolgt, für das er als Spezialist nur den ihn betreffenden Teil des Gesamtsystems kennen muss [Brenner et al. 1998]

Die verschiedenen Eigenschaften von Agenten lassen sich basierend auf dem Paradigma objektorientierter Programmiersprachen realisieren. Die Autonomie eines Agenten kann beispielweise durch die Integration einer Wissensbasis (Expertensystem) umgesetzt werden. Der Reaktivität entsprechen z. B. die Ereignisse (events), eine Kommunikation kann auf Basis von RMI [Sun 2002] bzw. CORBA [OMG 2000] realisiert werden. Zur Darstellung der Dynamik und der Kooperation wird auf der formalen Seite die Unified Modeling Language (UML) [OMG 2001] durch Agenten-Module zur Agent-UML (AUML) erweitert [Odell et al. 2000].

Der wesentliche Unterschied zwischen Objekten auf der einen und Agenten auf der anderen Seite liegt in der Verfolgung von Zielen. Objekte sind durch die Daten (Attribute) und das Verhalten (Methoden) definiert, die für die Umsetzung ihrer Eigenschaften benötigt werden. Das Objekt kapselt den Zustand der Attribute und beinhaltet eine Reihe von Methoden, mit denen der Zustand verändert werden kann. Ein Objekt kommuniziert mit einem anderen über öffentliche Schnittstellen (Nachrichtenaustausch), um Aktionen durchzuführen. Ein Objekt handelt aber im Gegensatz zu einem Agenten nicht aus eigenem Antrieb. Agenten entscheiden aufgrund ihres inneren Zustandes und aufgrund ihrer Umgebung, ob und wie Aktionen ausgeführt werden. Wird ein Agent aufgefordert, eine Aktion auszuführen, so kann er diese Ausführung aufgrund seines Wissens auch verweigern [Bigus/Bigus 2001]. Ein Agent kapselt also zusätzlich das Wissen und die Kenntnis von Zielen zu Erfüllung seiner Aufgaben.

Die Anwendung der Petri-Netze im Kontext der Agententechnologie ist sowohl etabliert als auch Gegenstand aktueller Forschungen in der Informatik [Ferber 1999]. Es existieren verschiedene Ansätze zur Kombination dieser Methoden, deren Unterschiede in der Modellierung der Eigenschaften eines Agenten begründet sind. In [Xu/Deng 2000] wird zum Beispiel die Modellierung eines mobilen Agentensystemen mithilfe eines Prädikats-/Transitionsnetzes vorgestellt, wobei die einzelnen Agenten durch individuelle Marken im Netz repräsentiert sind. Zur Laufzeit migrieren die Agenten zwischen den Knoten des Netzes, indem die Transitionen geschaltet werden. In [Nowostawski 2001] wird eine formale Beschreibung von nebenläufigen Kommunikationsprozessen zwischen Agenten auf der Basis von Petri-Netzen gezeigt. Moldt und Rölke stellen die Modellierung des internen Verhaltens eines Agenten mithilfe farbiger Petri-Netze dar [Moldt/Rölke 2003].

4 Vorbeugende Brandschutzplanung

Oberstes Ziel des Brandschutzes ist die Verhinderung von Gebäudebränden und den damit verbundenen Personen- und Sachschäden. Hierbei kann der Brandschutz in zwei zentrale Bereiche, den vorbeugenden und den abwehrenden Brandschutz, eingeteilt werden. Der vorbeugende Brandschutz umfasst alle baulichen, technischen und organisatorischen Brandschutzaspekte. Der abwehrende Brandschutz beschäftigt sich mit der Brandbekämpfung und der Rettung durch die Feuerwehr.

Im Rahmen der Gebäudeplanung werden im Bauwesen die grundlegenden Voraussetzungen für einen effektiven Personenschutz und einen optimalen Löscheinsatz gelegt [Schneider/Lebeda 2000]. So definiert der vorbeugende bauliche Brandschutz neben der Gebäudegeometrie auch die Anordnung von Flucht- und Rettungswegen, die Brennbarkeit von Baustoffen und die Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen und Gebäudeelementen. Von der ersten Vorplanungsphase an sind die einzelnen Elemente des baulichen Brandschutzes so zu kombinieren, dass ein möglichst hohes Sicherheitsniveau erreicht wird, das Gebäude jedoch auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimal gestaltet werden kann

[Klingsohr/Messerer 2002]. Hierzu ist während der gesamten Planungsphase eines Gebäudes ein hohes Maß an Kooperation zwischen den Planungsbeteiligten und den zuständigen Behörden notwendig.

Die Vorgaben des Brandschutzkonzeptes nehmen einen zentralen Teil der Genehmigungsplanung des Bauwerks ein. Damit hat die Brandschutzplanung neben der Tragwerksplanung einen erheblichen Anteil an den erforderlichen Planungsleistungen für die baurechtliche Genehmigung eines Gebäudes. Neben der Definition der Schutzziele und der Elemente des Brandschutzkonzeptes ist die Umsetzung dieser Vorgaben in der Detail- und Ausführungsplanung ein integraler Bestandteil der ganzheitlichen Brandschutzplanung [Löbber et al. 2000]. Die in einem Brandschutzkonzept definierten Schutzziele, sowohl für Personen wie auch für das Gebäude selbst, sind nur so wirksam, wie sie der Planung entsprechend umgesetzt werden. Hier spielen Inkonsistenzen im Informationsfluss zwischen Planungsbeteiligten und unvollständige Modelle eine wichtige Rolle und können zum Teil verheerende Folgen auslösen. Es ist daher notwendig, die Elemente eines Brandschutzkonzeptes in einem Brandschutzmodell zu erfassen und dieses konsequent und konsistent mit den bestehenden Gebäude- und Ausstattungsmodellen zu verknüpfen.

Um inkonsistente Planungszustände und -vorgänge zwischen den Fachplanern zu vermeiden, ist es zweckmäßig, ein geeignetes netzwerkbasiertes Kooperationsmodell zu schaffen, das den Anforderungen einer integrierten Prozessmodellierung entspricht. Dieses Modell muss die Aktivitäten der Planer, den Zustand der Modelle und die Kommunikation bei der Projektbearbeitung fachgerecht umfassen. Überdies müssen Methoden vorgesehen werden, um die Planungsergebnisse hinsichtlich Vollständigkeit und Wirksamkeit der Brandschutzplanung zu überprüfen.

5 Vernetzt-kooperative Brandschutzmodellierung

Die Interpretation eines Brandschutzkonzeptes kann aufgrund rein textbasierter Beschreibungen nur durch den versierten Fachplaner erfolgen. Für die verteilte Verarbeitung eines Brandschutzkonzeptes in einem Kooperationsverbund von verschiedenen Planern sind die Informationen des Brandschutzkonzeptes zukünftig in einem transparenten Modell zu beschreiben. Dafür wurde ein neues Brandschutzmodell entwickelt und in dem CAD-System *Architectural Desktop* implementiert (Abbildung 3).

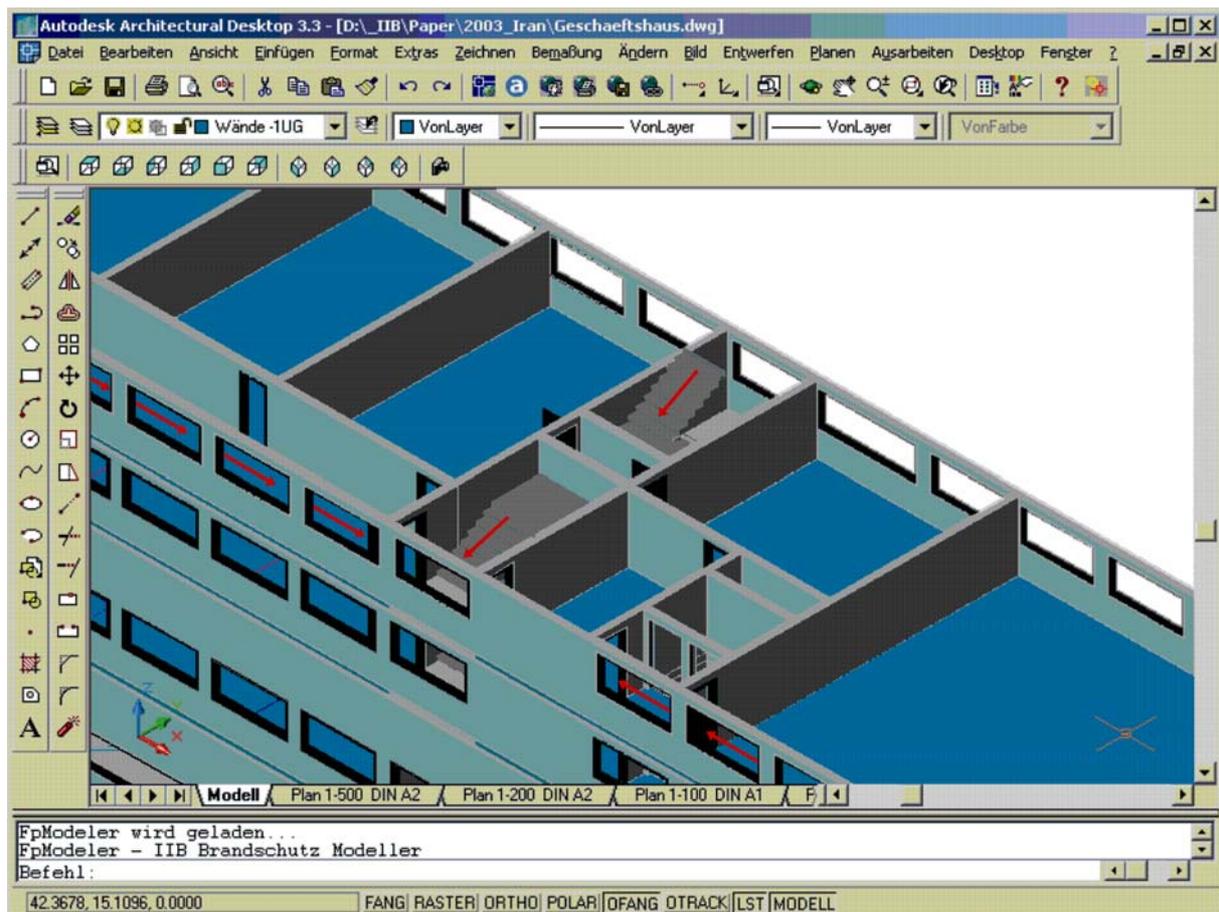


Abbildung 3: Brandschutzmodellierung im CAD-System

Dem Fachplaner ist es damit möglich, die Maßnahmen des vorbeugenden baulichen Brandschutzes in einem dreidimensionalen Modell zu definieren [Theiß 2001]. Die Informationen des Brandschutzmodells werden bei der Erstellung direkt mit dem vorhandenen Gebäudemodell verknüpft. Ein im Gebäudemodell vorhandener Flur kann beispielsweise explizit als Rettungsweg ausgewiesen werden. Die Definition eines Flurs als Rettungsweg stellt in der Folge besondere Anforderungen an die angrenzenden Bauteile. Die Umsetzung dieser Anforderungen muss im Planungsprozess bei Planungsänderungen jeweils neu überprüft werden. Die Verknüpfung zwischen dem Flur und den Wänden ist im Gebäudemodell bereits vorhanden, sodass diese Verknüpfung bei einer Überprüfung der Anforderungen genutzt werden kann [Rüppel et al. 2002b].

Nach der Erstellung des Brandschutzmodells müssen die Planungsinformationen allen Planungsbeteiligten zur Verfügung gestellt werden. Gerade der Bauplanungsprozess ist hier durch die Verwendung vielfältiger Datenformate gekennzeichnet. Daher werden die proprietären Modelle mittels eines neutralen XML-Schemas, basierend auf der Spezifikation der IAI [ifcXML 2000] in der XML-Datenbank Tamino [SAG 2002] gespeichert. Auf diese Datenbank kann über das Internet unter Nutzung von Wrapper-Agenten zugegriffen werden (Abbildung 4). Hierdurch stehen die Planungsinformationen des baulichen Brandschutzes allen Planungsbeteiligten in einem neutralen Format zur Verfügung und können jederzeit abgerufen werden. Die Nutzung von Wrapper-Agenten zur Informationsbereitstellung ermöglicht einen hohen Grad an autonomer Informationsverarbeitung durch mobile Softwareagenten.

Die schon dargestellte Eigenschaft der Agenten, miteinander zu kommunizieren, ermöglicht die kooperative Verarbeitung dieser Informationen in einem Multiagentensystem. Die Datensicherheit ist durch die eindeutige Identifizierung des anfragenden Agenten garantiert. Kann der Wrapper-Agent eine Anfrage nicht selbständig bearbeiten, so ist es ihm möglich, seinen Besitzer zu kontaktieren, um die Informationen bereitstellen zu können.

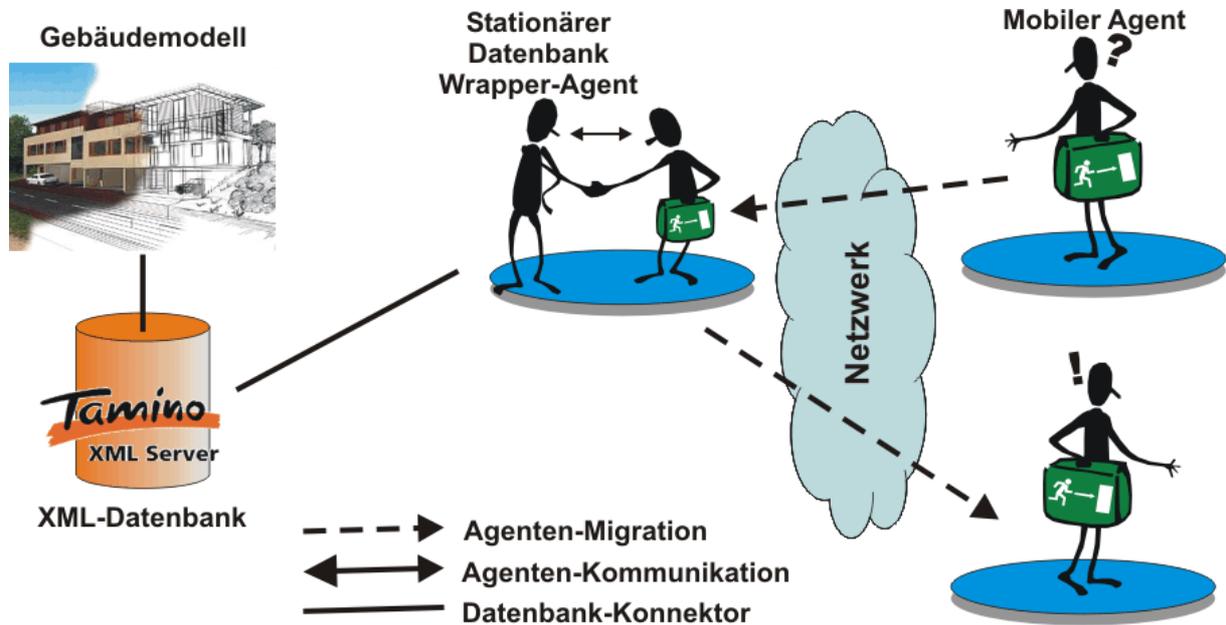


Abbildung 4: Bereitstellung von XML-Informationen durch einen Wrapper-Agenten

6 Regelbasierte Verarbeitung der Planungsinformationen

Die Erstellung des reinen Datenmodells ist nicht ausreichend, um die Planungsinformationen des Brandschutzes konsistent zu überprüfen. Die in einem Brandschutzkonzept definierten Informationen sind eng mit den Regeln aus Verordnungen und Richtlinien verknüpft, welche ebenfalls modelliert werden müssen. Eine sinnvolle Verarbeitung dieses Wissens kann nur durch die gemeinsame Bereitstellung der Daten und der Regeln erfolgen. Daher wurde ein dreischichtiges Wissensmodell für den vorbeugenden baulichen Brandschutz entwickelt (Abbildung 5). Dieses Wissensmodell besteht zum einen aus den bereits beschriebenen Datenmodellen des Gebäudes und des Brandschutzes, zum anderen aus einem Regelmodell zur Abbildung der Richtlinien und Verordnungen des baulichen Brandschutzes.

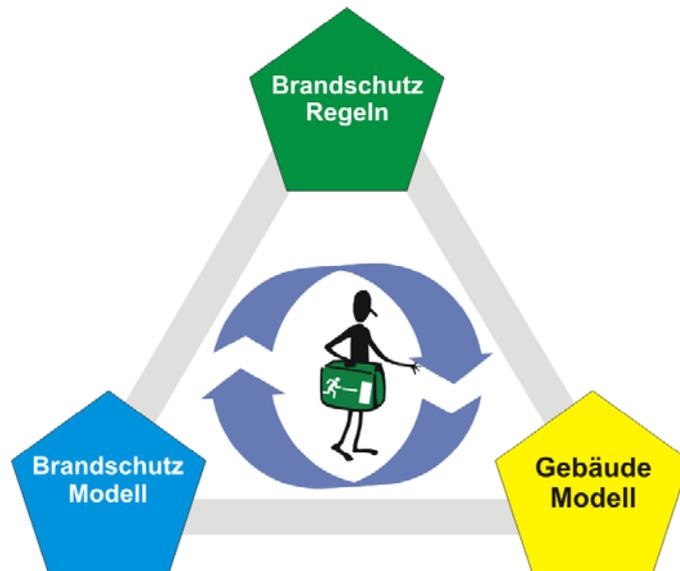


Abbildung 5: Dreischichten-Architektur zur Modellierung und Verarbeitung der Brandschutzinformationen

Da das Regelmodell in dem Netzwerk-basierten Kooperationsverbund zur Verarbeitung der Planungsinformationen aus den Datenmodellen herangezogen wird, müssen die Regeln in einer maschinell verarbeitbaren Form aufbereitet werden. Die Regeln werden hierzu auch innerhalb der Verordnungen und Richtlinien strukturiert, damit nur die zur Bearbeitung notwendigen Teile über das Netzwerk ermittelt werden müssen. Durch diese hierarchische Strukturierung ist es möglich, aufgrund des Standorts, des Gebäudetyps und des entsprechenden Brandschutzelements alle notwendigen Regeln zur Überprüfung des Brandschutzelements zu ermitteln. Dieser Ansatz ermöglicht die objektorientierte Verarbeitung der jeweils notwendigen Regeln. Des Weiteren wird der Verarbeitungs- und der Kommunikationsprozess optimiert, da nur notwendige Regeln zur Bearbeitung herangezogen werden.

Mithilfe einer problemspezifischen Benutzungsoberfläche (Abbildung 6) können die CLIPS-basierten Regeln mit einem grafischen Editors erzeugt, bearbeitet und in die oben beschriebene Struktur eingegliedert werden [Theiß 2002]. Auch komplexe Regeln können durch die Kombination mehrerer Anforderungen komfortabel erzeugt werden.

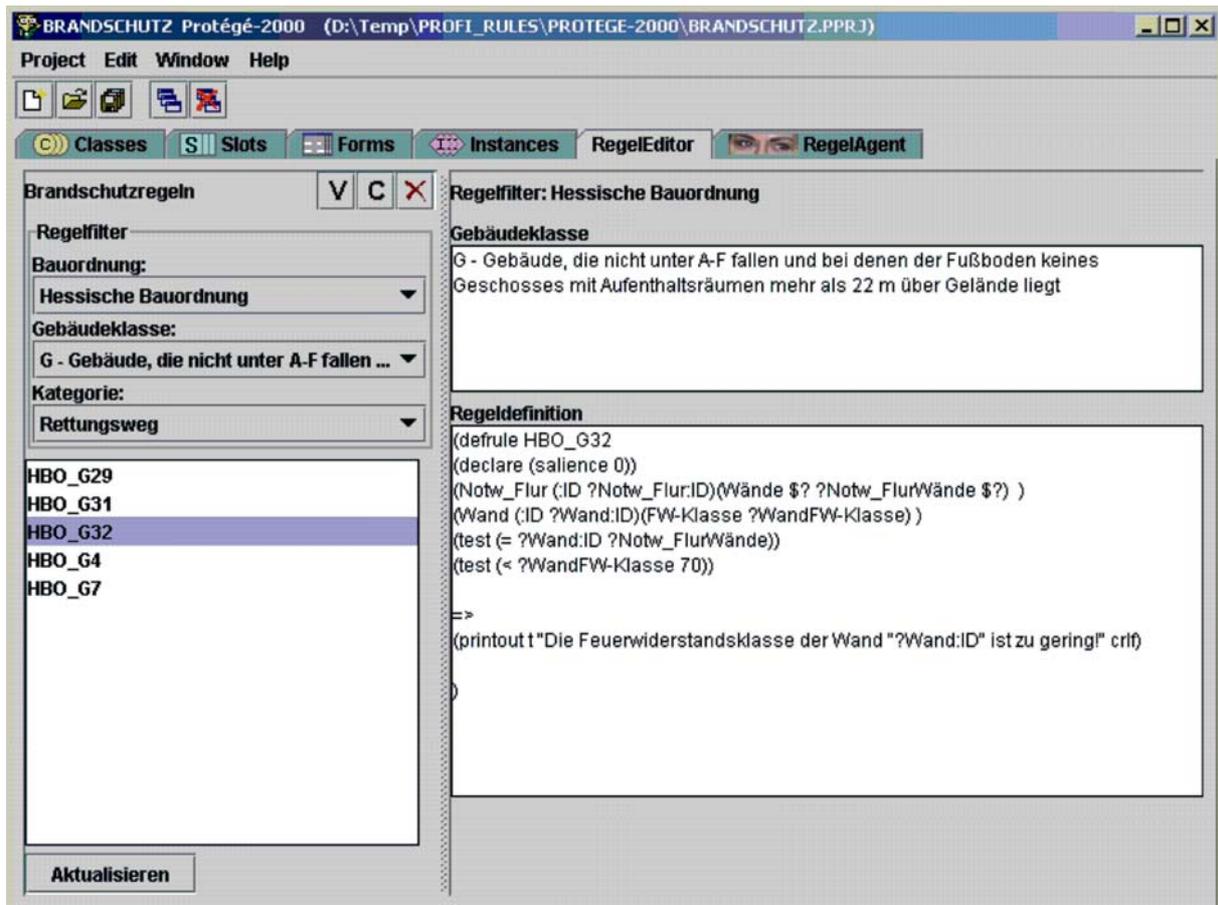


Abbildung 6: Editor zur Definition der Überprüfung der Planungen im Hinblick auf die Anforderungen des baulichen Brandschutzes.

7 Agentenbasierte Kooperation für die vorbeugende bauliche Brandschutzplanung

7.1 Multiagentensystem zur fachgerechten Informationsverarbeitung

Um allen beteiligten Fachplanern eine konsistente Verarbeitung der modellierten Brandschutzinformationen zu ermöglichen, wird ein Kooperationsverbund geschaffen, in den die verteilt vorliegenden Wissensmodelle für die beteiligten Fachplaner eingebunden werden [Meißner et al. 2002]. Dieser Kooperationsverbund wird auf Basis der Agententechnologie etabliert. Die Agenten wirken hierbei als digitaler Stellvertreter des Fachplaners im Netzwerk, d.h. sie stellen autorisierten Kooperationspartnern die benötigten Informationen zur Verfügung oder sie sammeln Informationen für ihren eigenen Fachplaner. Des Weiteren stellen Software-Agenten geeignete Verarbeitungsmethoden zur Verfügung, die von den Fachplanern genutzt werden können.

Das Multiagentensystem wurde mit dem Jade-System (Java Agent Development Framework) [Bellifemine 2002] entwickelt und besteht aus verschiedenen Agententypen. Zum Transport und zur Ermittlung der Planungsinformationen wurden Transportagenten entwickelt. Der Transportagent bekommt von seinem Auftraggeber die Aufgabe, bestimmte Informationen zu ermitteln. Er kann durch einen Fachplaner oder auch durch einen anderen Agenten instanziiert werden. Durch die Nutzung eines Verzeichnisdienstes, dem Directory-

Facilitator-Agent („Gelbe Seiten“), kann der Transportagent nach zur Verfügung stehenden Diensten oder anderen Beteiligten suchen. Nach der Kontaktaufnahme können die notwendigen Informationen durch Kommunikation mit den Wrapper-Agenten ermittelt werden.

Der Brandschutz-Agent ist in der Lage, die in dem dreischichtigen Datenmodell zur Verfügung gestellten Daten gemeinsam mit dem Regelmodell zu verarbeiten, um so Fehler in der Planung aufzuzeigen. Dies wird in drei Schritten erreicht. Zunächst wird das relevante Brandschutzelement aus dem Brandschutzmodell identifiziert, danach werden alle zugehörigen Informationen aus dem Gebäudemodell ermittelt. In einem dritten Schritt werden die entsprechenden Regeln aus dem Regelmodell ermittelt [Rüppel/Theiß 2002] [Theiß 2002]. Diese drei Hauptschritte werden durch die mobilen Transportagenten unterstützt. Der Brandschutz-Agent kann die gewonnenen Informationen unter Nutzung des regelbasierten Expertensystems Jess (Java Expert System Shell) [Friedmann-Hill 2001] verarbeiten.

Um die fachgerechte Kommunikation zwischen den einzelnen Agenten zu ermöglichen, ist es notwendig, eine gemeinsame Ontologie zu definieren. Für die Verarbeitung der Brandschutzinformationen wurden daher zwei Ontologien auf der Basis der FIPA-Ontologie Spezifikation [FIPA 2002] entwickelt. Die *Fire Protection Model Ontology (FPMO)* beschreibt die Struktur des Brandschutzmodells. Jeder Agent, der diese Ontologie nutzt, kann die Elemente des Brandschutzmodells zur Bearbeitung seiner Aufgabe eindeutig identifizieren. Die zweite Ontologie, die *Fire Protection Communication Ontology (FPCO)*, beschreibt die notwendige modellbasierte Kommunikation [Müller 2002].

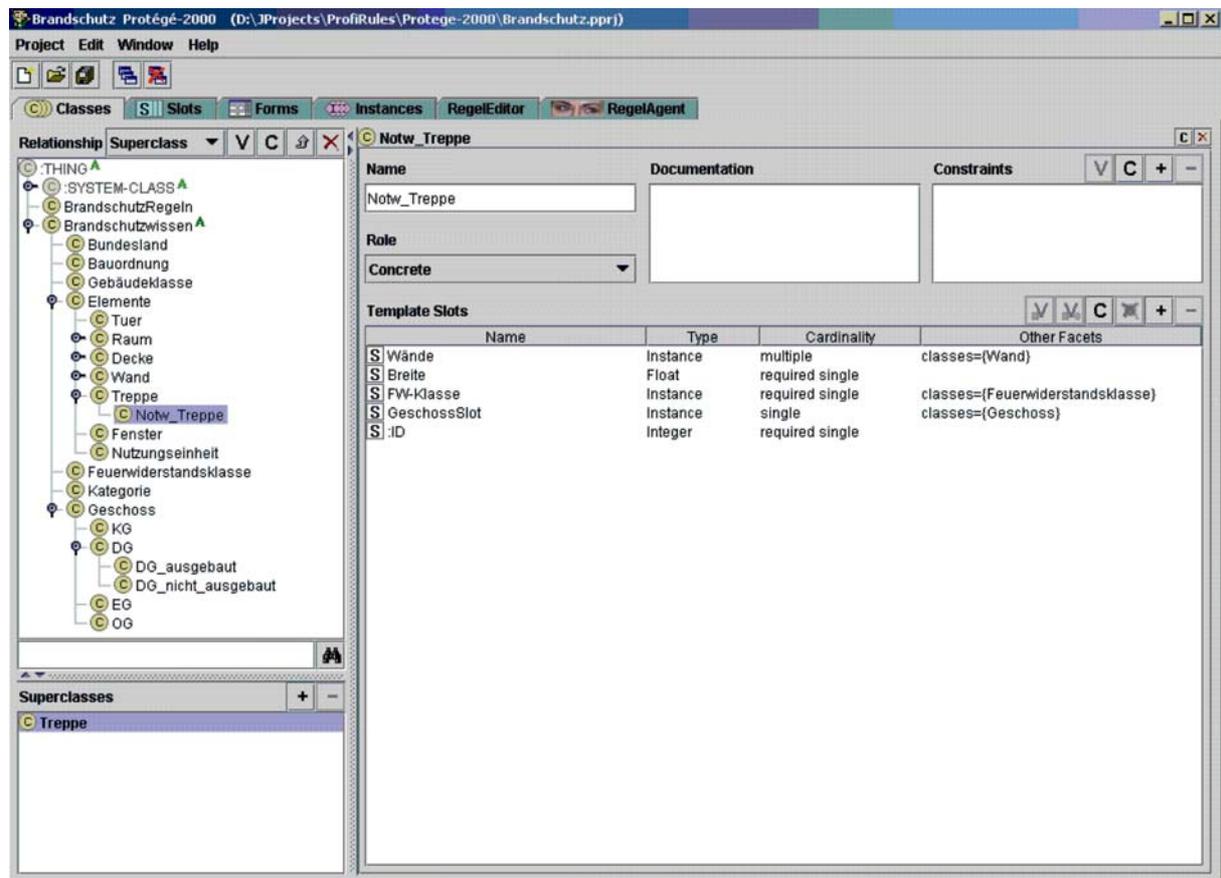


Abbildung 7: Modellierungswerkzeug zur Erstellung der *Fire Protection Modeling Ontology (FPMO)*

Die Ontologien werden mithilfe des Werkzeugs Protégé [Protégé 2003] definiert, das in Abbildung 7 dargestellt ist. Gemäß der FPMO ist hier auch die hierarchische Struktur des Brandschutzmodells dargestellt. Des Weiteren wurde in dieses Werkzeug ein Editor zur Definition der Brandschutzregeln integriert. Die Regeln werden hierbei direkt mit Instanzen des Brandschutzmodells verknüpft. Nach der Definition stehen die Regeln dem stationären Wrapper-Agenten zur Verfügung und können unter Nutzung der FPCO den Transportagenten zur weiteren Verarbeitung durch den Brandschutz-Agenten zur Verfügung gestellt werden.

7.2 Petri-Netze zur Prozessmodellierung und Agententechnologie im Rahmen des integrativen Prozessmodells

Mit dem hier beschriebenen Ansatz wird eine Umsetzung des in Abschnitt 2.1 beschriebenen integrativen Prozessmodells zur Unterstützung der vernetzt-kooperativen Planungen des Konstruktiven Ingenieurbaus dargestellt. Der Ansatz basiert auf der Modellierung der Planungsprozesse mit Petri-Netzen und integriert die Modellverarbeitung und Kommunikationskomponenten mithilfe von Softwareagenten [Meißner et al. 2003]. Darüber hinaus wird auch die Migration der Agenten im Computernetz und die Interaktion mit anderen Agenten mit einem Petri-Netz modelliert.

Der erste Netz-Typ, das *Fachplanungsnetz*, bildet die Planungsaktivitäten, die Planungszustände, ihre Beziehungen und die relevanten Planungsinformationen ab. Innerhalb dieses Petri-Netzes werden die Planungsaktivitäten und Ereignisse durch Transitionen modelliert. Ein Agent, der beispielsweise die Planungsaktivitäten durchführen oder unterstützen kann, ist mit der entsprechenden Transition des Netzes verknüpft.

Der zweite Netz-Typ, das *Agentennetz*, beschreibt die Aktionen und Zustände eines fachplanungsunterstützenden Agenten. Bei migrierenden Agenten zur Durchführung spezieller Planungsaktivitäten ist es beispielsweise notwendig, an bestimmten Knoten des Computernetzes mit anderen Agenten zu interagieren, Informationen zu sammeln oder proaktive Handlungen durchzuführen, um schließlich zum Arbeitsplatzrechner des Fachplaners zurückzukehren. Das *Agentennetz* beschreibt daher die Migration des Agenten und die Interaktion mit anderen Agenten.

Die Verbindung dieser beiden Netztypen ermöglicht mit den Petri-Netzen die ganzheitliche Modellierung der Prozesse innerhalb des agentenbasierten Modellverbundes mit Hilfe einer einheitlichen formalen Beschreibung. Im Folgenden wird ein Beispiel für den baulichen Brandschutz unter Verwendung dieser Modellierungsmethode dargestellt.

7.3 Modellierung vernetzt-kooperativer Planungsprozesse des baulichen Brandschutzes mithilfe von Petri-Netzen und Agenten

Das Beispiel beschreibt den Prozess der Definition und Überprüfung einer Brandwand. Der Einbau der Brandwand ist nach der Definition von zwei Brandabschnitten, die Zonen unterschiedlicher Nutzung in einem Wohn- und Geschäftshaus voneinander trennen, notwendig (Abbildung 8).

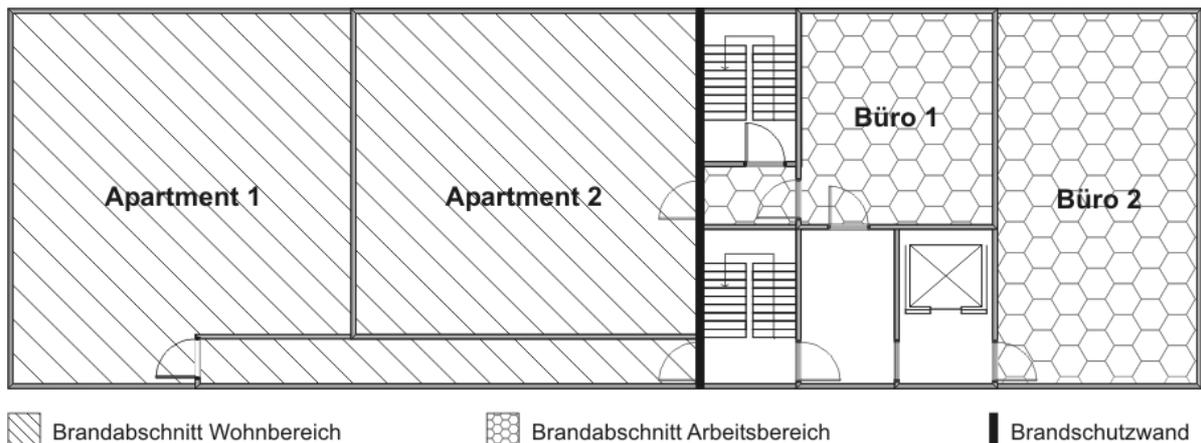


Abbildung 8: Brandschutzwand zur Trennung von Gebäudeabschnitten unterschiedlicher Nutzung

Diese Umplanung erfordert die Kommunikation und Kooperation unterschiedlicher Fachplaner, um die durch die Definition der Brandabschnitte erwünschten Schutzziele zu erreichen. Tabelle 3 führt die beteiligten Fachplaner, die Planungsaktivitäten, die Planungszustände und die Planungsinformationen auf. In Abbildung 9 sind die verschiedenen Planungsprozesse für die kooperative Brandschutzplanung in einem Bedingungs-/Ereignis-Netz (B/E-Netz) dargestellt.

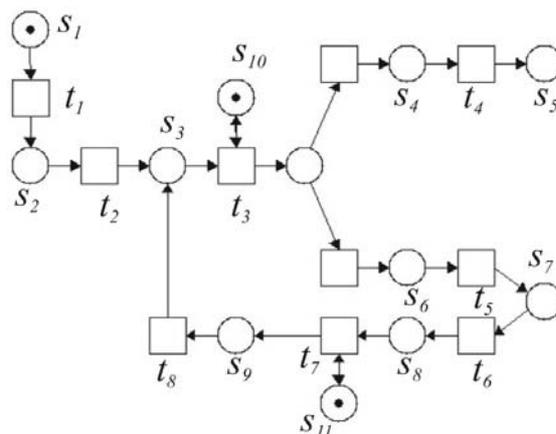


Abbildung 9: Fachplanungsnetz – Planungsaktivitäten, Planungszustände und Informationen, modelliert mit einem B/E-Netz.

Tabelle 3: Planungsbeteiligte, Planungsaktivitäten, Planungszustände und Informationen

Planungsbeteiligte	
AC	Architekt
TWP	Tragwerksplaner
BP	Brandschutzplaner
Planungsaktivitäten (Transitionen t_i)	
t_1 :	AC fordert Brandschutzkonzept an
t_2 :	BP legt Brandschutzzonen fest
t_3 :	BP überprüft Brandschutzkonzept

t_4 :	BP sendet die Informationen an AC
t_5 :	BP sendet die Informationen an AC
t_6 :	TWP entwirft die Brandwand
t_7 :	TWP dimensioniert die Brandwand
t_8 :	TWP sendet die Informationen an BP

Planungszustände	(Stellen s_i)
s_1 :	Notwendigkeit eines Brandschutzkonzepts
s_2 :	Gebäudemodell ohne Brandschutzkonzept
s_3 :	Gebäudemodell mit zwei Brandschutzabschnitten
s_4 :	Brandschutzkonzept ist ok
s_5 :	Gebäudemodell mit validiertem Brandschutzkonzept
s_6 :	Brandschutzkonzept ist <i>nicht</i> ok
s_7 :	Brandschutzwand entspricht nicht den technischen Normen und Regelwerken
s_8 :	Brandschutzmodell mit neu entworfener Brandschutzwand
s_9 :	Brandschutzwand ist dimensioniert
s_{10} :	Server mit Brandschutznormen und -regeln
s_{11} :	Server mit technischen Normen

Planungsinformationen	(Marken)
•	Gebäudemodell
•	Brandschutznormen und -regeln
•	Technische Normen

In diesem Szenario wird die Planungsaktivität „Brandschutzplaner (BP) überprüft Brandschutzkonzept“ durch die Transition t_3 repräsentiert, die mit einem Brandschutzagenten (siehe Kapitel 6) verknüpft ist. Dieser Brandschutzagent migriert durch das Netzwerk und kommuniziert mit verschiedenen stationären Wrapper-Agenten, um Planungsinformationen aus den verteilten Modelldatenbanken zu beziehen. Abschließend überprüft er die gefundenen Informationen mit den Anforderungen aus dem Brandschutzmodell und den gültigen Regelwerken. Diese Kommunikationsprozesse werden mit dem in Abbildung 10 dargestellten Agentennetz modelliert. Die darin verwendeten Abkürzungen sind in Tabelle 4 erläutert. Neben der Modellierung der Prozesse bei der vernetzt-kooperativen Planung ist die Verarbeitung der Fachinformationen, wie aus dem aufgeführten Beispiel ersichtlich, von zentraler Bedeutung.

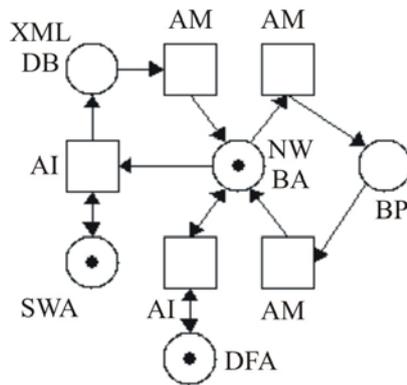


Tabelle 4: verwendete Abkürzungen

BP	Brandschutzplaner
BA	Brandschutzagent
DFA	Directory-Facilitator-Agent
SWA	Stationärer Wrapper-Agent
NW	Netzwerk
XML-DB	XML Datenbank
AM	Agentenmigration
AI	Agenteninteraktion

Abbildung 10: Agentennetz – Migration- und Interaktionsprozesse des Agenten

8 Zusammenfassung

Die Entwicklung geeigneter Softwaremethoden zur Unterstützung der kooperativen Planung in Computernetzen ist eine für die Wettbewerbsfähigkeit des Bauwesens wichtige Aufgabe. Dieser Beitrag zeigt den aktuellen Forschungsbedarf und neue Lösungsansätze mit Hilfe der Prozessmodellierung und der Agententechnologie am Beispiel spezieller Planungsszenarien auf. Es werden zwei zentrale Methoden, die Agenten-unterstützte Planung und die Modellierung von Planungsprozessen mit Petri-Netzen, zusammengeführt, um eine ganzheitlich vernetzt-kooperative Planung zu modellieren. Am Beispiel der vorbeugenden baulichen Brandschutzplanung wird gezeigt, wie Teilbereiche der Fachplanung mithilfe dieser Methoden zu einem Verbund zusammengefügt werden können. Der Einsatz der Agententechnologie unterstützt den Fachplaner bei der Bearbeitung der Planungsvorgänge und verbessert die Konsistenz der Modellierungszustände. Die Prozessmodellierung mit Petri-Netzen koordiniert den Ablauf der Arbeitsvorgänge, steuert die dynamische Kommunikation während der Projektbearbeitung und bindet die notwendigen Modell- und Methoden-Ressourcen in den Planungsprozess ein.

9 Literatur

[Aalst 1998]

v.d. Aalst: The Application of Petri-Nets to Workflow Management. In: Journal of Circuits, Systems and Computers 8(1), Pages: 21-66, World Scientific, Singapore, 1998.

[Aalst/Hee 2002]

v.d. Aalst; K. M. van Hee: Workflow Management: Models, Methods, and Systems, MIT Press, Cambridge, 2002.

[Baumgarten 1996]

Baumgarten, B.: Petri-Netze - Grundlagen und Anwendungen, Spektrum Akademischer, Verlag, 1996.

[Bellifemine 2002]

Bellifemine, TILAB Italia: JADE, The Java Agent Development Framework, <http://jade.cselt.it>, Stand: 04/2003.

[Bigus/Bigus 2001]

Bigus, Jo.; Bigus, Je.: Intelligente Agenten mit Java programmieren, Addison-Wesley, München, 2001.

[Brenner et al. 1998]

Brenner, W.; Zarnekow, R.; Wittig, H.: Intelligente Softwareagenten, Springer Verlag, Berlin, Deutschland, 1998.

[Cost 1999]

Cost: Modeling Agent Conversations with Colored Petri Nets. In: Third Conference on Autonomous Agents (Agents-99), Workshop on Agent Conversation Policies, Seattle, WA.

[CLIPS 2002]

CLIPS - A Tool for building Expert Systems Gary Riley. <http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>, Stand: 12/2002.

[Cremers et al. 2003]

Cremers, A.B.; Meißner, U.F.; Ruppel, U.; Alda, S.; Theiß, M.: Wahrnehmung und Verarbeitung von Ereignissen bei der verteilten Planung im baulichen Brandschutz; In: Proceedings des Internationalen Kolloquium über Anwendung der Informatik und der Mathematik in Architektur und Bauwesen (ikm), Weimar, 2003.

[Damrath/König 2002]

Damrath, R.; König, M.: Relational Modelling of Planning Processes in Building Engineering; In: Proceedings of 9th International Conference on Computing in Civil Engineering; Taipei, Taiwan, 2002.

[DFG 2000]

DFG Schwerpunktprogramm „Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau“. <http://www.dfg-spp1103.de>, Stand 04/2003.

[Diaz 1998]

Diaz, J.: Objektorientierte Modellierung geotechnischer Systeme, Bericht 2/98 des Instituts für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen der Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 1998.

[Desel 1998]

Desel, J.: Petrinetze, lineare Algebra und lineare Programmierung (pertensystem) umgesetzt werden, Teubner-Verlag, Stuttgart, 1998.

[Diestel 1996]

Diestel, R.: Graphentheorie, Springer-Verlag, Berlin, 1996.

[Ferber 1999]

Ferber, J.: Multi-Agent Systems – An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Addison-Wesley. Harlow. England, 1999.

[Friedman-Hill 2001]

Friedman-Hill, E.: Jess, The Expert System Shell for the Java Platform. Sandia National Laboratories, Version 6.0b3, Stand: 2001.

[FIPA 2001]

Foundation for Intelligent Physical Agents. 2001. Ontology Service Specification. <http://www.fipa.org/specifications/index.html>.

[Hartmann/Bilek 2003]

Hartmann, D.; Bilek, J.: Development of an Agent-based Workbench supporting Collaborative Structural Design. In: Proceedings of the 20th CIB W78 Conference on Information Technology in Construction. Auckland, Neuseeland, 2003.

[Hollingsworth 1995]

Hollingsworth, D.: Workflow Management Coalition – The Workflow Reference Model, Document Number WfMC-TC-1003, www.wfmc.org, 1995.

[IDEF0 1993]

Integration Definition for Function Modeling (IDEF0), FIPS PUBS 183, 1993, http://www.idef.com/complete_reports/idef0/IDEF0_TOC.html, Stand: 03/2000.

[ifcXML 2002]

International Alliance for Interopability (IAI): ifcXML Version 1.02 XML-Schema Definition. <http://www.iai-international.org> – ifxXML, Stand: 06/2002.

[INCOME 2003]

INCOME Suite, Software-Lösungen des Strategischen Unternehmensmanagements und des Geschäftsprozessmanagements, http://www.get-income.com/produkte/income_suite, Stand: 2003.

[Jensen 1996]

Jensen: Coloured Petri-Nets – Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. Springer-Verlag. Berlin. Deutschland, 1996.

[Katzenbach et al. 2001]

Katzenbach, Kinzel, El Mossalamy, von der Hude: Besondere Aspekte bei der Gründung des Hochhauses Gallileo in Frankfurt am Main, Mitteilungen des Instituts und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft 55, S. 3-20, Darmstadt, 2001.

[Katzenbach et al. 2002]

Katzenbach, R.; Meißner, U.F.; Rüppel, U.; Giere, J.; Greb, S.: Process-oriented Network-based Collaboration in Geotechnical Engineering, In Proceedings of the 9th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering Vol. II, Taiwan, 2002.

[Kingsohr/Messerer 2002]

Kingsohr, K.; Messerer, J.: Vorbeugender baulicher Brandschutz. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, Deutschland, 2002.

[Klinger/König 2002]

Klinger, A.; König, M.: Modellierung von Planungsprozessen mit Hilfe von hierarchischen Strukturen, In: Bilek, J. (Hrsg.), 14. Forum Bauinformatik, Fortschritt-Bericht VDI, Bochum, Deutschland, 2002.

[Klingenberger/Kränzle 1983]

Klingenberger, H.; Kränzle, H.P.: Kommunikation und Nutzerverhalten – die Wahl zwischen Kommunikationsmitteln in Organisationen. In: Picot, A. und Rechwald, R. (Hrsg.) Bürokommunikation, CW-Edition, München, 1993.

[Kusiak/Yang 1993]

Kusiak & Yang: Modeling the design process whit Petri-Nets. In Concurrent Engineering, Contemporary issues and modern design tools, Chapman & Hall, London, 1993.

[Löbbert et al. 2000]

Löbbert, A.; Pohl, K.D.; Thomas, K.-W.: Brandschutzplanung für Architekten und Ingenieure, Verlag Rudolf Müller, Köln, Deutschland, 2000.

[Meißner 2002]

Meißner, U.F.: Stand und Perspektiven der IuK-Forschung im Bauwesen. In VDI-Fachtagung: Bauen mit Computern – Kooperation in IT-Netzwerken, 2002.

[Meißner et al. 2002]

Meißner, U.F.; Rüppel, U.; Theiß, M.: Verteilte Brandschutzmodellierung auf der Basis von Softwareagenten. In: Bauen mit Computern - Kooperation in IT-Netzwerken, Bonn, Fortschritt-Bericht VDI, 2002.

[Meißner et al. 2003]

Meißner, U.F.; Rüppel, U.; Greb, S.; Theiß, M.: Network-based Co-operation Processes for Fire Protection Planning. In: Proceedings of the 20th CIB W78 Conference on Information Technology in Construction. Auckland, Neuseeland, 2003.

[Mold/Rölke 2003]

Moldt, D. & Rölke, H.: Verhaltensmodellierung von Petrinetz-Agenten, 2003.

[Müller 2002]

Mülle, M.: Entwicklung eines Modellierungssystems für Regeln des baulichen Brandschutzes, Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen, Technische Universität Darmstadt, Deutschland, 2002 .

[Nowostawski 2001]

Nowostawski et al.: Modelling and Visualising Agent Conversations. In Muller J. P., Andre E. Son S. and Frasson C. (ed.), Proceedings of the 5th International Conference on Autonomous Agents, New York, ACM Press, 2001.

[Oberweis 1996]

Oberweis: Modellierung und Ausführung von Workflows mit Petri-Netzen. Teubner-Verlag, Stuttgart, Deutschland, 1996.

[Odell et al. 2000]

Odell, J.; Parunak, H.V.D.; Bauer, B.: Extending UML for Agents, AOIS Workshop at AAAI, 2000.

[OMG 2000]

Object Management Group (OMG): Spezifikation of the Common Object Request Broker Architecture (CORBA/IIOP), Version 2.6, Dezember 2000.

[OMG 2001]

Object Management Group (OMG): Spezifikation of the Unified Modeling Language (UML), Version 1.4, 2001.

[Oestereich 1998]

Oestereich, B.: Onjektorientierte Softwareentwicklung – Analyse und Design mit der Unified Modeling Language, Oldenbourg Verlag, München, 1998.

[Pahl/Damrath 2000]

Pahl, P.J.; Damrath, R.: Mathematische Grundlagen der Ingenieurinformatik, Springer-Verlag, Berlin, 2000.

[Petri 1962]

Petri, C. A.: Kommunikation mit Automaten. Schriften des Instituts für Instrumentelle Mathematik der Universität Bonn, Bonn, Deutschland, 1962.

[PetriNetWorld 2002]

The Petri Nets World, Internet-Portal zu Petri-Netzen, <http://www.daimi.aau.dk/~petrinet>.

[Piepenburg 1991]

Piepenburg, U.: Ein Konzept von Kooperation und seine Identifikation für die technische Unterstützung kooperativer Prozesse. In: Oberquelle, K. (Hrsg.) Kooperative Arbeit und Computerunterstützung: Stand und Perspektiven, Verlag für angewandte Psychologie, Stuttgart, 1991.

[Protégé 2003]

Stanford Medical Informatics: The Protégé Project Version 1.8. <http://protege.stanford.edu/>
Stand: 04/2003.

[Reichwald 1998]

Reichwald, R. et al.: Telekooperation: Verteilte Arbeits- und Organisationsformen, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1998.

[Rüppel/Theiß 2000]

Rüppel, U.; Theiß, M.: Co-operative Developing of Building Projects in Computer Networks. In: Proceedings of the International Conference for Computational Engineering Science (ICES2K), Los Angeles, USA, 2000.

[Rüppel/Theiß 2002]

Rüppel, U.; Theiß, M.: Fire Protection Concepts with Mobile Agents. In: 9. International Workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE), Darmstadt, Deutschland, 2002.

[Rüppel et al. 2002a]

Rüppel, U.; Meißner, U.F.; Greb S.: Dynamische Bauprozesssteuerung im Netzverbund; In: Bauen mit Computern - Kooperation in IT-Netzwerken, VDI-Berichte 1668, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, Deutschland, 2002.

[Rüppel et al. 2002b]

Rüppel, U.; Meißner, U.F.; Theiß, M.: An Agent-based Platform for Collaborative Building Engineering. In: 9th International Conference on Computing in Civil & Building Engineering, Taipei, Taiwan, 2002.

[Rump 1999]

F. J. Rump: Geschäftsprozessmanagement auf der Basis ereignisgesteuerter Prozeßketten. Formalisierung, Analyse und Ausführung von EPKs, Teubner Verlag, 1999.

[Schneider/Lebeda 2000]

Schneider, U.; Lebeda, C.: Baulicher Brandschutz, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 2000.

[SAG 2003]

Software AG: Tamino XML-Server. <http://www.softwareag.com/tamino>, Stand: 12/2002.

[Seeling 1996]

Seeling, R.: Projektsteuerung im Bauwesen; Teubner-Verlag, Stuttgart, 1996.

[Scheer 1998]

Scheer, A.-W.: ARIS, Modellierungsmethoden, Metamodelle, Anwendungen, Springer-Verlag, 4. Auflage, 1998.

[Schönenborn 1999]

Schönenborn, I.: Prozessorientierter Entwurf einer Boden-Tragwerk-Struktur, Bericht 1/99 des Instituts für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen der Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 1999.

[Sun 2002]

Sun Microsystems Inc.: Java Remote Method Invocation (RMI), Specification for Java 2 SDK v1.4, Sun Microsystems Inc., 2002.

[Theiß 2001]

Theiß, M.: Entwicklung eines agenten-basierten Modellverbundes zur kooperativen Gebaudeplanung; In: Romberg, R. et. al. (Hrsg.), 13. Forum Bauinformatik, Fortschritt-Bericht VDI, München, Deutschland, 2001.

[Theiß 2002]

Theiß, M.: Dynamische Integration von technischen Wissen in den Bauplanungsprozess; In: Bilek, J. (Hrsg.), 14. Forum Bauinformatik, Fortschritt-Bericht VDI, Bochum, Deutschland, 2002.

[Wooldridge/Jennings 1995]

Wooldridge M.J.; Jennings N.R.: Intelligent Agents; In: Proceedings of ECAI - 94 Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages; Amsterdam, Netherlands, 1994; Springer Verlag, Berlin, 1995.

[Xu/Deng 2000]

Xu & Deng: Modeling mobile agent systems with High Level Petri Nets. In: Proceedings: IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics (SMC'2000), Nashville, NT, USA, 2000.