Petrinetze als Darstellungstechnik zur Modellierung in der Soziologie

Michael Köhler Heiko Rölke
University of Hamburg, Department of Computer Science
Vogt-Kölln-Straße 30, D-22527 Hamburg
{koehler, roelke}@informatik.uni-hamburg.de

Zusammenfassung

In dieser Arbeit stellen wir dar, inwieweit die Petrinetztheorie mit ihren Konzepten einen Beitrag zur Beschreibung soziologischer Phänomene leisten kann und wie sie im DFG-Projekt „Agieren in sozialen Kontexten“ (ASKO) zur Fundierung der vom ASKO-Projekt entwickelten Architektur eines sozionischen Agentensystems grundlegend eingesetzt wird.

1 Einleitung

Als einen zentralen Gegenstand begreift die Sozionik die „soziale“ oder gesellschaftliche Komponente innerhalb von Multiagentensystemen. Programmatisch stellt Malsch in [Mal96] die Frage: „Wie kann die Technik von der Soziologie lernen?“. Wechselseitiger Methodentransfer und die besonderen Herausforderungen hybrider Systeme werden in der Darstellung des Schwerpunktprogrammes „Sozionik“ [Soz98] zu folgenden drei zentralen Leitthemen zusammengefaßt:

> „(1) Die moderne Gesellschaft bietet mit ihren sozialen Rollen und kulturellen Werten, Normen und Konventionen, Bewegungen und Institutionen, Macht- und Herrschaftsverhältnissen ein reichhaltiges Reservoir an Vorbildern für die Modellierung von Multiagentensystemen. Dabei kann die Informatik von der Adaptivität, Robustheit, Skalierbarkeit und Reflexivität sozialer Systeme lernen und ihre Bauprinzipien in leistungsfähige Technologien umsetzen.
>
> (2) Umgekehrt kann die Soziologie von der Informatik profitieren, indem sie die Multiagententechnik als Simulationswerkzeug zur Überprüfung und Ausarbeitung ihrer eigenen Begriffe, Modelle und Theorien nutzt. Hier eröffnen sich neuartige Möglichkeiten, um dynamische Wechselwirkungen zwischen Mikrophänomenen (soziales Handeln) und Makrophänomenen (gesellschaftliche Struktur) nachzubilden und experimentell durchzuspielen.
>
> (3) Schließlich stellen die zukünftigen Anwendungen von ‚hybriden Gemeinschaften‘, die aus künstlichen Agenten und menschlichen Nutzern bestehen, eine ganz besondere Herausforderung für beide Fachdisziplinen dar. Hier geht es darum, zu untersuchen, wie die Hybridgemeinschaften unseren zukünftigen Umgang mit Technik (und mit unseren Mitmenschen) verändern werden.“

Das Sozionikprojektes „Agieren in sozialen Kontexten“ (ASKO) ([vLMV01]) greift diese Fragestellungen im Forschungsgegenstand der öffentlich-rechtlichen Institutionen auf, die derzeit einem starken Veränderungsdruck unterliegen.

Zielsetzung des ASKO-Projektes ist die Entwicklung von informatischen Strukturierungs- und Verifikationskonzepten sowie einer soziologischen Middle-Range-Theorie für Entscheidungsverhalten in öffentlich-rechtlichen Institutionen auf Basis eines intuitiven petrinetzbasierten Ansatzes zur Spezifikation und Entwicklung von Agenten- und Multiagentensystemen. Dabei werden sowohl in der Informatik als auch in der Soziologie in theoretischen und praktischen Fragestellungen grundlegende Muster von Strukturen und Handlungen erarbeitet und so aufeinander bezogen, daß ein den wissenschaftlichen Ansprüchen beider Disziplinen gerecht werdendes und operationales sozionisches Modell resultiert. Theorien und Verfahren beider Disziplinen werden so verknüpft, daß ein software-technisch angepasstes, formal im Sinne der kompositionalen Verifikation abgesichertes und sowohl gesellschafts- als auch organisationssoziologisch fundiertes Multiagentenmodell sowie ein Modellierungs- und Darstellungswerkzeug für Entscheidungsverhalten in öffentlich-rechtlichen Institutionen entsteht.

Der Fokus der Analyse liegt dabei auf Entscheidungen innerhalb der Institution der Universität mit dem Anspruch, durch Integration von Gesellschafts- und Organisationstheorien über bisherige Erklärungsmuster mit einem häufig aus der ökonomischen Theorie stammenden Bias hinaus zu gelangen. Grundlegende informatische und soziologische Theoriearbeit wird dabei von qualitativ orientierten empirischen Studien begleitet. Es wird erwartet, daß die hierauf basierenden Ergebnisse auch auf Entscheidungen in anderen öffentlich-rechtlichen Institutionen übertragbar sind.

Um sich einem solchen Ziel zu nähern, werden mehrere Fragestellungungen bearbeitet. Die erste Fragestellung widmet sich der Analyse relevanter Gesellschaftstheorien einerseits und oganisationssoziologischer Theorien andererseits. Darüberhinaus verfolgt ASKO einen theorievermittelnden Ansatz, der diese beiden Stränge zu einer middle-range-Theorie verbindet: Neben Organisationstheorien werden ausgewählte allgemeine Sozialtheorien herangezogen und hinsichtlich ihrer Erklärungsleistungen für den Forschungsgegenstand ausgewertet. Ziel ist es, Erklärungswerkzeuge für Entscheidung und Verhalten in öffentlich-rechtlichen Institutionen zu schmieden. Dies verstehen wir innersoziologisch als Beitrag zur „Rückkehr der Gesellschaft“[1] in die Organisationstheorien, zur gesellschaftstheoretischen Grundlegung der Organisationstheorie.

Besonders von Interesse ist die Erfassung von Kooperationsmechanismen, Handlungs- und Interaktionsmustern und des Mikro-Makro-Zusammenhangs, von Stabilität und Steuerung der Organisationen sowie von dynamischen Transformationsprozessen und emergenten Phänomenen – immer auch im Hinblick auf deren Entstehung, Wirkung und wechselseitiger Bedingtheit. Konkret widmen sich diese Arbeiten der Beschreibung von Gruppenprozessen und -verhalten, die im weiteren Projektverlauf Strukturierungsmaxime für Multiagentensystemen ergeben.

Die middle-range-Theorie bildet die Ausgangsbasis für die Modellbildung eines sozionischen Agentenmodells – SAM genannt –, das Fragen zur Strukturierung von Interaktion und Kooperation thematisieren soll, insbesondere für öffentlich-rechtliche Institutionen. Dieses Modell soll somit frei von den ad-hoc gebildeten Vorstellungen vom Sozialen sein, die sich derzeit in der Beschreibung von Agentengesellschaften ausmachen lassen. Dies geschieht durch die gemeinsame Entwicklung und Beschreibung des sozionische Modells und seiner speziellen Anwendung auf einen universitären Fachbereich. Besonderen Wert wird bei der Entwicklung der sozionischen Agentenarchitektur auf die Ausarbeitung adäquater Darstellungstechniken und Strukturierungsmaxime für sozionische Agenten gelegt. Die Beschreibung dieser Darstellungstechniken ist Gegenstand der weiteren Abschnitte.

[1] vgl. dazu den Beitag von Ortman, Sydow und Türk in [OST97].

2 Petrinetze als sozionische Darstellungstechnik

Die Zielsetzungen des ASKO-Projektes beruhen auf der konstruktiven Zusammenarbeit zweier Fachdisziplinen. Verbunden mit dieser Form der Zusammenarbeit ist auch der Wunsch nach einer sozionisch fundierten Darstellungstechnik, um Vorgänge und Beziehungen im Anwendungsbereich öffentlich-rechtlicher Institutionen zu beschreiben, und zwar in einer Art und Weise, die sowohl für alle Beteiligten intuitiv verständlich ist als auch eine hohe Anschlußfähigkeit zu der im Projekt entwickelten Agentenarchitektur besitzt. Eine solche Darstellungstechnik besitzt demnach für ASKO eine ähnlichen Bedeutung wie die „Unified Modelling Language (UML)“ [RJB99] für die objektorientierte Entwicklung.

Eine solche Darstellungstechnik – kombiniert mit einer Vorgehensweise, wie eine Darstellung im Anwendungsfall erzeugt werden soll – stellt die sozionische Fortschreibung der objektorientierten Anwendungsentwicklung im Kontext der hybriden Systeme dar. Verbunden mit Software-Werkzeugen, die diese Vorgehensweise unterstützen, erarbeitet das Projekt somit einen ganzheitlicher Ansatz zur Behandlung zentraler Konzepte komplexer sozio-technischer Systeme.

Um eine gemeinsame Arbeit von Soziologen und Informatikern zu ermöglichen, ist es notwendig, eine gemeinsame Basis in Form einer sozionischen Beschreibungstechnik zu finden. Die Entwicklung eines sozionisches Agentenmodells, wie es vom ASKO-Projekt angestrebt wird, geschieht dabei unter Verwendung einer angepaßten Modellierungssprache, die wir vermittelnde Petrinetze (kurz: vermittelnde Netze) nennen, da sie zwischen den Modellen der Soziologie und der Informatik vermitteln helfen. Vermittelnde Netze basieren auf dem formalen Modell der Petrinetze, die auf die grundlegenden Arbeiten von Carl Adam Petri ([Pet62]) zurückgehen. Wir verwenden dabei sowohl das Modell der einfachen als auch auf höheren Netzklassen. Insbesondere verwenden wir das Paradigma der „Netze in Netzen“ nach Valk [Val96, Val98, Val00] und den darauf aufbauenden Formalismus der Referenznetze ([Kum98, Kum01]).[2]

2.1 Eine sozionisch fundierte Darstellungstechnik: Vermittelnde Netze

Ziel des ASKO-Projektes ist unter anderem die Entwicklung eines sozionisch adäquaten Multiagentensystems auf der Basis eines sozionischen Modells von Entscheidungsprozessen. Die gemeinsame Beschreibung eines solchen sozionischen Modells entwickelt sich aus der Iteration einer zyklischen Verschränkung von textuellen Beschreibungen und formaleren Darstellungen mittels Petrinetzen. Dadurch münden Modellentwicklung und -modifkation in der einen Disziplin direkt in die Arbeit der jeweils anderen. Dies bildet die Grundlage einer weiteren Überarbeitung des Modells usw. Wir erhalten somit einen sich mehrfach wiederholenden Zyklus. [3]

Die im Projekt entwickelten Petrinetzmodelle können durch soziologische Einsichten kritisiert werden und tragen so zu einem Erkenntnisgewinn für beide Seiten bei: die Informatik gelangt in dieser zyklischen Herangehensweise zu einer ständigen Verfeinerung der sozionischen Fundierung der sozionischen Multiagentensystem-Architektur SAM[4], die Soziologie profitiert von dieser engen Wechselwirkung, indem durch sie Inkonsistenzen, Unklarheiten und „blinde

[2]Für eine Einführung in die Petrinetztheorie siehe [Rei85]. Für eine Beschreibung gefärbter Netze nach Jensen siehe [Jen92].

[3]Diese kreislaufartige Entwurfsmethode ist in der Informatik unter dem Schlagwort „evolutionäres, partizipatives Prototyping“ bekannt (s. dazu [Flo93]).

[4]SAM ist die Abkürzung für „Sozionisches Agenten Modell“.

Flecken“ soziologischer Theorien allein schon durch den Versuch ihrer partiellen Formalisierung – aber auch durch ihre Modellierung – aufgedeckt und mittelfristig „richtige“ Aussagen experimentell validiert werden (vgl. Abb. 1).

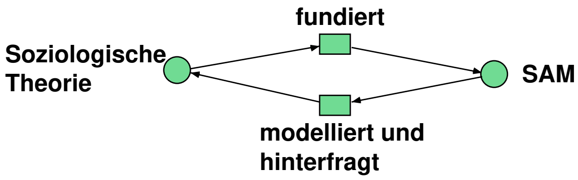


Abbildung 1: Sozionische Arbeit

Die Modellierungserfahrungen innerhalb des Projektes zeigen, daß eine textuelle soziologische Theorie (oder auch eine speziell sozionische) auf der einen Seite und eine sozionische Multiagentenarchitektur auf der anderen Seite als Beschreibungstechnik zu unterschiedlich sind, als daß sie vergleichbar wären. Um den Transfer der soziologischen Theorie in eine sozionische Architektur zu ermöglichen, ist daher eine Beschreibungstechnik notwendig, die zwischen Text und Modell vermitteln hilft.

Die Ebene, die diese Lücke schließt, ist die Ebene der „vermittelnden Netze“. Es handelt sich dabei um eine einfache Form der Petrinetze, die es zum einen ermöglicht, soziologische Sachverhalte zu visualisieren, die zum anderen aber dem Petrinetzformalismus von SAM so nahe steht, daß ein Vergleich zwischen den vermittelnden Netzen und den Agentennetzen möglich ist (vgl. Abb. 2). Auf diese Art und Weise ist es gewährleistet, daß beide Projektpartner – Soziologie und Informatik – zu der Entwicklung von SAM beitragen können.[5]

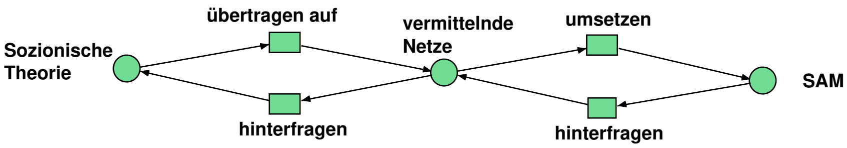


Abbildung 2: Einsatz vermittelnder Netze

Unsere Beschreibungstechnik stützt sich dabei insbesondere auf die Petrinetztheorie. Die Verwendung von Petrinetzen bietet zahlreiche Vorteile:

- Darstellung von logischen Beziehungen
- Darstellung von Ressourcen
- Abstraktion: Verfeinerung/Vergröberung sowie Faltung von strukturidentischen Teilen zu einer Einheit
- Hierachisierung
- Prozesse und ihr Bezug zur Abstraktion

[5] Eine ausführliche Darstellung dieses Vorgehens und ihrer Ergebnisse ist in der Berichtsreihe des ASKO-Projektes dargelegt – siehe zum Beispiel [HKL$^+$00b, HKL$^+$00a, KLMR00].

Diese Punkte werden wir im folgenden im Detail darstellen und aufzeigen, wie diese Elemente nutzbringend für sozionische Arbeit eingesetzt werden können. Wir geben in diesem Rahmen bewußt keinerlei formale Definitionen, sondern beschreiben die Konzepte exemplarisch für den sozionischen Kontext.[6] Stattdessen verwenden wir einfache Netze, die im Laufe der Projektarbeit erstellt wurden.

2.2 Netzelemente in vermittelnden Netzen

Um die Beziehungen soziologischer Theorien in einer textnahen Form darstellen zu können, bedienen wir uns in vermittelnden Netzen verschiedener Kantentypen. Wir verwenden eine Notation, die folgende Elemente unterscheidet (vgl. Abb. 3):

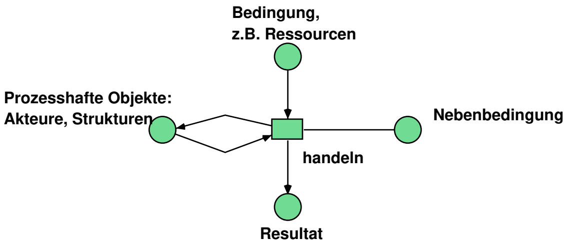


Abbildung 3: Allgemeines vermittelndes Netz

- Prozeßhafte Objekte der Beschreibung. Dies können Akteure, Strukturen usw. sein. Prozeßhafte Objekte sind zustandsbehaftete Einheiten. Um dies darstellen zu können, verbinden wir die zugehörige Stelle mit Doppelkanten, was sowohl den Erhalt des Objektes an sich andeutet als auch seine mögliche Veränderung im Laufe eines Prozesses.

- Bedingungen. Damit sind sowohl Ressourcen als auch allgemeine Konzepte, wie beispielsweise Emotionen, gemeint. Ressourcen werden durch das Schalten einer Transition „verbraucht“. Sie werden mit einfachen, einlaufenden Kanten notiert.

- Resultate. Ähnlich zu den Bedingungen sind auch hier Ressourcen und Konzepte gemeint: so kann beispielsweise „soziale Stabilität“ ein Resultat sein. Resultate werden „erzeugt“ und mit einfachen, auslaufenden Kanten notiert.

- Nebenbedingungen. Damit sind Objekte gemeint, die als Katalysator fungieren: sie verändern sich nicht, werden also auch nicht verbraucht, sie sind aber für die Aktivität unbedingt erforderlich. Sie werden durch Testkanten (ohne Pfeilspitzen gezeichnet) notiert.

Um beispielsweise beschreiben zu können, daß es den allgemeinen Wunsch nach Erwartungssicherheit gibt, der einen Akteur anhält, seine Umgebung zu beobachten und so mit anderen Akteuren Erwartungsstrukturen aufzubauen, so beschreiben wir dies durch das in Abb. 4 dargestellte Modell.

[6] Interessierte Leser sind auf ein Einführungswerk verwiesen, z.B. auf [Rei85].

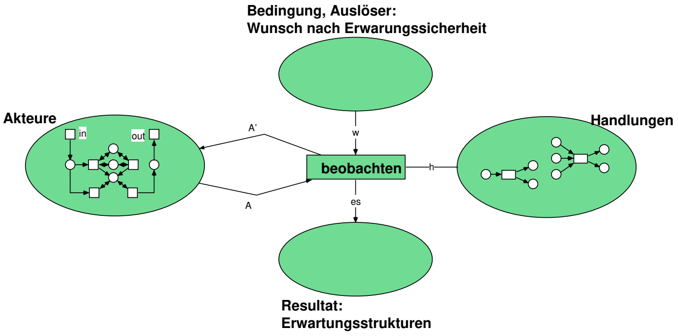


Abbildung 4: Beispiel für unterschiedliche Kanten

2.3 Darstellung von logischen Beziehungen

Schon das einfache Modell der Bedingungs/Ereignis Netze (B/E Netze) erlaubt es, kausale Abhängigkeiten darzustellen. Charakterisiert man eine Handlung durch die Handlungsbedingungen und die Handlungswirkungen, so paßt dies exakt zum grundlegenden Modell der B/E-Netze (vgl. dazu Abb. 5).

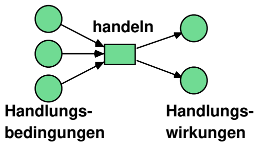


Abbildung 5: Handlung

Der rein kausale Aspekt betrifft die statischen Beziehungen eines Netzes. Die Dynamik einer Situation wird durch die Markierung eines Netzes angegeben. Für einfache B/E Netze bedeutet eine markierte Stelle, daß die Bedingung, die die Stelle bezeichnet, gilt. Eine unmarkierte Stelle bedeutet, daß die Bedingung nicht gilt.[7]

Eine Situation, in der nicht alle Handlungsbedingungen erfüllt sind, ist in Abb. 6 dargestellt: nur zwei der drei Bedingungen sind erfüllt, d.h. markiert. Die Transition[8] handeln ist daher *nicht aktiviert*, man sagt auch, sie kann nicht schalten.

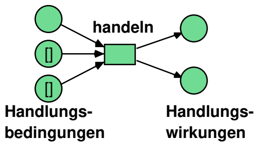


Abbildung 6: Nicht mögliche Handlung

Anders dagegen die Situation in Abb. 7: dort gelten alle Bedingungen, die Transition ist aktiviert. Das Ereignis handeln, *kann* eintreten, wenn es aktiviert ist, es muß aber nicht. Wenn es eintritt, gelten nach dem Eintritt die Nachbedingungen, in diesem Fall also die Handlungswirkungen (vgl. die Veränderung in Abb. 7).

[7]Stellen werden daher in B/E Netze auch als Bedingungen bezeichnet.
[8]Transitionen werden in B/E-Netzen daher auch Ereignisse genannt.

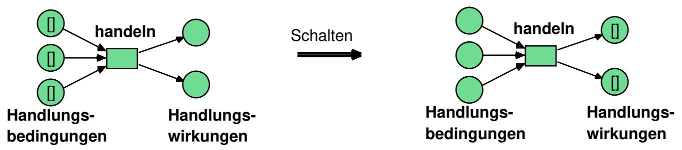


Abbildung 7: Mögliche Handlung zusammen mit dem eingetreten Ereignis

2.4 Darstellung von Ressourcen

Betrachtet man Stellen nicht nur als Bedingungen (die nur erfüllt oder nicht erfüllt sein können), sondern als Form von Ressource, so geht man von B/E Netzen hin zum Modell der Stellen/Transitions Netze (S/T Netze).

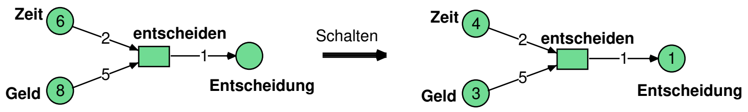


Abbildung 8: Ressourcen

In S/T Netzen können Stellen mehrfach markiert werden, um das mehrfache Vorhandensein von Ressourcen zu beschreiben. Ein Ereignis kann auch mehrere Ressourcen benötigen. So benötigt das Netz in Abb. 8 die Ressourcen Zeit und Geld, dabei stehen 6 Zeit- und 8 Geldeinheiten zur Verfügung. Zum Schalten der Transition entscheiden werden 2 Zeit- und 5 Geldeinheiten benötigt und eine Entscheidung wird produziert. Das Schalten bewirkt, daß die entsprechenden Ressourcen genutzt werden und die abgebildete Situation entsteht.

2.5 Hierachisierung

Hierachisierung von Konzepten ist eine wichtige Technik zur Darstellung von Theorien. Eine solche Hierachisierung läß sich in natürlicher Weise durch das Paradigma der „Netze in Netzen“ darstellen. Nach dieser Beschreibung sind Netze wiederum Marken. Dadurch lassen sich strukturelle Beziehungen in Theorien, die auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus formuliert sind, angemessen abbilden.

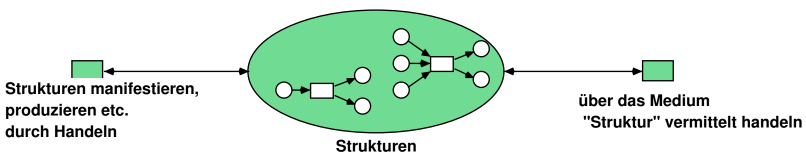


Abbildung 9: Strukturen als Medium

Betrachten wir Anthony Giddens mit seinem Konzept der Dualität von Struktur. Er begreift Strukturen zum einen als Medium und zum anderen als Ergebnis des Handelns; d.h. Strukturen werden immer erst durch ihren Gebrauch (Handlungen) manifestiert. In dieser Beschreibung sind Strukturen Bestandteil einer Metastruktur, die über die Struktur argumentiert. Eine solche Meta-Struktur ist als „Netz im Netz“ wird modelliert und ist in Abb. 9 dargestellt.

2.6 Abstraktion

Abstraktion ist das zentrale Konzept, um generalisierte Aussagen zu erhalten. Dazu existieren zwei zentrale Konzepte: zum einen die Verfeinerung (bzw. umgekehrt, die Vergröberung), die Differenzierungen ausblendet und Sachverhalte auf das Gemeinsame reduziert; zum anderen die Faltung, die Gleichartiges gleichsetzt.

2.6.1 Verfeinerung und Vergröberung

Betrachten wir das Beispiel der wechselseitigen Konstitution von Handeln und Strukturen. Soziales Handeln wird - nicht ausschließlich, aber doch wesentlich - durch soziale Strukturen geprägt. Doch auch in die andere Richtung ist zu denken: Strukturen werden durch Handeln hervorgebracht, auch wenn dies nicht immer beabsichtigt ist. Dies ist in Abb. 10 dargestellt.

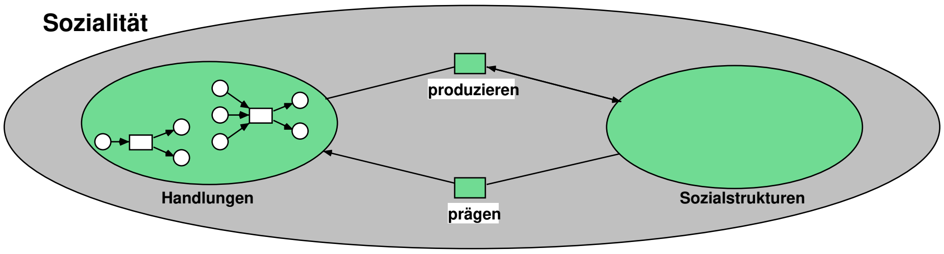


Abbildung 10: Wechselseitige Konstitution

Betrachten wir nun *verfeinernd*, wie dies konkreter zu fassen ist, hier am Beispiel der Transition produzieren, die allgemein die Produktion von Sozialstrukturen durch Handlungen beschreibt. Schimank beschreibt in [Sch00], daß die strukturellen Effekten des handelnden Zusammenwirkens Erzeugung, Erhaltung und Veränderung von Strukturen sind. Eine solche Verfeinerung ist in Abb. 11 dargestellt: dort wurde die Transition produzieren zu den drei Transition erzeugen, erhalten und verändern verfeinert. Eine solche Verfeinerung heißt *Transitionsverfeinerung*.

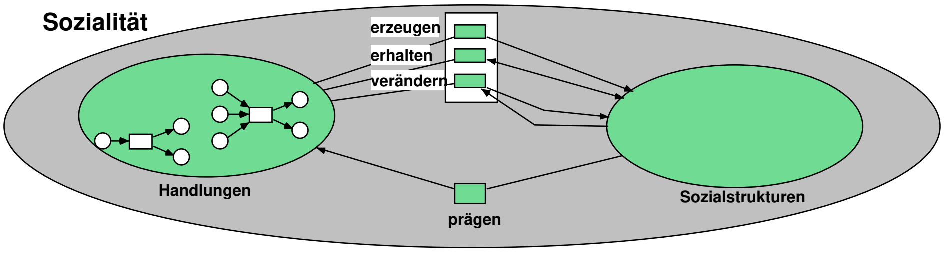


Abbildung 11: Reproduktionsformen der Struktur

Schimank führt weiter aus, daß sich die Effekte auf drei Arten von Strukturen beziehen, nämlich den Deutungs-, Erwartungs- und Konstellationsstrukturen. Diese Verfeinerung der Stelle Sozialstrukturen zu den Stellen Deutungsstrukturen, Erwartungsstrukturen und Konstellationsstrukturen ist in Abb. 12 dargestellt. Eine solche Verfeinerung heißt *Stellenverfeinerung*.

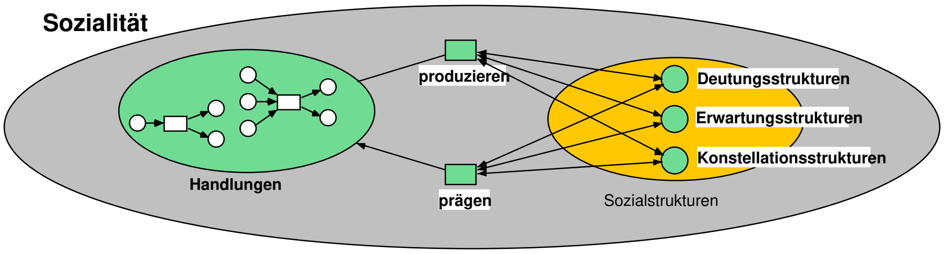


Abbildung 12: Formen der Struktur

2.6.2 Faltung

Um zu einer Erklärung zu gelangen, warum jemand so und nicht anders handelt, muss man sich zunächst die Menge und Verschiedenheit der Strukturelemente vor Augen halten, die auf einen Handelnden in einer bestimmte Situation wirken. Alle Strukturelemente in ihren jeweiligen Ausprägungen schränken teilweise die Möglichkeiten des Handelnden ein, teilweise erweitern sie sie. Dabei überlagern sie sich vielfach.

Nach Schimank wird die Handlungswahl („Logik der Selektion“) geleitet von dem Nebeneinander der vier Akteurmodelle, die auf teilweise sehr unterschiedliche Elemente von Strukturen rekurrieren, um die Verknüpfung zur „Logik der Situation“ herzustellen.

Eine Modellierung dieser Darstellung ist in Abb. 13 zu sehen. Jedes Handeln (hier dargestellt durch die evtl. unendliche Zahl an Transitionen $\mathsf{handeln}_n$) bezieht sich auf die Menge aller Strukturelemente und Situationselemente, dargestellt jeweils durch die gleichnamigen Stellen. Man erkennt beispielsweise, daß die Situation den Bezug zu Strukturelementen maßgeblich bestimmt: so unterscheiden sich handeln 1 und handeln 2 nur geringfügig bezüglich der Strukturelemente, nämlich im Strukturelement 1. Dieser Unterschied ist durch die Situation beschrieben: in diesem Fall ist das Strukturelement 1 in Situation 1 relevant, für Situation 2 jedoch nicht.

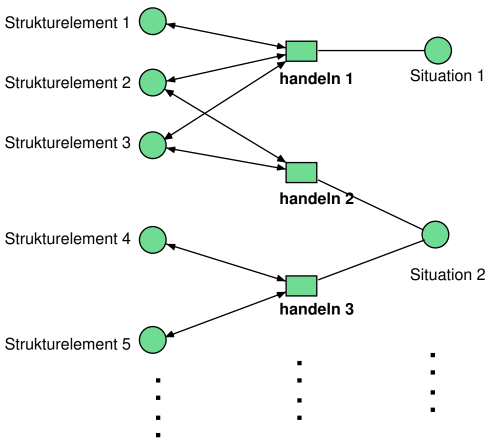


Abbildung 13: Verknüpfung von Strukturelementen durch die Situation

Die einzelnen Handlungen sind jedoch Ausprägungen des gleichen strukturellen Phänomens: Strukturelemente und Situation zusammen sind nämlich im Konzept des Akteurmodells gebündelt. Akteurmodelle leiten nach Schimank die Handlungswahl an. In unserem Beispiel erklärt das

Akteursmodell den Unterschied zwischen handeln 1 und handeln 2.

Diese Gleichartigkeit bzw. die Gleichsetzung wird durch eine *Faltung* beschrieben, die Gleichartiges zusammenfaßt. Das Ergebnis der Faltung ist für unser Beispiel in Abb. 14 dargestellt. Durch die Faltung entsteht ein gefärbtes Netz, was man daran erkennen kann, daß an den Kanten Variablenbezeichner stehen (hier: se für „Strukturelement" und sit für „Situation"). Diese Variablen stellen den Beuzg zu den jeweiligen Stellen des zugrundeliegenden Netzes aus Abb. 13 her.

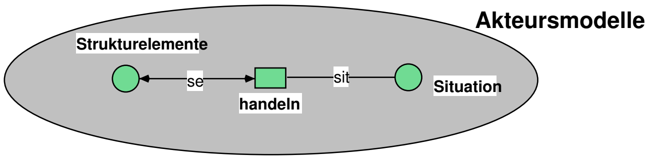


Abbildung 14: Akteursmodell als Faltung von Abb. 13

2.7 Prozesse

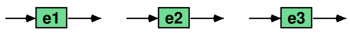


Abbildung 15: Ein Ablauf

Ein Ablauf (oder auch: Schaltfolge) wird in der Petrinetztheorie vom Prozeß unterschieden. Während der Ablauf sich auf die zeitlichen Aspekte bezieht, beschreibt der *Prozeß* die kausalen Abhängigkeiten. Nicht jede zeitliche Abhängigkeit ist auch eine kausale, umgekehrt jedoch schon. Ein Ablauf könnte beschreiben, daß drei Ereignisse (e_1, e_2 und e_3) einander *zeitlich* folgen, so wie in Abb. 15 angedeutet.

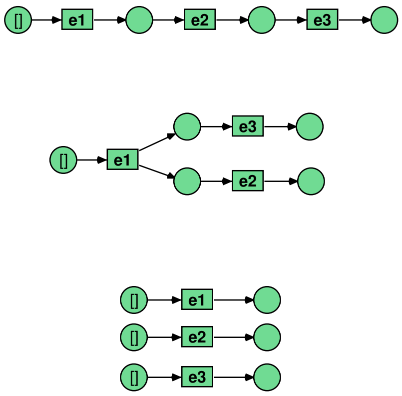


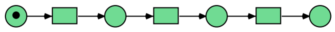
Abbildung 16: Mögliche Prozesse

Es existieren aber sehr viele Prozesse, die diesen Ablauf ermöglichen. Die zeitliche Abfolge sagt nichts über die kausalen Beziehungen aus, die dem Ablauf zugrunde liegen. Diese Beziehungen werden nur im Prozeß dargestellt. Siehe Abb. 16 für Beispiele möglicher Prozesse, die diesen Ablauf ermöglichen.

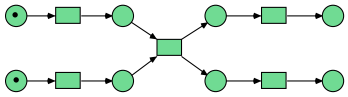
2.8 Darstellung von Struktur- und Prozeßmustern

Es gibt vier typische Strukturmuster in Petrinetzen. Diese gelten zum Teil (Ausnahme ist der Konflikt) auch für die Beschreibung von Prozessen.

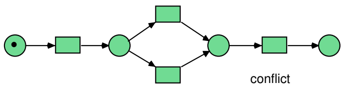
1. Sequenz. Ein Ereignis folgt nach dem anderen:



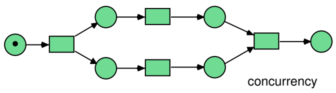
2. Synchronisation. Ein Ereignis vereinigt zwei Prozeßstränge:



3. Konflikt. Mehrere Aktionen können passieren (d.h. sie sind aktiviert), aber nur eine kann schalten, da sie nicht unabhängig voneinander sind. Man beachte, daß ein Konflikt *nicht* Bestandteil eines Prozesses sein kann, da im Prozeß alle Konflikte entschieden wurden. Nur die Prozeßfaltung kann den Konflikt darstellen:



4. Nebenläufiges Verhalten.[9] Mehrere Substrukturen agieren unabhängig (auch *nebenläufig* genannt) voneinander. Man kann nicht vorab sagen, in welcher Reihenfolge die beiden unabhängigen Transitionen schalten werden, da keinerlei kausale Abhängigkeit besteht. Die zeitliche Reihenfolge unabhängiger Ereignisse ist daher beliebig.



2.9 Prozesse und ihre Abstraktion

Petrinetze erlauben es, einen Bezug von Prozessen und seinen strukturell gleichen Teilen herzustellen. Betrachte das Beispiel in Abb. 17, das den Prozeß einer einfachen Abarbeitungsfolge beschreibt: Der Akteur A bearbeitet dabei jeweils die Aufgaben 1 bis 5. Der Prozeß beschreibt durch jede Transition, daß der Akteur A in der Bearbeitung involviert wird, dargestellt durch die Stelle im Vorbereich, die den Akteur vor der Bearbeitung beschreibt, und durch die jeweilige Stelle im Nachbereich, die ihn im Anschluß an die Handlung beschreibt.

Eine Zusammenfassung des Prozesses aus Abb. 17 ist einfach anzugeben, da im Prozeß eine Struktur fünfmal in identischer Art und Weise vorliegt. Diese Struktur der Bearbeitung kann durch eine *Faltung* zu einem Netz, der Prozeßfaltung, zusammengefaßt werden. Die Faltung ist in Abb. 18 dargestellt. In diesem Fall erscheint nur eine Faltung des Prozesses naheliegend, im allgemeinen besitzt ein Prozeß aber mehr als eine.

[9]Konflikt und nebenläufiges Verhalten sehen nur auf den ersten Blick ähnlich aus, die Struktur der Netze begründet jedoch einen fundamentalen Unterschied.

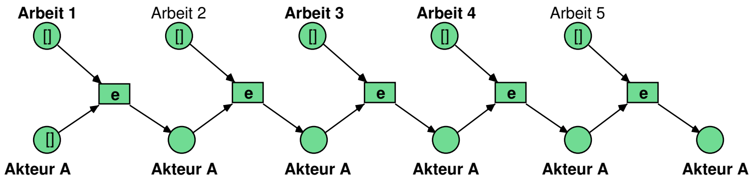


Abbildung 17: Prozeß

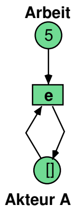


Abbildung 18: Die Zusammenfassung des Prozesses

Der Prozeß aus Abb. 17 und das Netz aus Abb. 18 stehen aber nicht nur durch die Faltung zueinander in Beziehung. Für dieses Beispiel gilt umgekehrt auch, daß alle *Abläufe* des Netzes aus Abb. 18 Anfangsstücken des Prozesses aus Abb. 17 entsprechen.

Im allgemeinen gilt, daß die Menge aller Prozesse sich aus dem Netz konstruieren lassen und umgekehrt, daß aus der Menge aller Prozesse sich das Netz falten läßt:

$$\text{Prozesse} \quad \underset{\text{Abläufe}}{\overset{\text{Faltung}}{\substack{\longrightarrow \\ \longleftarrow}}} \quad \text{Netz}$$

Vergleiche diese Betrachtungsweise mit dem Begriffspaar "Deduktion/Induktion"' der Soziologie: Dort besteht ebenfalls der Bezug von Empirie, die den Prozeß betrachtet, zu der zugrundeliegenden Struktur, die durch Theorien formuliert wird. Insbesondere soziale, sich selbststabilisierende und reproduzierende Prozesse sind hier von Interesse.

2.10 Stabilisierende Prozesse und ihre zugrundeliegende Struktur

Oftmals beschreiben soziologische Theorien selbststabilisierende Prozesse. Dies bedeutet nicht, daß Systeme beschrieben werden, die sich stets identisch reproduzieren. Das System produziert sich jedoch sehr wohl in strukturgleicher Art und Weise. Als eingängiges Beispiel nehmen wir einen Prozeß (s. Abb. 19), der beschreibt, daß eine bestehende Struktur (Struktur 1) eine Handlung (Handlung 1) prägt. Diese Handlung produziert nun – beispielsweise durch wechselseitiges Beobachten der Akteure – eine neue Struktur (Struktur 2) usw.

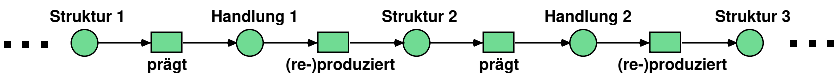


Abbildung 19: Stabiler Prozeß

Wie bereits erwähnt, besteht die Möglichkeit, aus dem Prozeß die Netzstrukturbeschreibung, die ihm zugrundeliegt, formal durch eine Faltung zu rekonstruieren. In diesem Beispiel besitzt der Prozeß die in Abb. 20 dargestellte Netzstruktur, die eine wechselseitig Rückkopplung beschreibt.

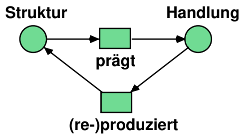


Abbildung 20: Die zugrundeliegende, rückgekoppelte Struktur

Gerade für einen konstruktiven, sozionischen Ansatz ist die Aufdeckung der den Prozessen zugrundeliegenden Strukturen von besonderer Relevanz, da diese Strukturen die Basis eines jeden sozionischen Ansatz zur Gestaltung von Agentensystemen bildet.

3 Zusammenfassung

In dieser Darstellung haben wir die Einsatzmöglichkeiten der Petrinetze – mit ihren Konzepten wie Synchronisation, Konflikt etc. – und ihren formalen Transformationsprozessen – wie Abstraktion, Faltung, Prozessen etc. – präsentiert. Dabei wurde gezeigt, wie diese Konzepte einen relevanten Beitrag zur Darstellung soziologischer Beschreibungsgegenstände liefern können.

Für das ASKO-Projekt bilden die auf der Basis der vermittelnden Netze entwickelnden Modelle die Grundlage zur Entwicklung eines intuitiven petrinetzbasierten Ansatzes zur Spezifikation und Entwicklung von Agenten- und Multiagentensystemen. Dabei werden sowohl in der Informatik als auch in der Soziologie in theoretischen und praktischen Fragestellungen grundlegende Muster von Strukturen und Handlungen erarbeitet und so aufeinander bezogen, daß ein den wissenschaftlichen Ansprüchen beider Disziplinen gerecht werdendes und operationales sozionisches Modell resultiert. Theorien und Verfahren beider Disziplinen werden so verknüpft, daß ein software-technisch angepaßtes, formal im Sinne der kompositionalen Verifikation abgesichertes und sowohl gesellschafts- als auch organisationssoziologisch fundiertes Multiagentenmodell sowie ein Modellierungs- und Darstellungswerkzeug für Entscheidungsverhalten in öffentlich-rechtlichen Institutionen entsteht.

Literatur

[Flo93] C. Floyd. Steps - a methodical approach to participatory design. *Communications of the ACM*, 36(4):83, 1993.

[HKL+00a] Daniela Hinck, Michael Köhler, Roman Langer, Daniel Moldt, and Heiko Rölke. Akteurstheoretische Betrachtungen organisationaler Handlungen. Arbeitsberichte des forschungsprogramms: Agieren in sozialen kontexten, University of Hamburg, Department for Computer Science, Vogt-Kölln Str. 30, 22527 Hamburg, Germany, 2000. Beitrag auf dem Workshop Sozionik 2000.

[HKL+00b] Daniela Hinck, Michael Köhler, Roman Langer, Daniel Moldt, and Heiko Rölke. Bourdieus Habitus-Konzept als prägendes Strukturelement für Multiagentensysteme. Arbeitsberichte des Forschungsprogramms: Agieren in sozialen Kontexten, University of Hamburg, Department for Computer Science, Vogt-Kölln Str. 30, 22527 Hamburg, Germany, 2000.

[Jen92] K. Jensen. *Coloured Petri nets, Basic Methods, Analysis Methods and Practical Use*, volume 1 of *EATCS monographs on theoretical computer science*. Springer-Verlag, 1992.

[KLMR00] Michael Köhler, Roman Langer, Daniel Moldt, and Heiko Rölke. Combining the sociological theory of Bourdieu with multi agent systems. In C. Jonker, A. Letia, G. Lindemann, and T. Uthmann, editors, *Modelling Artificial Societies and Hybrid Organisations (MAS-HO'00), Workshop at the ECAI 2000*, 2000.

[Kum98] Olaf Kummer. Simulating synchronous channels and net instances. In J. Desel, P. Kemper, E. Kindler, and A. Oberweis, editors, *Forschungsbericht Nr. 694: 5. Workshop Algorithmen und Werkzeuge für Petrinetze*, pages 73–78. Universität Dortmund, Fachbereich Informatik, 1998.

[Kum01] O. Kummer. Introduction to Petri nets and reference nets. *Sozionik-aktuell*, (1), 2001.

[Mal96] Thomas Malsch. Expeditionen ins Grenzgebiet zwischen Soziologie und Künstlicher Intelligenz. In Thomas Malsch, editor, *Sozionik: soziologische Ansichten über Künstliche Intelligenz*, pages 9–24. Edition Sigma, 1996.

[OST97] G. Ortmann, J. Sydow, and K. Türk. *Theorien der Organisation: Die Rückkehr der Gesellschaft*. Westdeutscher Verlag, 1997.

[Pet62] Carl Adam Petri. Kommunikation mit Automaten. Dissertation, RheinischWestfälisches Institut für Instrumentelle Mathematik an der Universität Bonn, Bonn, 1962.

[Rei85] Wolfgang Reisig. *Petri Nets: An Introduction*. Springer-Verlag, 1985.

[RJB99] J. Rumbaugh, I. Jacobson, and G. Booch. *The unified modeling language reference manual: The definitive reference to the UML from the original designers*. Addison-Wesley object technology series. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1999.

[Sch00] Uwe Schimank. *Handeln und Strukturen. Einführung in die akteurstheoretische Soziologie*. Weinheim, 2000.

[Soz98] Sozionik: Erforschung und Modellierung künstlicher Sozialität. http://www.tu-harburg.de/tbg/SPP/spp-antrag.html, 1998. Antragstext zum DFG-Schwerpunktprogramm Sozionik.

[Val96] Rüdiger Valk. Concurrency in communicating object Petri nets. In G. Agha, F. de Cindio, and G. Rozenberg, editors, *Advances in Petri Nets*, volume 32 of *Lecture Notes in Computer Science*, 1996.

[Val98] Rüdiger Valk. Petri nets as token objects: An introduction to elementary object nets. In Jörg Desel and Manuel Silva, editors, *Application and Theory of Petri Nets*, volume 1420 of *LNCS*, pages 1–25, June 1998.

[Val00] R. Valk. Concurrency in communicating object Petri nets. In G. Agha, F. De Cindio, and G. Rozenberg, editors, *Concurrent Object-Oriented Programming and Petri Nets*, number wird veröffentlicht in Lecture Notes in Computer Science, Berlin, 2000. Springer.

[vLMV01] Rolf von Lüde, Daniel Moldt, and Rüdiger Valk. Agieren in sozialen Kontexten. http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/forschung/projekte/sozionik/, 2001. Universität Hamburg: Institut für Soziologie und Fachbereich Informatik.