

Vernetzte Bauprozesssteuerung auf der Basis bauteilspezifischer Prozessmuster für geotechnische Konstruktionselemente

Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel

Prof. Dr.-Ing. habil. Udo F. Meißner

Dipl.-Ing. Steffen Greb

Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen

Technische Universität Darmstadt

sekretariat@iib.tu-darmstadt.de

Zusammenfassung

Der Beitrag basiert auf den Ansätzen und Ergebnissen des Forschungsprojekts „Prozessorientierte Vernetzung von Ingenieurplanungen am Beispiel der Geotechnik“, des DFG-Schwerpunktprogramms 1103 „Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau“. Ziel ist die Entwicklung einer netzwerkbasierter Kooperationsplattform zur Unterstützung von Ingenieurplanungen. Methodische Grundlagen hierfür stellen die Petri-Netze mit individuellen Marken in Verbindung mit einer semantischen Informationsbewertung dar. Der Beitrag zeigt an einem Beispiel die grundlegenden Möglichkeiten der Petri-Netze auf und stellt die Steuerung der Planungsprozesse aufgrund von Metainformationen dar. Darüber hinaus wird der Ansatz verfolgt, auf der Basis bauteilorientierter Prozessmuster für geotechnische Konstruktionselemente den veränderlichen Prozessablauf zu erfassen. Abschließend wird ein Weg zur Implementierung gezeigt.

Motivation

Die Realisierung von Projekten des Bauwesens ist gekennzeichnet durch ein hohes Maß an Arbeitsteilung zwischen Bauherren, Fachplanern, Behörden und Unternehmungen oder Prüfinstanzen. Neben den technischen Gesichtspunkten des Bauens müssen daher auch ökonomische und ökologische Bilanzierungen einbezogen werden, um den Anforderungen von Eigentümern und Besitzern gerecht zu werden. Vor diesem Hintergrund kooperiert eine Vielzahl verschiedener Planungsbeteiligter mit oft sehr diversen Sichtweisen. Auf der Basis des World Wide Web (WWW) ermöglichen neue

IK-Technologien, wie e-mail, Net-Meeting oder Virtual Network Computing (VNC) den Austausch von Informationen. Planungsmethoden, die die Kooperation in Computernetzen fachgerecht unterstützen, sind jedoch noch nicht vorhanden. Daher ist das Ziel aktueller Forschungen der Bauinformatik [DFG-SPP 1103 2000], geeignete Software-Methoden und -Werkzeuge zur Unterstützung der vernetzt-kooperativen Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau zu entwickeln.

Ein integratives Prozessmodell für Fachplanungen des Konstruktiven Ingenieurbaus

Voraussetzung für die Entwicklung einer Kooperationsplattform zur Organisation von Fachplanungen des Konstruktiven Ingenieurbaus in Computernetzen ist die Verfügbarkeit eines geeigneten Prozessmodells. Dieses Prozessmodell muss Informationen

- zu Produktmodellen, Verarbeitungsmethoden und Wissen,
- zu Zuständen und zeitbehafteten Vorgängen,
- zu Organisationen und Personen sowie
- die dynamische Kommunikation in Netzwerken

berücksichtigen (Abbildung 1). Dieses Prozessmodell wurde in [Meißner 2002] vorgestellt und verfolgt die in [Scheer 1998] und [Hollingsworth 1995] dargestellten Konzepte. Insbesondere findet darin die dynamische Kommunikation über Wahlverbindungen, die typisch ist für die stark arbeitsteilige Projektbearbeitung im Bauwesen, Berücksichtigung.

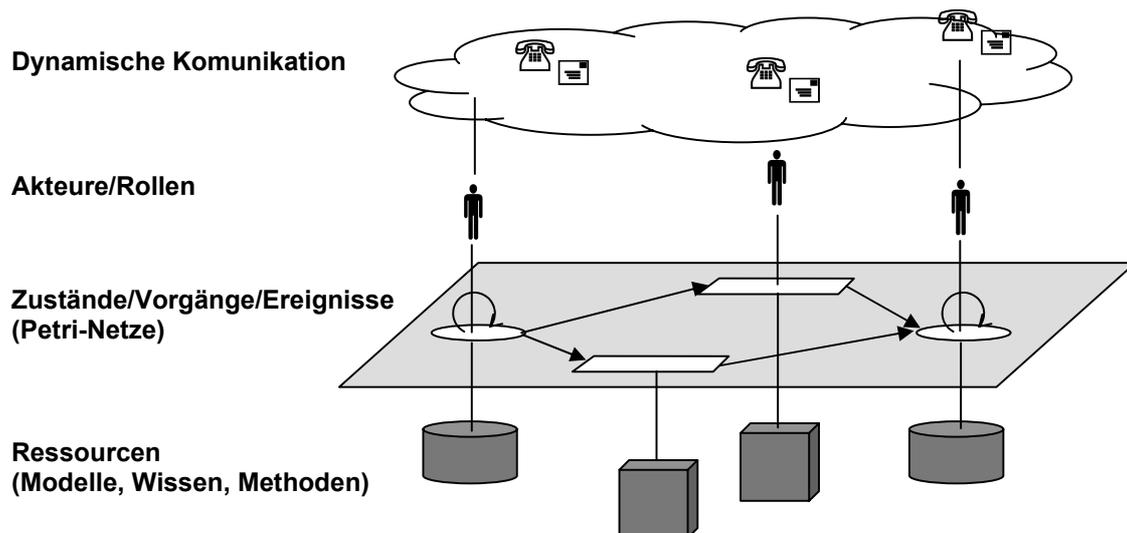


Abbildung 1: Integratives Prozessmodell

Im Rahmen des DFG-Forschungsprojekts „Prozessorientierte Vernetzung von Ingenieurplanungen am Beispiel der Geotechnik“ wird die in Abbildung 1 eingeführte Steuerungsebene auf der Basis von Petri-Netzen mit individuellen Marken ausgebildet. Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer internetbasierten Kooperationsplattform zur Unterstützung der geotechnischen Fachplanungen in einer heterogenen Rechnerumgebung. Dieser Kooperationsplattform liegt ein dreigeteilter Modellgedanke zugrunde:

1. Abbildung der lokalen Fachplanungen,
2. Netzwerkgerechte Organisation des Informationsaustausches zwischen den beteiligten Fachplanern,
3. Entwicklung einer zentralen Steuerungskomponente zur Koordination der Planungsprozesse ([Rüppel 2002][Greb 2001]).

Die methodische Grundlage für die zentrale Steuerungskomponente bilden *Petri-Netze mit individuellen Marken* in Verbindung mit einer semantischen Informationsbewertung auf der Basis von *Metainformationen*. Dabei stellen die Petri-Netze die Grundlage für die Modellierung von Planungsvorgängen, Planungszuständen und deren Abhängigkeiten dar. Individuelle Marken ermöglichen die Repräsentation von Produktmodellinformationen im Petri-Netz. Die Metainformationen dienen zur semantischen Charakterisierung der Produktmodellinformationen und sollen für die Prozesssteuerung genutzt werden.

Petri-Netze für die Modellierung von Prozessen

Petri-Netze bieten grundlegende Möglichkeiten zur Modellierung und Steuerung von synchronen und asynchronen Prozessen in einer verteilten Umgebung [Baumgarten 1990]. Die Entwicklung der Petri-Netze-Theorie zur Prozessmodellierung ist Gegenstand aktueller Forschungen (vgl. [Aalst 1998], [Oberweis 1996]). Im Folgenden wird auf der Basis von Petri-Netze mit individuellen Marken (eng. *Coloured Petri Nets, CPN*) die Modellierung und Steuerung für Planungsprozesse in der Geotechnik vorgestellt. Nach Jensen ist ein farbiges Petri-Netz ein 9-Tupel: $CPN = (\Sigma, P, T, A, N, C, G, E, I)$ [Jensen 1996].

Hierin sind:

- Σ Menge der Typen der individuellen Marken (engl. *colour set*),
- P Menge der Stellen (engl. *places*),
- T Menge der Transitionen (engl. *transitions*),
- A Menge der Kanten (engl. *arcs*),
- N Knotenfunktion (engl. *node function*), die jeder Kante einen Anfangs- und einen Endknoten zuordnet,
- C „Farb“-Funktion (engl. *colour function*), die jeder Stellen einen bestimmten Typ zuordnet,
- G Schaltfunktion (engl. *guard function*), die für jede Transition die Definition einer Schaltbedingung ermöglicht,
- E Kantenausdrücke (engl. *arc expression*), die für jede Kante die Angabe von Ausdrücken ermöglichen,
- I Initialisierungsfunktion (engl. *initialization*), die jeder Stelle eine bestimmte Anfangsmarkierung zuweist.

Abbildung 2 zeigt als Planungsszenario die Erstellung und Prüfung einer Baugrubensicherung als farbiges Petri-Netz mit den definierten Farben und Variablen.

color Dokument = mit: Architekturplan | Baugrundgutachten | Verbauwandstatik | Pruefbericht
color Pruefergebnis = mit: ok | nicht ok | mit Auflagen
color Statikunterlagen = produkt: Dokument * Dokument
color zupruefendeUnterlagen = produkt: Statikunterlagen * Dokument
color gepruefteUnterlagen = produkt: zupruefendeUnterlagen * Dokument * Pruefergebnis

var v: zupruefendeUnterlagen
var w: gepruefteUnterlagen
var x, y, z: Dokument
var e: Pruefergebnis

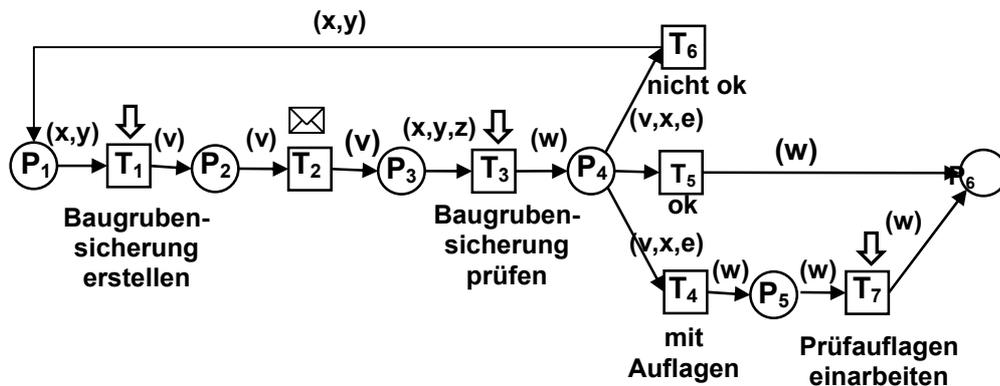


Abbildung 2: Planungsszenario: Erstellen und Prüfen einer Baugrubensicherung

Nachfolgend werden die von Jensen definierten Mengen, Funktionen und Ausdrücke für das in Abbildung 2 dargestellte Szenario gegeben.

$$\Sigma = \{ \text{Dokument, Pruefergebnis, zupruefendeUnterlagen, gepruefteUnterlagen, Statikunterlagen} \}$$

$$P = \{ P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6 \}$$

$$T = \{ T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7 \}$$

$$A = \{ (P_1, T_1), (T_1, P_2), (P_2, T_2), (T_2, P_3), (P_3, T_3), (T_3, P_4), (P_4, T_4), (P_4, T_5), (P_4, T_6), (T_5, P_6), (T_4, P_5), (P_5, T_7), (T_7, P_6), (T_6, T_1) \}$$

$$N(a) = (\text{Anfangsknoten, Endknoten}) \quad \forall a \in A$$

$$C(p) = \begin{cases} \text{Statikunterlagen} & \text{für } p = P_1 \\ \text{zupruefendeUnterlagen} & \text{für } p \in \{ P_2, P_3 \} \\ \text{gepruefteUnterlagen} & \text{für } p \in \{ P_4, P_5, P_6 \} \end{cases}$$

$$G(t) = \begin{cases} x=\text{Architekturplan} \wedge y=\text{Baugrundgutachten} & \text{für } t = T_1 \\ x=\text{Architekturplan} \wedge y=\text{Baugrundgutachten} \\ \quad \wedge z = \text{Verbauwandstatik} & \text{für } t = T_3 \\ e = \text{nicht ok} & \text{für } t = T_6 \\ e = \text{ok} & \text{für } t = T_5 \\ e = \text{mit Auflage} & \text{für } t = T_4 \\ \text{wahr} & \text{sonst} \end{cases}$$

$$E(a) = \begin{cases} (x,y) & \text{für } a \in \{ (T_1, P_1), (T_6, P_1) \} \\ v & \text{für } a \in \{ (T_1, P_2), (P_2, T_2), (T_2, P_3) \} \\ (x,y,z) & \text{für } a = \{ (P_3, T_3) \} \\ w & \text{für } a \in \{ (T_3, P_4), (T_4, P_5), (P_5, T_7), (T_7, P_6), (T_5, P_6) \} \\ (u,x,e) & \text{für } a \in \{ (P_4, T_4), (P_4, T_5), (P_4, T_6) \} \end{cases}$$

$$I(p) = (\text{Architekturplan, Baugrundgutachten}) \quad \text{für } p = P_1$$

In diesem Szenario werden folgende Symbole nach [Aalst 1998] für verschiedene Typen von Transitionen verwendet (Abbildung 3)

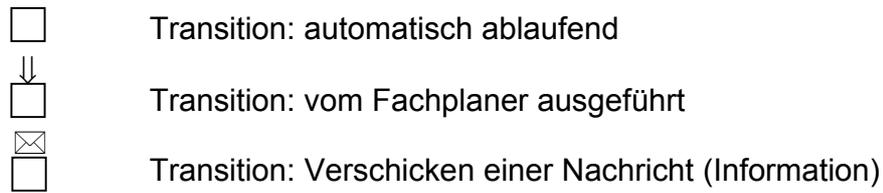


Abbildung 3: Typen von Transitionen nach van der Aalst

Dynamische Steuerung der Planungsprozesse

Die Transitionen T_1 und T_3 werden von Fachplanern ausgeführt. Der Baugrundsachverständige ist für das Erstellen der Baugrubensicherung (T_1) verantwortlich. Die von ihm generierten Informationen (Verbauwandstatik) werden schliesslich vom Prüfsingenieur für Geotechnik geprüft (T_3) und in einem Prüfbericht zusammengefasst. Die Transition T_2 stellt einen Informationsaustausch zwischen diesen Planungsbeteiligten dar. Die generierten Informationen werden im Petri-Netz von Marken repräsentiert. Somit wird der Informationsfluss zwischen den Planungsbeteiligten durch den Fluss der Marken im Netz abgebildet, wobei die verschiedenen Zustände des Netzes mit den realen Planungszuständen korrespondieren.

Darüber hinaus ist die Verzweigung nach der Stelle P_4 vom Ergebnis der Prüfung abhängig. Je nachdem ob die Prüfung „ok“, „nicht ok“ oder nur „mit Auflagen“ in Ordnung ist, werden unterschiedliche Wege im Netz eingeschlagen. Diese Verzweigung stellt eine Steuerung der Planungsprozesse aufgrund des Ergebnisses einer Planungsaktivität dar: die Planungsaktivität „Baugrubensicherung prüfen“ (T_3) ist mit der Generierung „neuer“ Informationen verbunden, nämlich der Erstellung eines Prüfberichts. Neben dem eigentlichen Prüfbericht werden auch Metainformationen generiert, z.B. in der Form „ok“, „nicht ok“ oder „mit Auflagen“. Diese Metainformationen sind - neben dem Prüfbericht - Bestandteil der auszutauschenden Informationen und werden im XML-Format spezifiziert (Abbildung 4). Dabei orientiert sich die XML-Struktur an der Definition individueller Marken, so dass die Metainformationen im Petri-Netz zur Prozesssteuerung genutzt werden können. Abbildung 4 zeigt den entsprechenden Ausschnitt aus dem XML-Informationspaket.

```

<CoopGT>
  <MetaInformation>
    <Colors>
      <Color>
        <Name>Pruefergebnis</Name>
        <Types>
          <Type>String</Type>
        </Types>
        <Values>
          <Value>mit-Auflagen</Value>
        </Values>
      </Color>
    </Colors>
  </MetaInformation>
  <ModelInformation>
    <Description>
      Pruefbericht zur Baugrubensicherung
    </Description>
    <References>
      <Reference>
        <URL>http://localhost/pruefbericht.doc</URL>
      </Reference>
    </References>
  </ModelInformation>
</CoopGT>

```

Abbildung 4: XML-Informationspaket mit Metainformationen

Die Metainformation charakterisiert in diesem Beispiel die eigentliche Produktmodellinformation als Farbe „Pruefergebnis“ mit dem Wert „mit-Auflagen“. Die Farbe „Pruefergebnis“ entspricht dabei dem Typ einer individuellen Marke im Netz und der Wert dieser Marke kann ausgewertet werden. In diesem Beispiel schaltet die Transition T_4 automatisch und sorgt für die Weiterleitung der eigentlichen Produktmodellinformationen (pruefbericht.doc).

Bei dieser Modellierung ist das Netz statisch. Um auch den Aufbau des Netzes veränderlich zu gestalten, werden im Folgenden bauteilorientierte Prozessmuster eingeführt.

Bauteilorientierte Prozessmuster

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Geotechnik der TU Darmstadt wurde eine Analyse von Planungsprozessen in der Geotechnik am Beispiel des Bauprojektes Gallileo durchgeführt. Die Analyse erfasst die Planungszustände, die Tätigkeiten der Planungsbeteiligten, die ausgetauschten Informationen und die Kommunikationen

zwischen den Planungsbeteiligten. Auf den Ergebnissen dieser Analyse aufbauend werden nun bauteilspezifische Prozessmuster abstrahiert [Katzenbach 2003] und mit der Methode der Petri-Netze mit individuellen Marken modelliert. Diese Prozessmuster werden im Format der *Petri Net Markup Language (PNML)* vorgehalten. Die PNML ist ein XML-basiertes Austauschformat für Petri-Netz-Informationen. Die PNML definiert zum einen die Syntax und Semantik zur Beschreibung genereller Eigenschaften von Petri-Netzen. Zum anderen werden spezielle Eigenschaften, z.B. für spezielle Netz-Typen, mit Hilfe der *Petri Net Type Definition (PNTD)* definiert ([Weber 2000], [Jüngel 2002]).

Die grundsätzliche Idee besteht darin, zunächst basierend auf einem groben Netz die Planungsprozesse vorzustrukturieren. So ist zum Beispiel in Abbildung 2 die Transition „Baugrubensicherung erstellen“ eine grobe Beschreibung der Planungsaktivität des Baugrundsachverständigen, sofern eine Sicherung der Baugrube erforderlich ist. Parallel hierzu werden bauteilorientierte Prozessmuster vorgehalten, die dann fallspezifisch in das Netz „eingehängt“ werden. Ein bauteilorientiertes Prozessmuster beschreibt Zustände, Aktivitäten und Informationen, die bei der Planung eines bestimmten geotechnischen Konstruktionselements eine Rolle spielen. So werden z.B. für verschiedene Verbauelemente wie Spundwand, Trägerbohlwand oder Bohrpfahlwand mit oder ohne Rückverankerung Prozessmuster vorgehalten. In diese Prozessmuster können auch Randbedingungen wie anstehendes Grundwasser oder Bauen im Bestand einbezogen werden.

Abbildung 5 stellt diese Idee der dynamischen Gestaltung des Petri-Netzes auf der Basis eines bauteilorientierten Prozessmusters für eine überschnittene Bohrpfahlwand im Grundwasser dar. Zunächst wird in einem „grogen“ Netz die Planungsaktivität „Baugrubensicherung erstellen“ erfasst, so dass eine Vorstrukturierung der Planungsprozesse erfolgt. Das Prozessmuster „überschnittene Bohrpfahlwand im Grundwasser“ modelliert nun im Detail verschiedene nebenläufige Planungsaktivitäten bzw. Planungsvarianten. Dieses Prozessmuster wird ausführlich in [Katzenbach 2003] diskutiert.

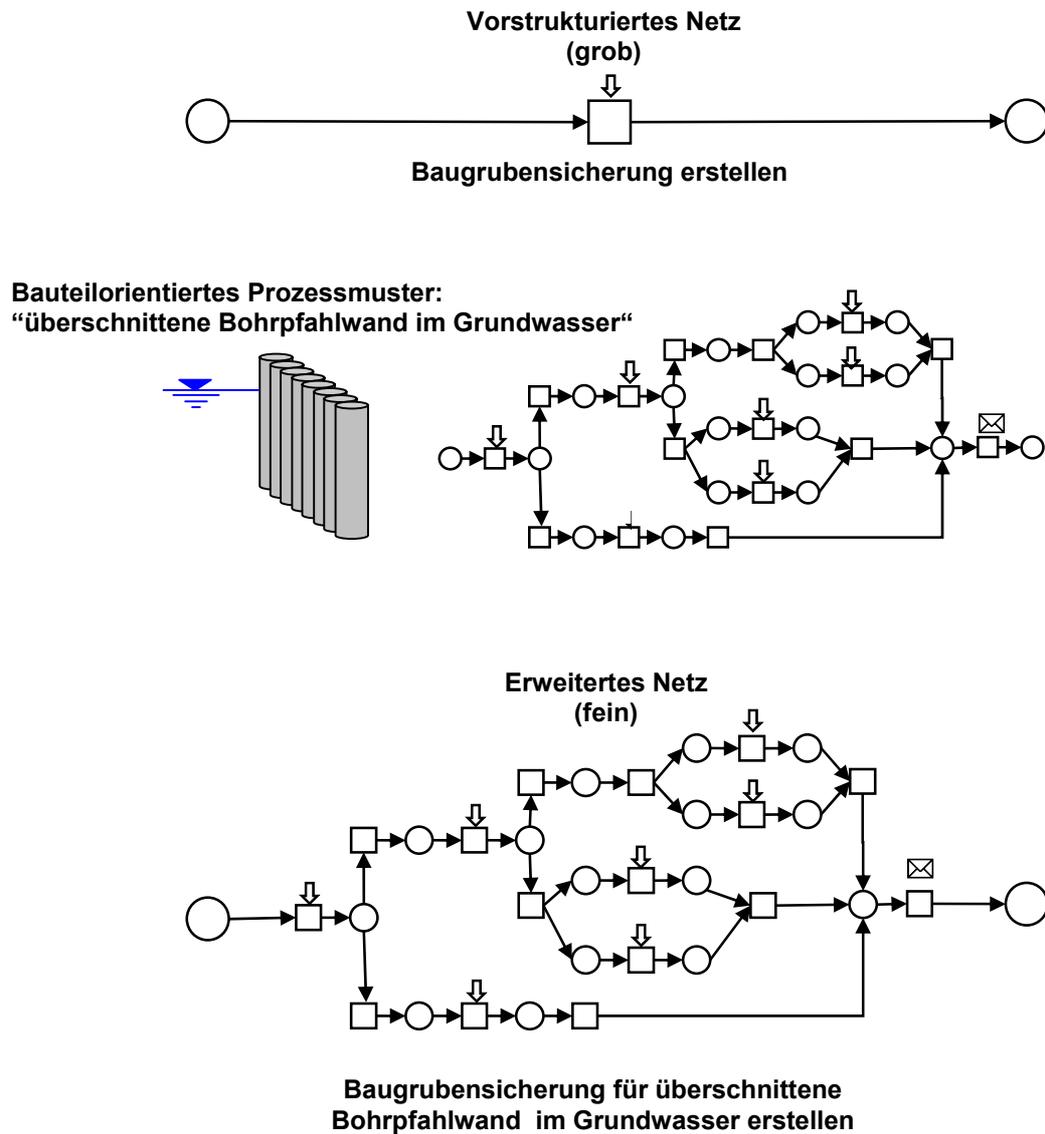


Abbildung 5: Idee des dynamischen Aufbaus des Netzes auf der Basis bauteilorientierter Prozessmuster

Trifft nun der Baugrundsachverständige beim Entwurf der Baugrubensicherung die Entscheidung für die überschnittene Bohrpfahlwand als geotechnisches Konstruktionselement, tauscht er neben der reinen Produktmodellinformation auch Informationen zum Prozessmuster aus. Das Prozessmuster liegt im PNML-Format vor und wird wiederum Bestandteil der Metainformationen (siehe Abbildung 6). Es wird in das vorstrukturierte Netz integriert, so dass für die Koordination der nachfolgenden Planungsaktivitäten nun das erweiterte Netz zur Verfügung steht. Auch für iterative Planungsprozesse kann auf das erweiterte Netz zurückgegriffen werden.

Grundlage für das „Einhängen“ der Prozessmuster in das vorstrukturierte Petri-Netz stellt das Konzept „Ersetzen von Transitionen“ (engl. *transition substitution*) nach Jensen [Jensen 1996] dar. Hierzu werden für das vorstrukturierte Netz so genannte *Socket-Stellen* definiert und für das Prozessmuster werden entsprechende *Port-Stellen* definiert. Das Einfügen des Prozessmusters in das vorstrukturierte Netz basiert auf der Verknüpfung von Socket- und Port-Stellen.

```
<CoopGT>
  <MetaInformation>
    <ProcessPattern>
      <Description>
        PNML Prozessmuster fuer eine ueberschnittene
        Bohrpfahlwand
      </Description>
      <pnml>
        <net id="PN_IKM" type="stNet">
          <name>
            <value>overlapping bored pile wall</value>
          </name>
          ...
        </pnml>
      </ProcessPattern>
    </MetaInformation>
    <ModelInformation>
      <Description>
        Entwurf für die Baugrubensicherung
      </Description>
      <References>
        <Reference>
          <URL>http://localhost/baugrubensicherung.doc</URL>
        </Reference>
      </References>
    </ModelInformation>
  </CoopGT>
```

Abbildung 6: XML-Informationspaket mit Metainformationen zur Beschreibung eines Prozessmusters

Prototypische Implementierung

Zentrales Element für die Gestaltung der internetbasierten Kooperationsplattform ist die Implementierung des netzwerkgerichteten Petri-Netz-Servers: *ProMiSE* (Process Model in Structural Engineering). Diese Eigenentwicklung dient zur Modellierung und Simulation der Planungsprozesse sowie zur Laufzeitsteuerung der Kommunikation zwischen den Planungsbeteiligten. Er ist in Java implementiert und ist bis dato in der Lage, Petri-Netz-Informationen im PNML-Format auf der Basis der Java-Socket API zu empfangen. Darüber hinaus ist es aktuell möglich, die Simulation auf der Basis von Stellen-/Transitions-Netzen durchzuführen.

Um den Informationsaustausch und die Interoperabilität des Petri-Netz-Servers mit den Client-Anwendungen sicherzustellen, werden WebServices in Betracht gezogen. WebServices in Verbindung mit dem SOAP Protokoll (Simple Object Access Protocol) stellen einen technologischen Ansatz dar, um den Informationsaustausch auf der Basis standardisierter Protokolle wie HTTP und SMTP zu organisieren. Sowohl für WebServices als auch für SOAP stellt die Java-Programmiersprache Schnittstellen zur Verfügung (z.B.: [Chappell 2002], [Englander 2002] or [Apache XML 2002]).

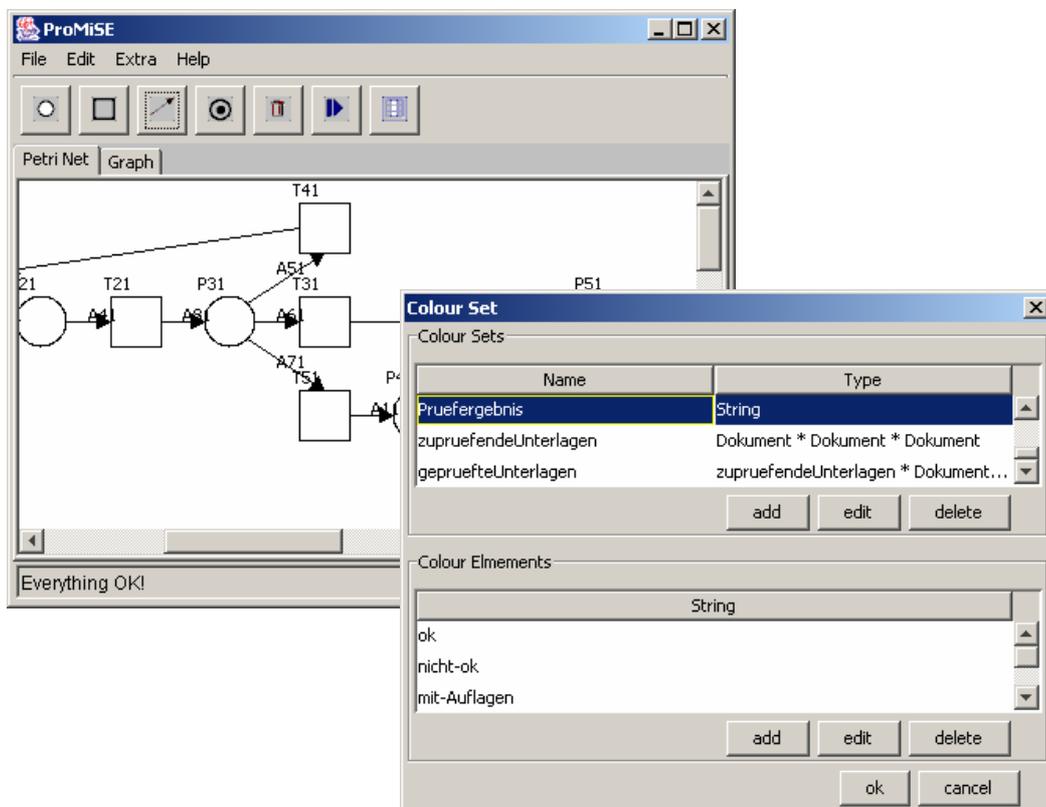


Abbildung 7: Petri-Netz-Server *ProMiSE*

Die Implementierung eines Petri-Netz-Servers mit individuellen Marken erfolgt basierend auf den Formulierungen von Jensen [Jensen 1996] und der Referenzimplementierung Design/CPN [DesignCPN 1993]. Abbildung 7 zeigt die Modellierung von Planungszuständen und Planungsinformationen mit dem Petri-Netz-Server *ProMiSE* sowie die Definition einer „Menge von Farben“ als Grundlage für die Gestaltung eines farbigen Netzes.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag zeigt die Möglichkeiten eines Integrativen Prozessmodells zur Organisation der Planungsprozesse des Konstruktiven Ingenieurbaus auf und stellt als methodische Grundlage für die Steuerung der Kommunikation zwischen den Planungsbeteiligten die Petri-Netze mit individuellen Marken in Verbindung mit einer semantischen Informationsmodellierung dar. An einem Beispiel aus der Geotechnik ist die grundlegende Dynamik der Petri-Netze veranschaulicht und die Steuerung der Planungsprozesse aufgrund der Metainformation dargestellt. Um das Netz zusätzlich veränderlich zu gestalten, wird die Methodik der bauteilorientierten Prozessmuster eingeführt. Abschließend wird der aktuelle Stand der Implementierung eines netzwerkgerechten Petri-Netz-Servers vorgestellt.

Basierend auf diesen Ansätzen wird in der Zukunft der Schwerpunkt auf der Implementierung eines farbigen Petri-Netz-Servers liegen. Darüber hinaus wird die Abstraktion von bauteilorientierten Planungsprozessmustern in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geotechnik der TU Darmstadt vorangetrieben.

Literatur

- van der Aalst, W. M. P.: "The Application of Petri Nets to Workflow Management", in: Journal of Circuits, Systems and Computers 8(1), S. 21-66, World Scientific, Singapur, 1998
- Baumgarten, B.: Petri-Netze – Grundlagen und Anwendungen, Spektrum-Akademischer-Verlag, 1990
- Chappell, D. A. & Jewell T.: Java™ Web Services, O'Reilly, 2002
- DesignCPN: Design/CPN Tutorial for X-Windows, Version 2.0, <http://www.daimi.au.dk/designCPN/man/Tutorial/Tutorial.All.pdf>, 1993
- DFG-SPP: DFG Schwerpunktprogramm 1103 „Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau“, <http://www.dfgspp1103.de>
- Englander, R.: Java™ and SOAP, O'Reilly, 2002

- Greb, S. & Giere, J.: Steuerung der Kommunikation im geotechnischen Planungsprozess, in: Romberg et. al.: 13. Forum Bauinformatik, München 2001, Fortschritt-Bericht VDI, Oktober 2001
- Hollingsworth, D.: Workflow Management Coalition – The Workflow Reference Model, Document Number WfMC-TC-1003, www.wfmc.org, 1995
- Jensen, K.: Coloured Petri Nets – Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use, Vol. 1, 2. Ausgabe, Springer-Verlag, 1996
- Jünger M. et al.: The Petri Net Markup Language, in: Petri Net Newsletter, Nr. 59, S. 24-29, 2000
- Katzenbach, R. & Giere J.: Abstraktion von Prozessmustern im geotechnischen Planungsprozess, angenommen bei: Internationales Kolloquium über Anwendung der Informatik und der Mathematik in Architektur und Bauwesen (ikm; Tagungs-CD-ROM), Weimar, 2003
- Meißner, U. F.: Stand und Perspektiven der IuK-Forschung im Bauwesen, VDI-Fachtagung: Bauen mit Computern – Kooperation in IT-Netzwerken, Bonn, 11.-12. April 2002, http://www.iib.bauing.tu-darmstadt.de/meissner_vdi.pdf
- Oberweis, A.: Modellierung und Ausführung von Workflows mit Petri-Netzen, Teubner-Verlag, 1996
- Rüppel, U.; Meißner U.F.; Greb, S.: Dynamische Bauprozesssteuerung im Netzverbund. In: Tagungsband der Fachtagung Bauen mit Computern - Kooperation in IT-Netzwerken, Bonn 2002, Fortschritt-Bericht VDI, ISBN 3-18-091668-0, S. 199-217, April 2002
- Scheer, A.-W.: ARIS, Modellierungsmethoden, Metamodelle, Anwendungen, Springer-Verlag, 4. Auflage, 1998
- Weber, M. & Kindler, E.: The Petri Net Markup Language, in: H. Ehrig, W. Reisig, G. Rozenberg, H. Weber (Eds), Petri Net Technology for Communication Based Systems, Springer LNCS, 2002