



UNIVERSITÄT  
KOBLENZ · LANDAU



Institut für  
Wirtschaftsinformatik

Fachbereich Informatik  
Universität Koblenz-Landau

JÜRGEN JUNG  
KURT LAUTENBACH

# SIMULATION DES EINFLUSSES VON NOTFÄLLEN AUF DIE AUFTRAGSBEARBEITUNG IN HANDWERKSBETRIEBEN

Oktober 2002



UNIVERSITÄT  
KOBLENZ · LANDAU



**Institut für  
Wirtschaftsinformatik**

Fachbereich Informatik  
Universität Koblenz-Landau

JÜRGEN JUNG  
KURT LAUTENBACH

# SIMULATION DES EINFLUSSES VON NOTFÄLLEN AUF DIE AUFTRAGSBEARBEITUNG IN HANDWERKSBETRIEBEN

Oktober 2002

Die Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik dienen der Darstellung vorläufiger Ergebnisse, die i.d.R. noch für spätere Veröffentlichungen überarbeitet werden. Die Autoren sind deshalb für kritische Hinweise dankbar.

The "Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik" comprise preliminary results which will usually be revised for subsequent publications. Critical comments would be appreciated by the authors.

---

Alle Rechte vorbehalten. Insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen - auch bei nur auszugsweiser Verwertung.

All rights reserved. No part of this report may be reproduced by any means, or translated.

---

**Anschrift der Verfasser  
Address of the authors:**

Dipl. Inform. Jürgen Jung  
Prof. Dr. Kurt Lautenbach  
Institut für Wirtschaftsinformatik  
Universität Koblenz-Landau  
Universitätsstraße 1  
D-56070 Koblenz

**Arbeitsberichte des Instituts für  
Wirtschaftsinformatik  
Herausgegeben von / Edited by:**

Prof. Dr. Ulrich Frank  
Prof. Dr. J. Felix Hampe  
Prof. Dr. Klaus G. Troitzsch

---

**Bezugsquelle / Source of Supply:**

Institut für Wirtschaftsinformatik  
Universität Koblenz-Landau  
Universitätsstraße 1  
56070 Koblenz  
Tel.: 0261-287-2520  
Fax: 0261-287-2521  
Email: [iwi@uni-koblenz.de](mailto:iwi@uni-koblenz.de)  
WWW: <http://www.uni-koblenz.de/~iwi>



**Institut für  
Wirtschaftsinformatik**

---

Fachbereich Informatik  
Universität Koblenz-Landau

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1	Motivation . . . . .	5
1.2	FlottHIT . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Anforderungen</b>	<b>6</b>
2.1	Prozeß der Auftragsplanung . . . . .	6
2.2	Objektmodell . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Restriktionen</b>	<b>8</b>
3.1	Statische Priorisierung . . . . .	9
3.1.1	Auftragstypen . . . . .	9
3.1.2	Kundentypen . . . . .	9
3.1.3	Prioritätskennzahlen . . . . .	10
3.2	Dynamische Priorisierung . . . . .	10
3.3	Weitere Randbedingungen der Simulation . . . . .	10
3.4	Anzahl der Mitarbeiter . . . . .	10
3.5	Auftragsdauer . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Simulationsmodell der Auftragsdurchführung</b>	<b>11</b>
4.1	Untersuchungsgegenstand der Simulation . . . . .	11
4.2	Pr/T-Netz der Simulation . . . . .	11
4.2.1	Disposition neuer Aufträge . . . . .	13
4.2.2	Aufträge ausführen . . . . .	14
4.2.3	Modellierung von Zeit . . . . .	14
4.2.4	Beendigung von Aufträgen . . . . .	16
4.2.5	Notfall einplanen . . . . .	17
4.3	Vergleich: MEMO-Prozeßmodell und Pr/T-Netz . . . . .	19
<b>5</b>	<b>Beispiel</b>	<b>20</b>
5.1	Auftrag ausführen . . . . .	20
5.2	Auftrag beenden . . . . .	21
5.3	Notfall einplanen . . . . .	23
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>26</b>
<b>A</b>	<b>Petri-Netz der Auftragsbearbeitung</b>	<b>28</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Prozeß der Auftragsdisposition . . . . .	7
2	An der Auftragsdisposition beteiligte Objekte . . . . .	8
3	Überblick über das Petri-Netz . . . . .	12
4	Disposition neuer Aufträge . . . . .	13
5	Ausführung eines Auftrags . . . . .	15
6	Zeit im Petri-Netz . . . . .	15
7	Beendigung von Aufträgen . . . . .	16
8	Einplanung eines Notfalls im MEMO-Diagramm . . . . .	18
9	Einplanung eines Notfalls im Pr/T-Netz . . . . .	18
10	Auftrag ausführen (Teil 1) . . . . .	20
11	Auftrag ausführen (Teil 2) . . . . .	21
12	Auftrag ausführen (Teil 3) . . . . .	21
13	Auftrag beenden (Teil 1) . . . . .	22
14	Auftrag beenden (Teil 2) . . . . .	22
15	Auftrag beenden (Teil 3) . . . . .	23
16	Auftrag beenden (Teil 4) . . . . .	23
17	Notfall einplanen (Teil 1) . . . . .	24
18	Notfall einplanen (Teil 2) . . . . .	25
19	Notfall einplanen (Teil 3) . . . . .	25
20	Prozeß der Auftragsdisposition als Pr/T-Netz . . . . .	28

# 1 Einleitung

Kleine und mittelständische Handwerksbetriebe sind einem hohen Druck durch die Konkurrenz ausgesetzt<sup>1</sup>. Insbesondere die Disposition der Aufträge in Abhängigkeit der jeweiligen Dringlichkeit, der Bedeutung des Kunden für das Unternehmen sowie des Auftragsvolumens (inklusive Folgeaufträge) stellt eine besondere Herausforderung dar.

Im Rahmen dieses Berichts wird ein System zur Modellierung und Simulation der Auftragsdisposition im Bereich des Kundendienstes kleiner und mittelständischer Handwerksbetriebe erstellt. Der Fokus der Simulation liegt dabei auf dem Einfluß kurzfristiger Notfälle auf die generelle Planung der Abarbeitung von Aufträgen. Die Konzeption dieses Systems basiert auf Erfahrungen aus dem Projekt FlottHIT am Institut für Wirtschafts- und Verwaltungsinformatik an der Universität Koblenz-Landau, Campus Koblenz.

Grundlage für die Simulation ist eine spezielle Klasse von Petri-Netzen, Prädikat/Transitions-Netze (Pr/T-Netze). Das entsprechende Netz basiert auf Anforderungen aus dem Projekt FlottHIT. Es repräsentiert Prozesse bzgl. der Auftragsdisposition und ergänzt diese um Aspekte konkreter Aufträge im realen Tagesablauf.

## 1.1 Motivation

Die Disposition von Aufträgen ist in kleinen und mittelständischen Handwerksbetrieben eine Aufgabe mit einer nicht zu vernachlässigenden Komplexität. Viele der Aufträge sind zwar frühzeitig bekannt und können in den regulären Ablauf eingeplant werden, jedoch ist deren Disposition oftmals nicht trivial. Für jeden Auftrag ist zu berücksichtigen inwiefern er bedeutend ist für

- a) den Kunden
- b) das Unternehmen.

Sofern eine hohe Kundenzufriedenheit für den Handwerksbetrieb von Bedeutung ist, werden die Bedürfnisse des Kunden priorisiert. Hierbei steht die – für den Kunden subjektive – Einschränkung durch eine Verzögerung der Auftragsdurchführung im Vordergrund. Der Disponent eines kleinen und mittelständischen Handwerksbetriebs muß hierbei beurteilen, inwiefern sich eine Verzögerung der Abarbeitung des Auftrags auf die Zufriedenheit des Kunden auswirkt und in welchem Umfang die Bedeutung des Kunden für das Unternehmen zu berücksichtigen ist. Hierbei ist insbesondere die Intensität der Geschäftsbeziehung zu dem Kunden zu berücksichtigen. Regelmäßige – aber trotzdem auch kritische – Kunden sind bei der Disposition zu bevorzugen. Sie erzeugen einen regelmäßigen Umsatz und müssen nicht durch aufwendige Akquisition neu gewonnen werden. Dies bedeutet jedoch nicht, daß Neukunden generell zu vernachlässigen sind. Auch diese bieten ausreichend Potential für weitere Aufträge. In der Konsequenz wird durch eine hohe Zufriedenheit der Kunden auch ein Nutzen für das Unternehmen angestrebt. Kundenfreundlichkeit ist i.d.R nicht einer reinen Selbstzweck, sondern soll den Erfolg des Betriebes sicherstellen. Grundgedanke hierbei ist, daß ein zufriedener Kunde auch weiterhin dem Unternehmen treu bleibt und es mit weiteren Arbeiten beauftragt. Im Sinne der Verfolgung der Unternehmensziele muß ein Disponent auch die Interessen des Handwerksbetriebs verfolgen. Der Umfang eines Auftrags und das Potential für Folgeaufträge ist bei der Einplanung zu berücksichtigen. Allgemein betrachtet obliegt es dem Einschätzungsvermögen des Disponenten, welche Aufträge in einer angemessenen zeitlichen Abfolge durchzuführen sind. Er sollte die Interessen der Kunden berücksichtigen und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit des Betriebes sichern

Im Verlauf der Abarbeitung der Aufträge eines Tages wird der Handwerksbetrieb zusätzlich über Notfälle seiner Kunden benachrichtigt. Im Gegensatz zu regulären Aufträgen können diese nicht dem Prozeß der mittelfristigen Disposition unterzogen werden, sondern bedürfen einer unmittelbaren Reaktion. Beispiele für solche Notfälle sind:

- Ausfall einer Heizungsanlage im Winter
- Wasserrohrbruch
- Defekt in einer elektronischen Steuerungsanlage

Im Kontext der Einplanung solcher Notfälle sind neben der Bedeutung des Kunden für das Unternehmen und des Auftragsvolumens auch die objektive Dringlichkeit zu beurteilen.

---

<sup>1</sup>Vgl. [17].

## 1.2 FlottHIT

Das Projekt FlottHIT wurde im Mai 2000 am Institut für Wirtschaftsinformatik im Fachbereich Informatik der Universität Koblenz-Landau, Abteilung Koblenz, gestartet. Ziel des Projekts ist die prototypische Entwicklung und Erprobung rechnergestützter Logistiksysteme in kleinen und mittelständischen Handwerksbetrieben. Das Projekt wird vom Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau des Landes Rheinland-Pfalz gefördert. Als Partner zur Realisierung einer technischen Infrastruktur für die Steuerung von Fahrzeugflotten konnte das Unternehmen SiemensVDO (ehemals VDO Car Communication GmbH) mit Sitz in Wetzlar gewonnen werden. SiemensVDO stellt 19 Navigationssysteme vom Typ MS5000 zur Verfügung und unterstützt das Projekt in technischen Teilproblemen. 16 dieser Navigationssysteme wurden in Fahrzeuge von vier beteiligten Handwerksbetrieben eingebaut (vier Systeme pro Betrieb). In Zusammenarbeit mit diesen vier Betrieben sollen ein zu entwickelndes Flottenmanagementsystem und die Projektergebnisse praktisch erprobt und evaluiert werden. Überdies werden neben der Logistik im Bereich der Fahrzeugflotte auch innerbetriebliche Prozesse betrachtet. An die Navigationssysteme wird in den Handwerksbetrieben ein prototypisches System zur Unterstützung der Logistik in ausgewählten Geschäftsprozessen des Handwerks angekoppelt. Weitere Unterstützung erfährt das Projekt durch die Handwerkskammer Koblenz, die nicht nur die am Projekt beteiligten Handwerksbetriebe ausgesucht hat, sondern auch den weiteren Projektverlauf unterstützt. So stellt sie z.B. ihre Lehrwerkstätten und geschultes Personal für die Montage der Navigationssysteme in die Fahrzeuge der Handwerksbetriebe zur Verfügung. Des weiteren bildet sie auch projektbegleitend die Schnittstelle zu Handwerksbetrieben und bietet mit ihren etablierten Einrichtungen (Betriebsberater, Pressestelle, juristische Berater) zusätzliches Potential zur Informationsbeschaffung und Kontaktvermittlung.

## 2 Anforderungen

Die Anforderungen an die Simulation der Bearbeitung von Aufträgen in kleinen und mittelständischen Handwerksbetrieben orientiert sich an deren Auftragsarten. Täglich treffen in einem Handwerksbetrieb Aufträge ein, wobei diese unmittelbar (Notfälle), kurzfristig (dringende Aufträge) oder baldmöglichst (Routineaufträge) bearbeitet werden müssen. Für die angestrebte Simulation ist die Differenzierung zwischen Notfällen und sonstigen Aufträgen von besonderer Bedeutung.

### 2.1 Prozeß der Auftragsplanung

Die Bearbeitung von Aufträgen in kleinen und mittelständischen Handwerksbetriebe ist in dem Prozeßmodell in Abbildung 1 dargestellt. Die verwendete Notation ist die Prozeßmodellierungssprache MEMO-OrgML <sup>2</sup>

Das Prozeßmodell repräsentiert den Prozeß der Auftragsbearbeitung in einem Handwerksbetrieb an einem bestimmten Tag. Dem Prozeßmodell liegt eine Differenzierung zwischen Routineaufträgen und Notfällen zugrunde. Routineaufträge können üblicherweise mittelfristig disponiert werden und bedürfen somit keiner direkten Reaktion seitens des Unternehmens. Notfälle repräsentieren i.d.R. Aufträge, die für den Kunden einen kurzfristig aufgetretenen und gravierenden Defekt darstellen und eine sofortige Behebung des Schadens erfordern. Beispiele für Routineaufträge sind

- Montage einer neuen Anlage
- Wartung einer vorhandenen Anlage
- Reparatur einer Anlage

Der Begriff Anlage steht hier allgemein für eine handwerkliche Installation, welche eine Zentralheizung, ein Bad, eine Elektroinstallation oder ähnliches sein kann. Solche Anlagen betreffende Aufträge sind i.d.R. frühzeitig bekannt und unterliegen einer niedrigen Dringlichkeit. Dies bedeutet, daß eine unmittelbare Reaktion seitens des Handwerksbetriebs nur eingeschränkt erforderlich ist. Die Installation einer Neuanlage oder eine Routinewartung sind relativ unkritisch bzgl. zeitlicher Verzögerungen.

Während der planmäßigen Abarbeitung bereits disponierter Aufträge können weitere Aufträge hinzukommen. Hierbei wird insbes. von sehr dringenden Aufträgen ausgegangen, die eine sofortige Reaktion seitens des Betriebs erfordern. Im Gegensatz zu Routineaufträgen sind die Konsequenzen einer Verzögerung für den Kunden

---

<sup>2</sup>MEMO steht für *Multiperspective Enterprise MOdeling* und ist eine Methode zur Modellierung von Unternehmen aus verschiedenen Sichten und auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen [10]. Eine erste Konzeption der Prozeßmodellierungssprache OrgML *Organization Modelling Language* findet sich in [25].

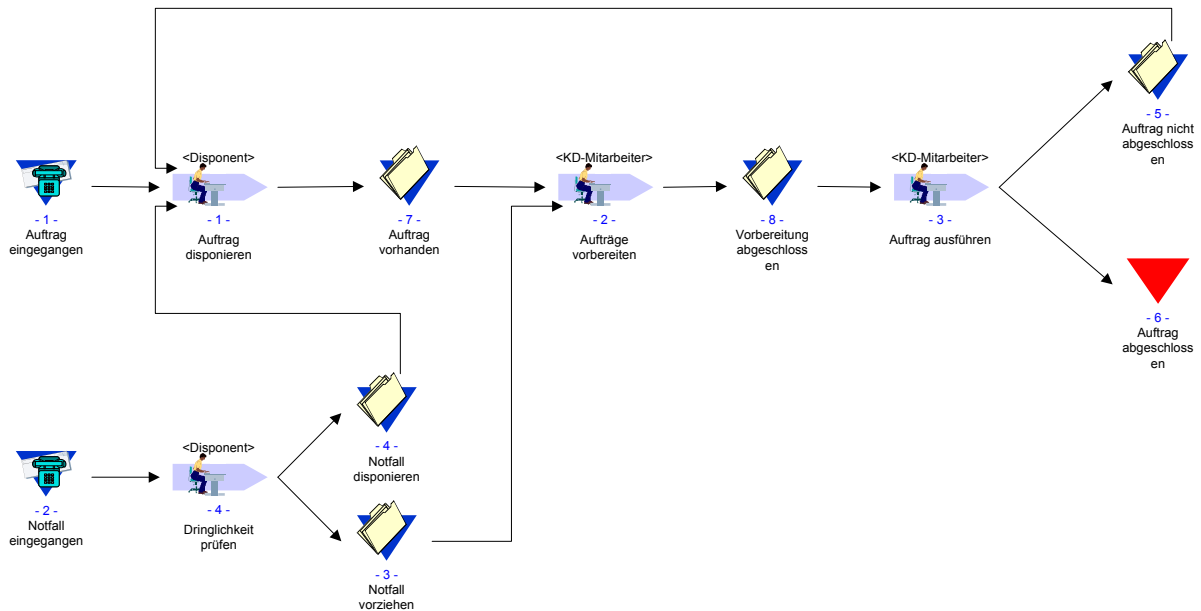


Abbildung 1: Prozeß der Auftragsdisposition

gravierend.

Das Prozeßmodell in Abbildung 1 stellt die Disposition und Durchführung von Aufträgen dar. Mittelfristig einzuplanende Aufträge (Ereignis<sup>3</sup> Nr. 1; Auftrag eingegangen) werden durch den Prozeß Nummer 1 vom Disponenten in die Liste der aktuellen Aufträge eingeordnet (Ereignis Nr. 7; Auftrag vorhanden). Der Kundendienstmitarbeiter bereitet die Auftragsdurchführung vor (Prozeß Nr. 2) und erledigt dessen Ausführung (Prozeß Nr. 3). Falls der Auftrag vollständig bearbeitet werden konnte, wird er als abgeschlossen eingeordnet (Ereignis Nr. 6). Unter Umständen kann ein Auftrag aber aufgrund mangelnder Ersatzteile oder sonstiger Umstände nicht ad acta gelegt werden. Weitere Besuche eines Service-Mitarbeiters sind erforderlich. In einem solchen Fall wird der Auftrag erneut in die Warteschlange der durchzuführenden Aufträge eingereiht (Ereignis Nr. 5). Solche Aufträge werden zunächst wie Routineaufträge behandelt und dem üblichen Dispositionsprozeß unterzogen.

Notfälle unterbrechen den planmäßigen Tagesablauf. Solch ein Notfall tritt spontan auf (Ereignis Nr. 2; Notfall eingegangen) und es muß unmittelbar geprüft werden, inwiefern eine sofortige Intervention erforderlich ist (Prozeß Nr. 4; Dringlichkeit prüfen.). Sofern die Dringlichkeit seitens des Disponenten als weniger relevant eingestuft wird, unterliegt er dem routinemäßigen Planungsprozeß für Aufträge (Ereignis Nr. 4; Notfall disponieren). Ansonsten wird der Notfall direkt einem Kundendienst-Mitarbeiter zugeordnet (Ereignis Nr. 3; Notfall vorziehen). Dieser bereitet die Auftragsdurchführung im Rahmen seiner täglichen Arbeit vor und sorgt für dessen Erledigung (Prozesse Nr. 2 und 3).

## 2.2 Objektmodell

An der Erfüllung der Aufträge sind die durch das UML-Klassendiagramm<sup>4</sup> in Abbildung 2 beschriebenen Objekte beteiligt.

Ein Auftrag wird durch eine Auftragbeschreibung und eine Charakterisierung der Auftragsart beschrieben.

<sup>3</sup>Die Verwendung des Begriffes Ereignis mag in manchen Stellen des Prozeßmodells befremdlich wirken. Ein Ereignis in MEMO repräsentiert nicht notwendigerweise einen zeitlosen Trigger, der eine weitere Verarbeitung anstößt oder den das Eintreten des Abschlusses eines Prozesses darstellt. Vielmehr kann ein Ereignis auch dem Vorliegen eines definierten Ergebnisses entsprechen, wobei dies auch als einen zeitlich behaftetem Zustand entsprechen kann. Das Ereignis Nr- 7 (Auftrag vorhanden) kann einerseits aus konzeptioneller Sicht als zeitlich punktuelle Erscheinung gewertet werden. Es zählt hierbei nur die Tatsache, daß die Vorbedingung für einen Prozeß gegeben ist. Andererseits kann das Vorliegen eines Auftrags auch mit einer zeitlichen Dauer behaftet werden. Weder die eine noch die andere Sichtweise soll durch das MEMO-Prozeßdiagramm ausgeschlossen werden. Auch die Spezifikation von Zuständen oder Situationen wird in der derzeitigen Version der MEMO-ObjML nicht ausreichend betrachtet. Dies unterliegt derzeit der vorherrschenden Restriktion der Adäquanz der Sprache auch für die Modellierung nicht formal abbildbarer Prozesse.

<sup>4</sup>Die *Unified Modelling Language* (UML) ist eine graphische Sprache zur Modellierung objektorientierter Systeme. Eine Einführung in die UML findet man bspw. in [20].



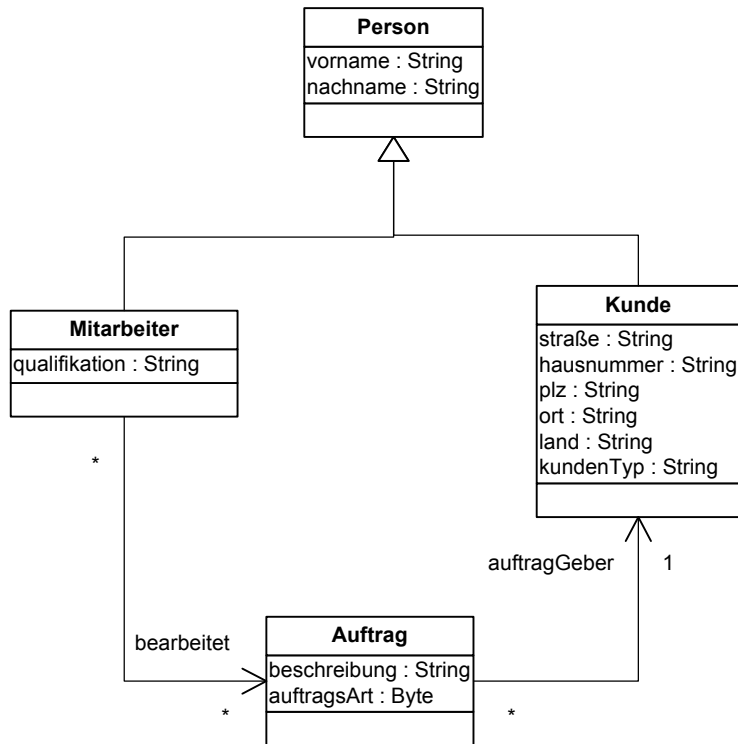


Abbildung 2: An der Auftragsdisposition beteiligte Objekte

Die Beschreibung entspricht einer Zeichenkette, welche den Auftrag in einer von einem Handwerker lesbaren Art beschreibt. Die Auftragsart repräsentiert einen systeminternen Code zur Spezifikation der Ausprägung und Dringlichkeit eines Auftrags.

Jeder Auftrag ist einem dedizierten Kunden zugeordnet und wird von einem festgelegten Kundendienstmitarbeiter durchgeführt. Die Zuordnung eines Mitarbeiters zu einem Auftrag (bei einem speziellen Kunden) hängt von den dispositiven Präferenzen des Handwerksbetriebs ab:

- Mitarbeiter können aufgrund ihrer Qualifikation zu einzelnen Auftragsarten zugeordnet werden
- Mitarbeiter können aufgrund von Kundenpräferenzen zu Kunden zugeordnet werden
- Mitarbeiter können in Abhängigkeit zu ihrer Auslastung spontan Notfällen zugeordnet werden
- ...

Die beiden Typen **Kunde** und **Mitarbeiter** werden in diesem Kontext vereinfachend zu dem Typ **Person** generalisiert. Eine **Person** zeichnet sich durch einen Vor- und einen Nachnamen aus. Ein Mitarbeiter hat zusätzlich eine Qualifikation, die ihn zu Erfüllung gewisser Aufträge befähigt. Ein Kunde besitzt neben dem Namen eine Adresse – repräsentiert durch Straße, Hausnummer, Postleitzahl, Ort und Land – als Ort der Auftragserfüllung. Zusätzlich wird ein Kunde durch einen Kunden-Typ charakterisiert, welche in textueller Form vorliegt. Die textuelle Beschreibung ermöglicht die Einordnung eines Kunden als mehr oder weniger wichtig und kann in einer Bevorzugung – resp. weniger priorisierte Beachtung – des Kunden bei der Terminvergabe resultieren.

### 3 Restriktionen

Eine gehaltvolle Simulation durch ein Petri-Netz erfordert eine angemessene Abbildung der Prozesse und Objekte auf Konzepte der Petri-Netz-Theorie. Überdies sind ergänzende Prädikate zur Definition verschiedener Auftragsarten, Prioritäten und Kundenarten notwendig. Diese Prädikate werden in diesem Abschnitt erörtert.

Grundlegende Datentypen für die Simulation sind die festgelegten Auftragsstypen, Kundenarten und die Ermittlung der Prioritäten. Prioritäten können hierbei zwischen statischen und dynamischen Prioritäten unterschieden werden. Statische Prioritäten repräsentieren solche, die aufgrund des Auftragsstyps und des Kunden ermittelt werden können. Dynamische Prioritäten reflektieren Änderungen der Priorität aufgrund einer wiederholten Auftragsdurchführung.

## 3.1 Statische Priorisierung

### 3.1.1 Auftragsstypen

Aufgrund der Dringlichkeit verschiedener Aufträge werden im folgenden drei relevante Auftragsstypen unterschieden:

**A1:** Der Auftrag hat im Allgemeinen keine besondere Eile. Er muß nicht umgehend ausgeführt werden und kann zugunsten dringenderer Aufträge verschoben werden. Beispiele für solche Aufträge sind

- die Installation einer neuen Anlage (nicht Ersatz einer ausgefallenen Anlage),
- die Wartung einer vorhandenen Anlage,
- die reguläre Reinigung einer vorhandenen Anlage oder
- eine bedingt betriebsrelevante Reparatur.

Die reduzierte Dringlichkeit solcher Aufträge ergibt sich aus der Tatsache, daß das Ausbleiben der Durchführung eines solchen Auftrags kaum spürbare Nachteile für den Kunden bedeutet.

**A2:** Im Vergleich zur Auftragskategorie A1 ist der Auftrag eiliger. Eine Nicht-Durchführung des Auftrags bedeutet für den Kunden spürbare Einschränkungen. Beispiele:

- Reparatur einer nur bedingt benötigten Anlage (Reparatur einer Toilettenspülung )
- Behebung des Ausfalls einer eingeschränkt benötigten Anlage (Renovierung eines selten genutzten Stromkreises)

Ein Auftrag der Kategorie A2 sollte gegenüber eines solchen der Kategorie A1 bevorzugt behandelt werden. Ein längerfristige Verzögerung der Durchführung resultiert in merklichen Einschränkungen für den Kunden.

**A3:** Diese Kategorie A3 umfaßt alle Aufträge, deren Durchführung nur eine minimale Verzögerung erlaubt. Im folgenden werden wir hierbei auch von 'Notfällen' sprechen um deren Dringlichkeit zu betonen. Beispiele für solche Notfälle sind

- Ausfall einer saisonal benötigten Anlage (Zentralheizung im Herbst/Winter)
- Ausfall einer dringend benötigten Anlage (generelle Stromversorgung)

Die Konsequenzen aufgrund der nicht vorhandenen Nutzungsfähigkeit einer solchen Anlage sind gravierend für den Kunden. Eine sofortige Beseitigung der Fehlfunktion ist dringend erforderlich.

Die Unterscheidung zwischen drei verschiedenen Auftragsstypen vernachlässigt zunächst weitere Faktoren wie die Wichtigkeit verschiedener Kundentypen und eine höhere Priorisierung durch wiederholte Auftragsdurchführung. Diese Aspekte werden in den folgenden Abschnitten ergänzt.

### 3.1.2 Kundentypen

Im Kontext der Priorisierung verschiedener Kunden werden zwei Kundentypen unterschieden:

**K1:** Kunden mit eingeschränkter Priorität zeichnen sich durch kleine Auftragsvolumina aus. Solche Kunden zeichnen sich i.d.R. nur für eine sehr kleine Anzahl von Objekten verantwortlich. Dies beinhaltet bspw. Bauherren eines Hauses oder Mieter einer Immobilie.

**K2:** Eine hohe Priorität wird Verantwortlichen für mehrere Immobilien zugeordnet. Hierzu zählen bspw. Architekten oder Bauunternehmen. Solche Kunden betreuen mehrere Objekte und bieten im Vergleich zur Kundengruppe K1 ein erhöhtes Auftragsvolumen.

### 3.1.3 Prioritätskennzahlen

In der Konsequenz aus den Prioritäten für Auftragsstypen und Kundentypen ergibt sich folgende Matrix für Prioritätskennzahlen<sup>5</sup> nach Auftrags- und Kundentypen:

Priorität	A1	A2	A3
K1	6	4	2
K2	4	2	0

Kunden der Kategorie K1 werden im Vergleich zu denen der Kategorie K2 weniger bevorzugt behandelt. Bezüglich äquivalenter Auftragsstypen werden K2-Kunden gegenüber denen der Kategorie K1 hinten angestellt. Auch die Priorisierung in Bezug auf einzelne Auftragsstypen wird in dieser Matrix abgebildet.

## 3.2 Dynamische Priorisierung

Durch das Eintreffen höher priorisierter Aufträge kann die Durchführung weniger relevanter Aufträge verzögert werden. Solch eine Verzögerung wirkt sich auf die Bevorzugung der abgelehnten oder zurückgestellten Aufträge aus. Für die dynamische Priorisierung der Aufträge gelten somit folgende Regeln für die Erhöhung der Priorität<sup>6</sup>:

- Jeder Auftrag, der aufgrund eines Notfalls neu disponiert werden muß, erhält eine um eins erniedrigte Prioritätskennzahl (somit höher priorisiert).
- Jeder Auftrag, der einen erneuten Besuch des Service-Mitarbeiters erfordert, erhält eine um eins erniedrigte Prioritätskennzahl (somit höher priorisiert).

Jeder Aufschub der endgültigen Bearbeitung eines Auftrags bewirkt somit eine Erhöhung der Priorität. Hierdurch soll gewährleistet werden, daß verschobene oder bereits begonnene Aufträge in der Disposition bevorzugt behandelt werden.

## 3.3 Weitere Randbedingungen der Simulation

Wesentliche Einflüsse auf die Simulation sind die Menge der längerfristig disponierten Aufträge und die ad hoc auftretenden Notfälle. Längerfristig bekannte Aufträge sind bereits zu Beginn des Arbeitstages bekannt und auf die entsprechenden Mitarbeiter verteilt. Notfälle treten spontan im Verlauf eines Arbeitstages auf und erfordern i.d.R. eine Reorganisation der für diesen Tag geplanten Auftragsreihenfolge. Maßgebend für die Reorganisation ist die Priorität der Aufträge. Hierbei werden die Dringlichkeit der Aufträge, die Relevanz der Kunden und dynamische Prioritäten aufgrund von Auftragsverschiebung sowie -wiederholung in Betracht gezogen.

## 3.4 Anzahl der Mitarbeiter

Für die Simulation wird von einer beliebigen aber festen Anzahl von Kundendienstmitarbeitern des Handwerksbetriebs ausgegangen. Für jeden der Mitarbeiter sind zu Beginn des Arbeitstages die Aufträge eingeplant. Die Anzahl der Mitarbeiter ist für die gesamte Simulation vorgegeben, d.h. es existieren keine zusätzlichen Mitarbeiter als Reserve und ein möglicher Ausfall wird nicht betrachtet. Treten Engpässe auf, die durch zusätzliche Mitarbeiter ausgeglichen werden könnten, liegt dies nicht im Rahmen der Simulation. Schwerpunkt der Untersuchung ist somit die Disposition vorhandener Ressourcen (also Kundendienstmitarbeiter) auf dynamisch veränderliche Kapazitätsanforderungen. Ebenso werden spontane Ausfälle von Mitarbeitern nicht berücksichtigt, da dies die Anforderungen an das Simulationsmodell sprengen würden. Mögliche Veränderungen in diesem Bereich können durch eine Anpassung der für die an einem festgelegten Tag verfügbaren Mitarbeiter ausgeglichen werden.

## 3.5 Auftragsdauer

Die Dauer eines disponierten Auftrags wird vom Disponenten geschätzt. Einer solchen Schätzung liegen Erfahrungswerte aus der beruflichen Praxis des Disponenten zugrunde. Die tatsächliche Dauer eines Auftrags kann jedoch im Kontext seiner konkreten Durchführung abweichen, weil

<sup>5</sup>Hierbei steht die Zahl 6 für die niedrigste und 0 für die höchste Priorität.

<sup>6</sup>Die Erhöhung der Priorisierung entspricht der Dekrementierung des den der Priorität entsprechenden Wertes. Die Priorität 0 kann nicht verringert werden und behält den Wert 0.

- der Auftrag nicht vollständig ausgeführt werden kann und somit unterbrochen werden muß,
- die tatsächliche Dauer des Auftrags von der geplanten abweicht.

Solche Abweichungen müssen in dem Simulationsmodell berücksichtigt werden. Eine solche Berücksichtigung erfordert eine Orientierung an Werten aus dem Tagesablauf der Anwendungsdomäne. Für eine erhöhte Genauigkeit und somit eine höhere Präzision der Simulation sollten in dem Modell Abweichungen aus dem alltäglichen Prozeßablauf eines Unternehmens berücksichtigt werden. Dies erfordert jedoch einen hohen Verwaltungsaufwand zur Ermittlung aller Abweichungen zwischen geplanter und tatsächlicher Dauer aller Aufträge eines Handwerksunternehmens. Zur Reduktion dieses Aufwand werden für die zeitliche Abweichung geschätzte Faktoren angesetzt. Bei den Faktoren für die Abweichung wird zwischen der Unterbrechung eines Auftrags und der zeitlichen Abweichung der Erfüllung eines geplanten Auftrags unterschieden.

**Verzögerung:** Ein Auftrag kann nicht vollständig ausgeführt werden, da notwendige Ressourcen nicht lokal verfügbar sind. In einem solchen Fall muß der Mitarbeiter die Durchführung vor Ort abbrechen und die Versorgung mit den benötigten Ressourcen organisieren. Bspw. kann sich bei einer Auftragsdurchführung herausstellen, daß ein bestimmtes Ersatzteil benötigt wird, welches bei der Disposition nicht berücksichtigt wurde. Der Mitarbeiter kann seine Arbeit somit nicht direkt weiterführen sondern muß erst das entsprechende Ersatzteil besorgen. Aufgrund dessen ist in der Regel ein weiterer Kundendienstbesuch erforderlich.

**Abweichung:** Geplante Zeitintervalle für die Durchführung einzelner Aufträge basieren i.d.R. auf langjährigen Erfahrungswerten der Disponenten in Handwerksbetrieben. Üblicherweise weichen die realen Zeiten zur Durchführung – trotz aller Erfahrung – von den realen Zeiten ab.

Für beide Arten der zeitlichen Veränderung, Verzögerung und Abweichung, wird in der Simulation jeweils ein eigener Faktor angesetzt.

## 4 Simulationsmodell der Auftragsdurchführung

Auf Basis der bisherigen Anforderungen wird für die Simulation der Auftragsbearbeitung ein Petri-Netz-Modell erstellt. Es handelt sich hierbei um eine spezielle Netzklasse, einem Prädikats-Transitions-Netz (Pr/T-Netz)<sup>7</sup>. Im Gegensatz zu herkömmlichen Stellen-Transitions-Netzen (S/T-Netz) sind die Marken nicht anonym, sondern repräsentieren attributierte Entitäten und Entitätstypen. Eine entitätsbezogene Typisierung bei Pr/T-Netzen spiegelt sich in der Zuweisung konkreter Entitätstypen zu den Stellen eines Pr/T-Netzes wieder. Eigenschaften spezieller Entitäten werden an den Flußrelationen zwischen Stellen und Transitionen oder umgekehrt annotiert.

### 4.1 Untersuchungsgegenstand der Simulation

Das Pr/T-Netz zur Auftragsbearbeitung in Handwerksbetrieben baut auf einer Menge von fest disponierten Aufträgen für einen Arbeitstag auf. Eintreffende Notfälle „stören“ den geplanten Tagesablauf, indem sporadisch auftretende und höher priorisierte Aufträge bevorzugt behandelt werden müssen. Ziel der Simulation ist die Ermittlung der Anzahl von abzuarbeitenden Notfällen, ohne dabei den regulären Ablauf merklich zu stören.

### 4.2 Pr/T-Netz der Simulation

Das Petri-Netz zur Simulation der Auftragsbearbeitung in einem Handwerksbetrieb ist in Abbildung 3 überblicksartig dargestellt<sup>8</sup>. Die Abkürzungen in dem Pr/T-Netz stehen für folgende Informationen:

Abkürzung	Bedeutung
m	Mitarbeiter des Betriebs
a	Auftrag
k	Kunde
t	Zeitpunkt (geplante oder aktuelle Zeit)
d	Dauer eines Auftrags (geplant)
p	Priorität eines Auftrags

<sup>7</sup>Pr/T-Netze gehören zur Klasse höherer Petri-Netze. Eine Übersicht über höhere Netze findet man in [6].

<sup>8</sup>Eine größere Abbildung des Petri-Netz-Modells der Auftragsbearbeitung findet sich in Abbildung 20 in Anhang A.

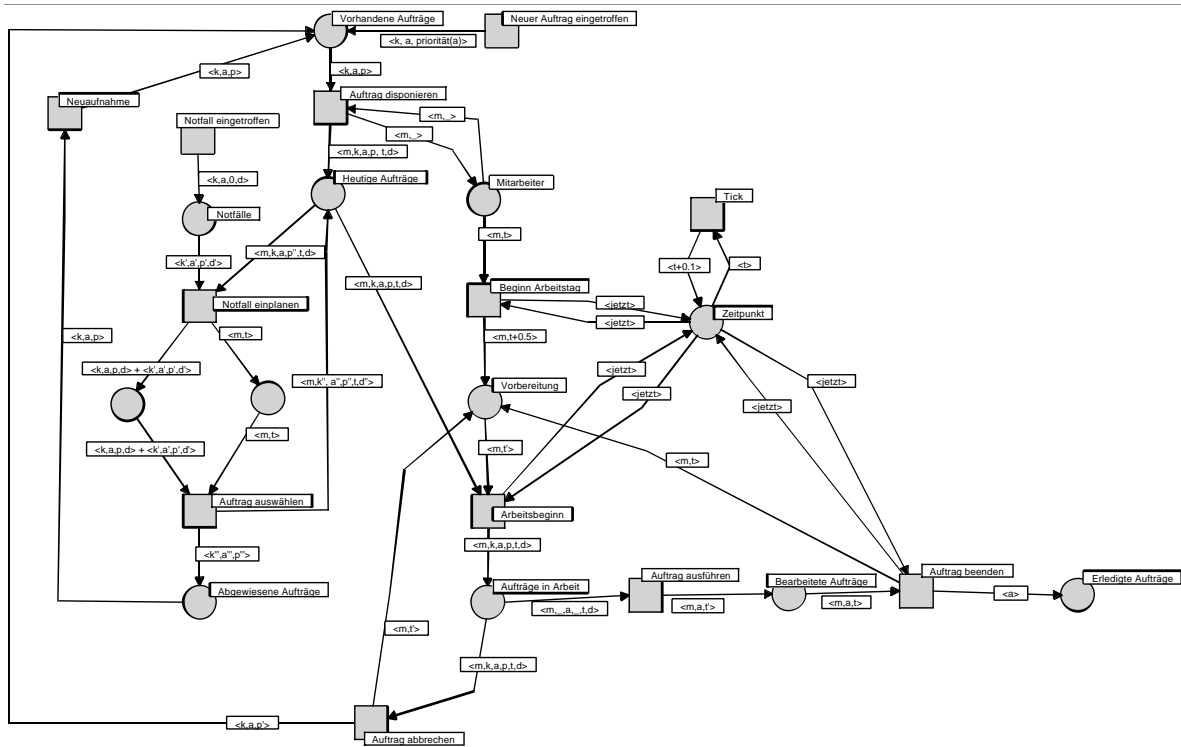


Abbildung 3: Überblick über das Petri-Netz

Stellen des Netzes (Kreise) können Marken in Form von Tupeln enthalten, wobei diese auf verschiedenen Stellen von unterschiedlichen Typen sein können. Marken können auf einer Stelle über einen gewissen (hier nicht näher definierten) Zeitraum liegen. Ein Auftrag (resp. das ihn repräsentierende Tupel) liegt – zunächst aus der Sicht der Anwendungsdomäne formuliert – so lange auf der Stelle *heutige Aufträge* bis seine Ausführung durch einen Mitarbeiter gestartet wird<sup>9</sup>. Ein Auftrag befindet sich auf dieser Stelle in dem Zustand *wartend*. Auch Ressourcen – in diesem Fall die Mitarbeiter – werden auf Tupel in dem Netz abgebildet. Alle verfügbaren Mitarbeiter liegen auf den Stellen *Mitarbeiter* (Zustand *verfügbar*) oder *Vorbereitung* (Zustand *in Vorbereitung*). Beginnt ein Mitarbeiter die Ausführung eines Auftrags (Schalten der Transition *Arbeitsbeginn*) werden die Auftrags- und Mitarbeitertupel von den jeweiligen Stellen entfernt und ein neues Tupel auf der Stelle *Aufträge in Arbeit* abgelegt. Dieses neue Tupel beinhaltet die Informationen über den Auftrag und den jeweils ausführenden Mitarbeiter. Auftrag und Mitarbeiter befinden sich hierbei im Zustand *Auftrag Ausführen*. Im Gegensatz zu Stellen ist das Schalten von Transitionen nicht zeitbehaftet. Eine Transition kann nur dann schalten, wenn sie aktiviert ist, d.h. wenn die Tupel der eingehenden Stellen der Schaltregel genügen. Dies ist jedoch nur ein notwendiges Kriterium. Eine aktivierte Transition kann schalten, muß es aber nicht notwendigerweise. Z.B. ist die Transition *Notfall eingetroffen* ständig aktiviert<sup>10</sup>. Sie schaltet aber erst dann wenn (bspw. im Rahmen einer Simulation) wirklich ein Notfallauftrag eintrifft.

Die Darstellung des Netzes in Abbildung 3 soll zunächst nur einen Überblick vermitteln. Einzelne Teilaspekte des Netzes werden in den folgenden Abschnitten detailliert vorgestellt. Hierbei wird jeder Teilaspekt des Petri-Netzes dem entsprechenden Ausschnitt des MEMO-Diagramms in Abbildung 1 zugeordnet. Zusätzlich werden

<sup>9</sup>Genauer gesagt, liegt ein Tupel so lange auf einer Stelle, bis eine nachfolgende Transition schaltet und es dabei entfernt. Eine Transition kann jedoch nur dann schalten, wenn sie aktiviert ist, d.h. auf ihren Eingangsstellen Tupel liegen, welche die Schaltregel erfüllen. Ein Tupel auf der Stelle *Heutige Aufträge* kann durch das Schalten der nachfolgenden Transition *Arbeitsbeginn* von dieser entfernt werden. *Arbeitsbeginn* ist jedoch nur dann aktiviert, wenn – neben dem Auftrag auf *Heutige Aufträge* – auf der Stelle *Mitarbeiter* das Tupel des für diesen Auftrag vorgesehenen Mitarbeiters liegt und die Schaltregel erfüllt ist. Die Schaltregel ist genau dann erfüllt, wenn auf der Stelle *Zeitpunkt* ein Tupel  $t$  liegt und folgende Bedingungen erfüllt sind:

- $t_j = t'$ : Der vorgesehene Mitarbeiter ist verfügbar.
- $t = jetzt$ : Der aktuelle Zeitpunkt *jetzt* entspricht dem geplanten Beginn des Auftrags.

Die Erfüllung beider Bedingungen ermöglicht das Schalten der Transition; sie muß es aber nicht.

<sup>10</sup>Die Transition hat keine Vorbedingung.

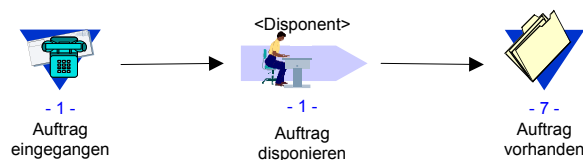
die Typen der auf den Stellen möglichen Tupel<sup>11</sup> angegeben.

#### 4.2.1 Disposition neuer Aufträge

Neu eingetroffene Aufträge unterliegen zunächst dem Prozeß der Disposition. Anhand vorhandener Aufträge und der Relevanz eines neuen Auftrags wird ein solcher in den geplanten Ablauf der Auftragsbearbeitung eingeordnet. An dieser Stelle werden zunächst nur Routineaufträge betrachtet. Von Notfällen wird in diesem Zusammenhang abstrahiert. Deren Betrachtung wird im Rahmen des Abschnitts 4.2.5 ergänzt.

Ein im Bezug auf das MEMO-Prozeßmodell einführender Vergleich der Auftragsdisposition findet sich in Abbildung 4. Im oberen Teil der Abbildung ist der Ausschnitt aus dem MEMO-Modell bzgl. der Einplanung neuer Aufträge skizziert. Darunter befindet sich die jeweilige Entsprechung in dem Petri-Netz-Modell.

Ausschnitt aus dem MEMO-Diagramm



Korrespondierender Ausschnitt aus dem Petrinetz-Modell

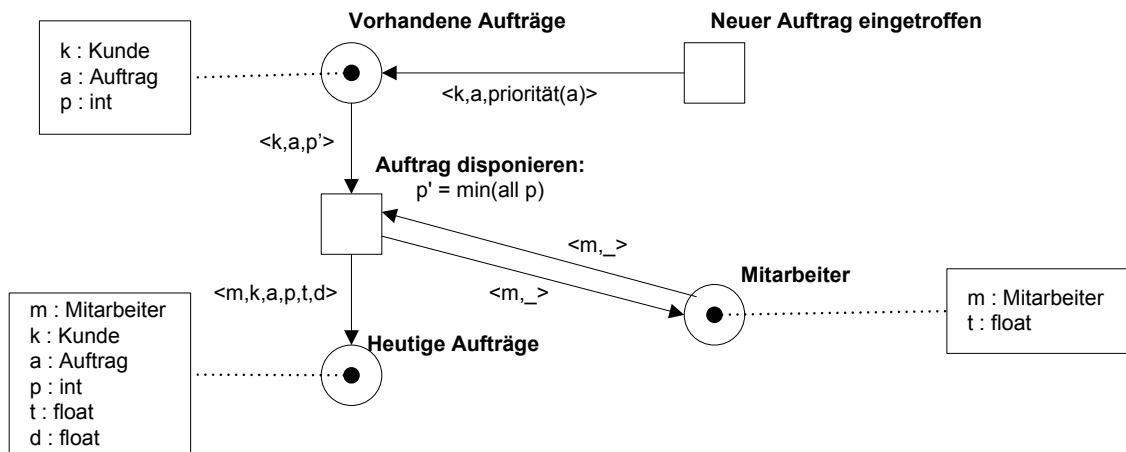


Abbildung 4: Disposition neuer Aufträge

Die Transition **Neuer Auftrag eingetroffen** repräsentiert das Ereignis der Ankunft eines neuen Auftrags in dem Handwerksunternehmen. Solch ein Auftrag wird in der Liste der vorhandenen Aufträge abgelegt, wobei hier für die einzelnen Prädikate folgende Attributwerte festgehalten werden:

- **k : Kunde** - Kunde des Auftrags
- **a : Auftrag** - eigentlicher Auftrag
- **p: int** - Priorität des Auftrags

Direkt nach dem Eingang eines Auftrags sind zunächst der Auftrag selbst und der damit assoziierte Kunde bekannt. Die Priorität ergibt sich aus der Art des Auftrags und dem Kundentyp und wird durch die im Simulator globale Funktion `priorität` bestimmt.

<sup>11</sup>Der ausgefüllte Kreis am Ende der gestrichelten Linie auf Stellensymbolen, steht in diesem Kapitel nicht für konkrete Markierungen sondern stellt lediglich eine Beziehung zwischen Stellen und den Typen der auf ihnen möglichen Marken dar.

Im Rahmen der Disposition werden die vorhandenen Aufträge dem aktuellen Tagesablauf zugeordnet. Dem Dispositionsprozeß des MEMO-Diagramms **Auftrag disponieren** entspricht die Transition **Auftrag disponieren**. Ihre Schaltregel ist  $p' = \min(\text{all } p)$  und bedeutet, daß aus der Menge der auf der Stelle **Vorhandene Aufträge** derjenige mit der höchsten Priorität ausgewählt wird<sup>12</sup>. Die aktuell zu bearbeitenden Aufträge liegen auf der Stelle **Heutige Aufträge** parat.

Der Dispositionsprozeß der Transition **Auftrag disponieren** übernimmt Aufträge der höchsten Priorität aus der Menge vorhandener Aufträge und verfügbare Mitarbeiter (Stelle **Mitarbeiter**) und erzeugt neue Tupel der Art  $\langle m, k, a, p, t, d \rangle$ . Dem Element  $m$  entspricht hierbei dem jeweils verfügbare Mitarbeiter,  $k$  steht für den entsprechenden Kunden,  $a$  entspricht dem Auftrag.  $p'$  entspricht dem Maximum der Prioritäten aller verfügbaren Aufträge ( $p' = \min(\text{all } p)$ ).  $t$  spiegelt den geplanten Zeitpunkt des Beginns der Auftragsdurchführung wider und  $d$  die avisierte Dauer der Auftragsdurchführung.

#### 4.2.2 Aufträge ausführen

Die Ausführung von Aufträgen (siehe Abbildung 5) setzt auf der Menge disponierter Aufträge (**Heutige Aufträge**) und der Verfügbarkeit der Mitarbeiter im Kundendienst (**KD-Mitarbeiter**)<sup>13</sup> auf. Ebenso wird der aktuelle Zeitpunkt  $\langle \text{jetzt} \rangle$  berücksichtigt.

Von jedem verfügbaren Auftrag  $a$  werden Informationen bzgl. des Mitarbeiters  $m$ , des Kunden  $k$ , des Zeitpunktes  $t$  des geplanten Beginns der Durchführung und der avisierten Dauer  $d$  übernommen. Aus der Menge der Mitarbeiter werden jene Mitarbeiter angefordert, welche einem konkreten Auftrag zugewiesen wurden und auch zu diesem Zeitpunkt verfügbar sind. Zu Beginn eines Arbeitstages wird jedem Mitarbeiter eine vorgegebene Vorbereitungszeit gewährt (dargestellt in der Stelle **Vorbereitung**). Die zur Verfügung gestellte Zeit beträgt dabei eine halbe Stunde ( $t+0.5$ )<sup>14</sup>. Anschließend beginnt ein Mitarbeiter mit der Durchführung eines Auftrags, wenn der Zeitpunkt seiner Durchführung erreicht ist ( $t = \langle \text{jetzt} \rangle$ ) und der Mitarbeiter auch zu diesem Zeitpunkt verfügbar ist ( $t \geq t'$ ).

#### 4.2.3 Modellierung von Zeit

Die Modellierung zeitlicher Aspekte ist in klassischen Petri-Netzen nicht explizit vorgesehen<sup>15</sup>. Vielmehr muß die Ressource Zeit durch existierende Netzkonzepte oder erweiterte Konzepte höherer Netze dargestellt werden. Ansätze zur Erweiterung von Petri-Netzen um den Zeitbegriff werden in [4, 6, 14, 19] vorgestellt. Im Rahmen der in diesem Bericht beschriebenen Auftragsdisposition wird Zeit durch das Teilnetz in Abbildung 6 realisiert.

Die Stelle **Zeitpunkt** hält die Information über die aktuelle Zeit. Durch das Schalten der Transition **Tick** wird die Zeit periodisch erhöht. Im Falle des Pr/T-Netzes der Auftragssimulation in Handwerksbetrieben wird für die Inkrementierung ein Intervall von sechs Minuten ( $t+0.1$ ) vorgesehen. Die Transition **Tick** schaltet somit alle sechs Minuten.

Eine auf den aktuellen Zeitpunkt bezogene Transition prüft den Zeitstempel  $t$  des aktuellen Tupels und vergleicht ihn mit der aktuellen Zeit. Das Feuern einer Transition wird hierbei an den frühest möglichen Zeitpunkt gebunden. Eine Transition mit der eingehenden Stelle **Zeitpunkt** schaltet unmittelbar bei Vorliegen des aktuellen Zeitpunkts. Um diesem Umstand in der Simulation gerecht zu werden, sind Transitionen im Netz mit Prioritäten versehen. Die Transition **Tick** hat in dem hier beschriebenen Netz die niedrigste Priorität. Somit wird das Schalten jeder anderen Transition im Netz gegenüber dem Schalten von **Tick** bevorzugt behandelt. Hierdurch wird erreicht, daß jeder vom aktuellen Zeitpunkt abhängige Vorgang gestartet werden kann, bevor die globale Zeit weiter geschaltet wird. Diese Art der Modellierung von Zeit in Pr/T-Netzen weicht von anderen Ansätzen ab, die dem Schalten von Transitionen eine zeitliche Dauer zuordnen<sup>16</sup>. Durch diesen Ansatz wird aber die Modellierung von Abweichungen zwischen geplanten und tatsächlichen Zeiten in der Auftragsbearbeitung erleichtert<sup>17</sup>.

<sup>12</sup>Je niedriger die Prioritätskennzahl ist, desto höher ist auch die Priorität.

<sup>13</sup>*KD-Mitarbeiter* steht abkürzend für Kundendienstmitarbeiter.

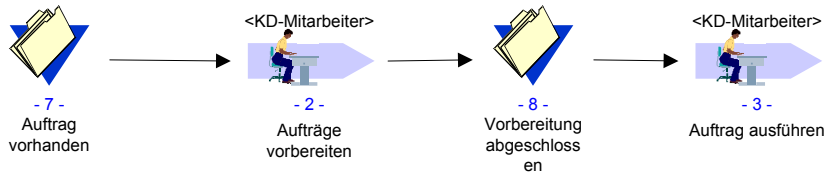
<sup>14</sup>Die Modellierung von Zeit im Pr/T-Netz wird ausführlicher in Abschnitt 4.2.3 betrachtet.

<sup>15</sup>Vgl. [4].

<sup>16</sup>Vgl. bspw. [4].

<sup>17</sup>Siehe hierzu Abschnitt 4.2.4.

Ausschnitt aus dem MEMO-Diagramm



Korrespondierender Ausschnitt aus dem Petrinetz-Modell

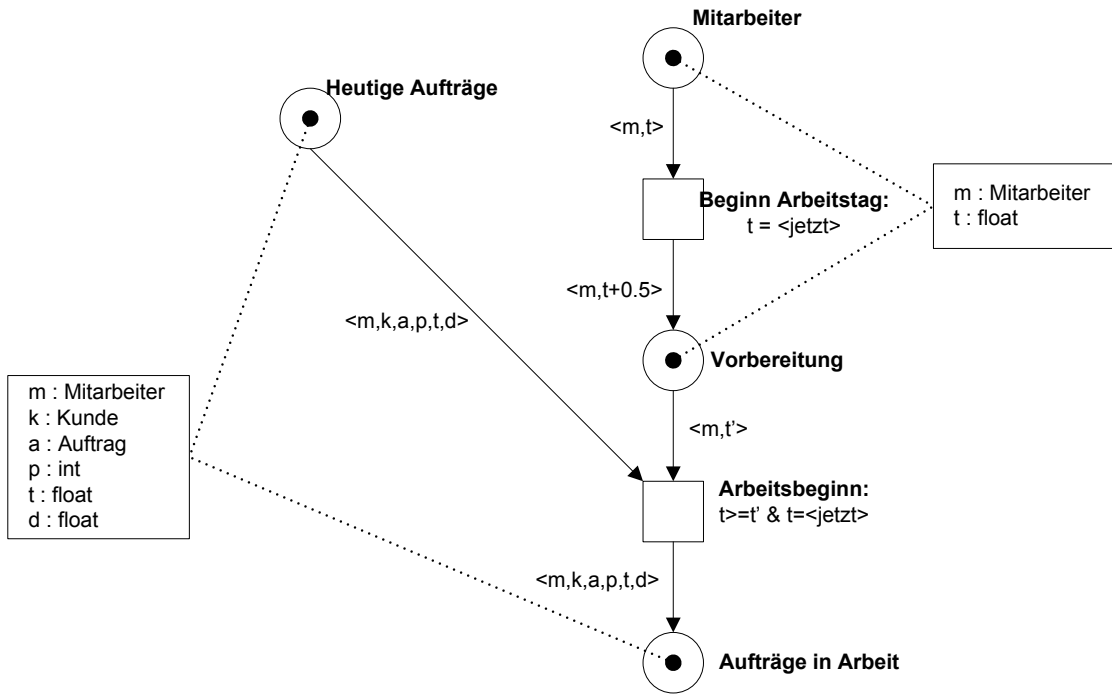


Abbildung 5: Ausführung eines Auftrags

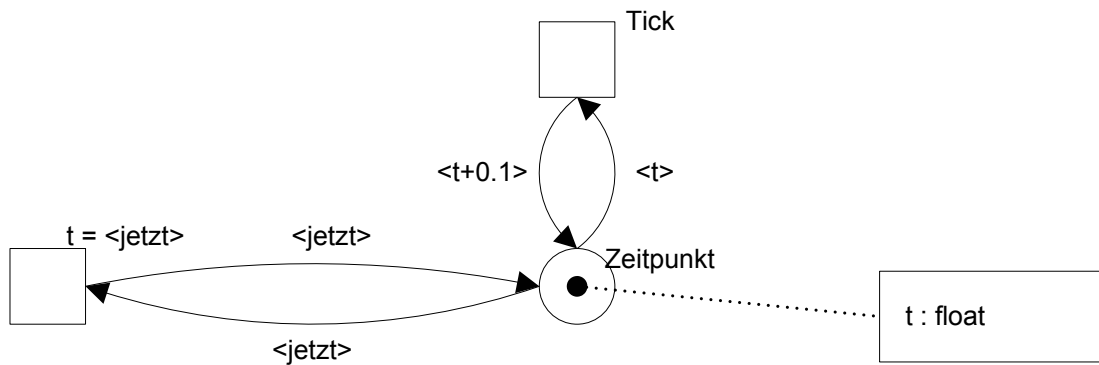


Abbildung 6: Zeit im Petri-Netz

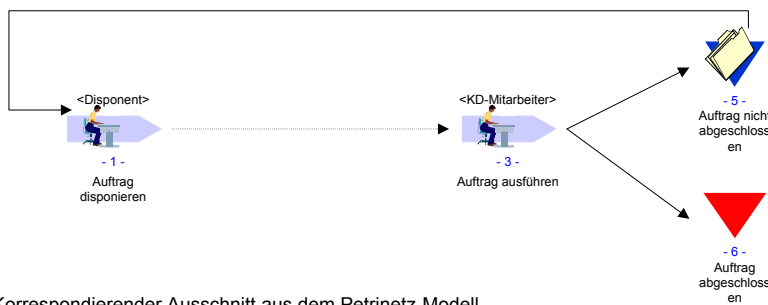


#### 4.2.4 Beendigung von Aufträgen

Wie in dem MEMO-Diagramm in Abbildung 7 dargestellt unterteilt sich die Beendigung eines Auftrags in den erfolgreichen Abschluß oder einen Abbruch. Ein Auftrag gilt dann als erfolgreich abgeschlossen, wenn das Problem zur Zufriedenheit des Kunden behoben werden konnte und kein Folgebesuch bzgl. diese Auftrags mehr nötig ist. Die Buchstaben in den Tupel-Bezeichnern entsprechen wie folgt:

- **m**: Mitarbeiter, der den Auftrag ausführt
- **k**: Kunde
- **a**: Auftrag
- **p**: Priorität des Auftrags
- **t**: aktueller Zeitpunkt
- **d**: geplante Dauer des Auftrags

Ausschnitt aus dem MEMO-Diagramm



Korrespondierender Ausschnitt aus dem Petrinetz-Modell

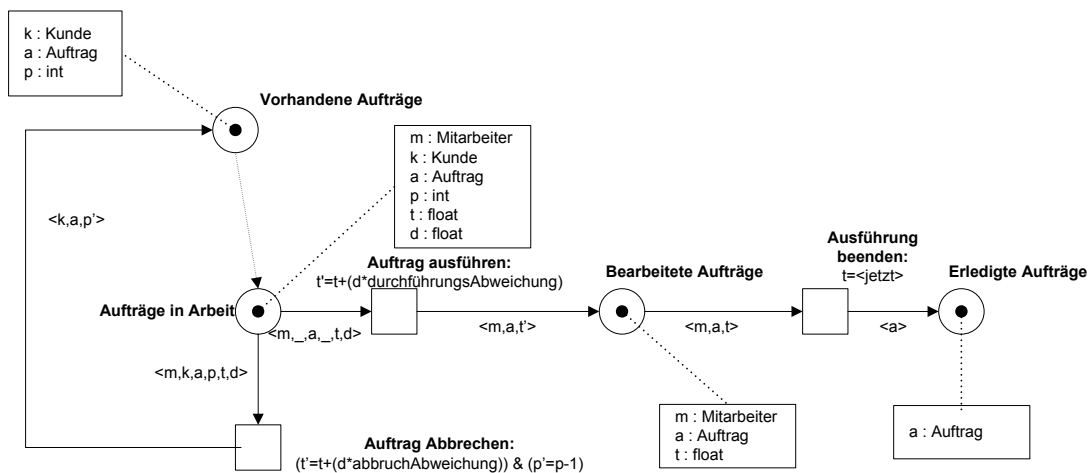


Abbildung 7: Beendigung von Aufträgen

Im Petri-Netz in Abbildung 7 entspricht die Transition **Auftrag ausführen** dem Ereignis **Auftrag abgeschlossen** im MEMO-Diagramm und **Auftrag abbrechen** dem Ereignis **Auftrag nicht abgeschlossen**. Beim Schalten ersterer Transition gilt ein Auftrag als erfolgreich abgeschlossen. Das Tupel  $\langle m, \_ , a, \_ , t, d \rangle$  wird von der Stelle **Aufträge in Arbeit** genommen und das Tupel  $\langle m, a, t \rangle$  auf die Stelle **Bearbeitete Aufträge** gelegt. Die Dauer  $d$  wird nicht direkt übernommen sondern als tatsächliche Dauer dem Zeitpunkt  $t$  hinzugefügt. Die tatsächliche Dauer der Auftragsdurchführung weicht i.d.R. von der geplanten Dauer  $d$  ab. Der Endzeitpunkt resultiert somit nicht aus der aktuellen Startzeit und der geplanten Dauer. Vielmehr ergibt sich der Endzeitpunkt  $t'$  der Auftragsdurchführung aus der Startzeit  $t$  und der konkret angefallenen Dauer:  $t' = t + (d * \text{durchführungsAbweichung})$ . Diese Ist-Dauer wird in dem Modell durch die Multiplikation der

geplanten Dauer mit einem Faktor **durchführungsAbweichung** bestimmt. Dieser Faktor ist nicht konstant, sondern wird für jeden Auftrag neu ermittelt. Sein Wert basiert auf Erfahrungswerten eines Handwerksbetriebs und ist im Simulationsmodell als das Ergebnis einer Funktion zu verstehen, die anhand einer Wahrscheinlichkeitsverteilung Abweichungen zwischen geplanter und real anfallender Dauer liefert. Ausgangspunkt hierfür ist, daß Aufträge mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit in der geplanten Zeit ausgeführt werden. Ebenso werden sie mit einer anderen Wahrscheinlichkeit früher oder später beendet. Diese Abweichungen sollen anhand von auf Erfahrungswerten basierenden Wahrscheinlichkeiten für die zeitliche Abweichung realisiert werden. Jeder Auftrag auf der Stelle **Bearbeitete Aufträge** wird anschließend zu den erledigten Aufträgen (Stelle **erledigte Aufträge**) hinzugefügt. Der Transfer des Mitarbeiters<sup>18</sup> ist hier ausgeblendet. Ergänzend gelten folgende Bedeutungen für die Bezeichner in Abbildung 7:

- **t, t'**: geplantes resp. tatsächliches Ende des Auftrags
- **p, p'**: alte resp. neue Priorität eines abgebrochenen Auftrags
- **durchführungsAbweichung**: Faktor, um den die tatsächliche Ausführungsdauer eines erfolgreich abgeschlossenen Auftrags von der geplanten Dauer abweicht
- **abbruchAbweichung**: Faktor, um den die tatsächliche Ausführungsdauer eines abgebrochenen Auftrags von der geplanten Dauer abweicht

Analog zur Bereinigung der Dauer erledigter Aufträge durch einen Abweichungsfaktor wird auch die tatsächliche Dauer eines abgebrochenen Auftrags aufgrund der geplanten Dauer und einem die Änderung repräsentierenden Faktor **abbruchAbweichung** dargestellt:  $(t' = t + (d * \text{abbruchAbweichung})) \ \& \ (p' = p - 1)$ . Hierbei werden die Aufträge jedoch über die Transition **Auftrag abbrechen** der erneuten Disposition (Stelle **Vorhandene Aufträge**) zugeführt. Da der Auftrag zunächst bei einem Kunden begonnen wurde, wird er für den nächsten Besuch mit einer höheren Priorität eingestuft ( $p' = p - 1$ ). Auch für diesen Fall ist das Ablegen des neuen Mitarbeiter-Tuples inkl. des korrigierten Zeitpunktes auf die Stelle **Vorbereitung** nicht dargestellt.

#### 4.2.5 Notfall einplanen

Notfälle „stören“ den geplanten Tagesablauf, da sie kurzfristig auftreten und oftmals eine kurzfristige Behebung der Ursache bedürfen. Das MEMO-Diagramm in Abbildung 8 stellt den Ablauf der Einplanung von Notfallaufträgen in einem Handwerksunternehmen dar. Nachdem ein Notfallauftrag eingegangen ist, prüft der Disponent die Dringlichkeit des Auftrags. Falls eine sofortige Reaktion nicht vonnöten ist, wird der Auftrag der üblichen Disposition zugeführt (Ereignis **Notfall disponieren**). Andernfalls muß der Auftrag umgehend der aktuellen Tagesplanung zugeführt werden (Ereignis **Notfall vorziehen**).

Das aus dem MEMO-Diagramm in Abbildung 8 abgeleitete Petri-Netz findet sich in Abbildung 9. Dem Ereignis **Notfall eingegangen** entspricht die Transition **Notfall eingetroffen**. Anschließend wird anhand der Prioritäten existierender Aufträge geprüft, inwiefern ein Notfall vorgezogen werden kann. Es wird aus der Menge vorhandener Aufträge der mit der niedrigsten Priorität ausgewählt (Transition **Notfall einplanen**)<sup>19</sup> und die Zuordnung zu Mitarbeitern und der geplante Startzeitpunkt verglichen. Ist der geplante Auftrag niedriger priorisiert als der Notfall, wird der Notfall den aktuellen Aufträgen hinzugefügt und der geplante Auftrag der Neudisposition zugeführt. Andernfalls bleibt der geplante Auftrag in der Auftragsliste erhalten und der Notfall wird der Disposition unterzogen.

Grundsätzlich ist das Schalten der Transitionen **Notfall disponieren** und **Auftrag auswählen** höher priorisiert als das Schalten anderer Transitionen. Durch diese bevorzugte Behandlung der für die Einplanung von Notfällen zuständigen Transitionen wird erreicht, daß die hiermit verbundenen Vorgänge (repräsentiert durch die Transitionen) vor der Abarbeitung regulärer Aufträge durchgeführt werden können. Insgesamt ergibt sich für die Priorisierung des Schaltens von Transitionen im Netz:

- Die Transitionen **Notfall disponieren** und **Auftrag auswählen** haben die höchste Priorität. Sie schalten<sup>20</sup> vor allen anderen Transitionen.

<sup>18</sup>Vgl. hierzu Abbildung 3.

<sup>19</sup>Die Inskription der Transition ist  $p'' = \max(allp)$ . Je niedriger die Priorität eines Auftrags ist, desto höher ist die Prioritätskennzahl (vgl. Abschnitt 3.1.3). Somit ermittelt die Funktion  $\max(p)$  den Auftrag mit der niedrigsten Priorität.

<sup>20</sup>Aktiviertheit vorausgesetzt.

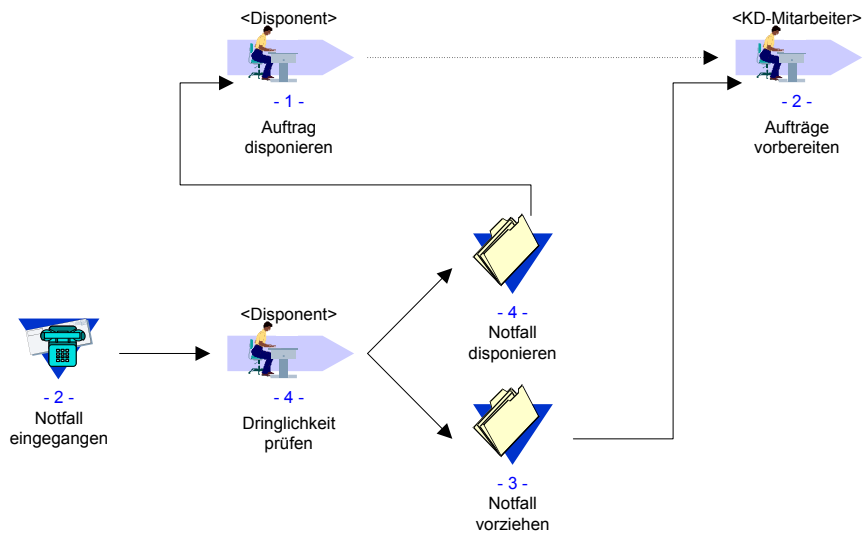


Abbildung 8: Einplanung eines Notfalls im MEMO-Diagramm

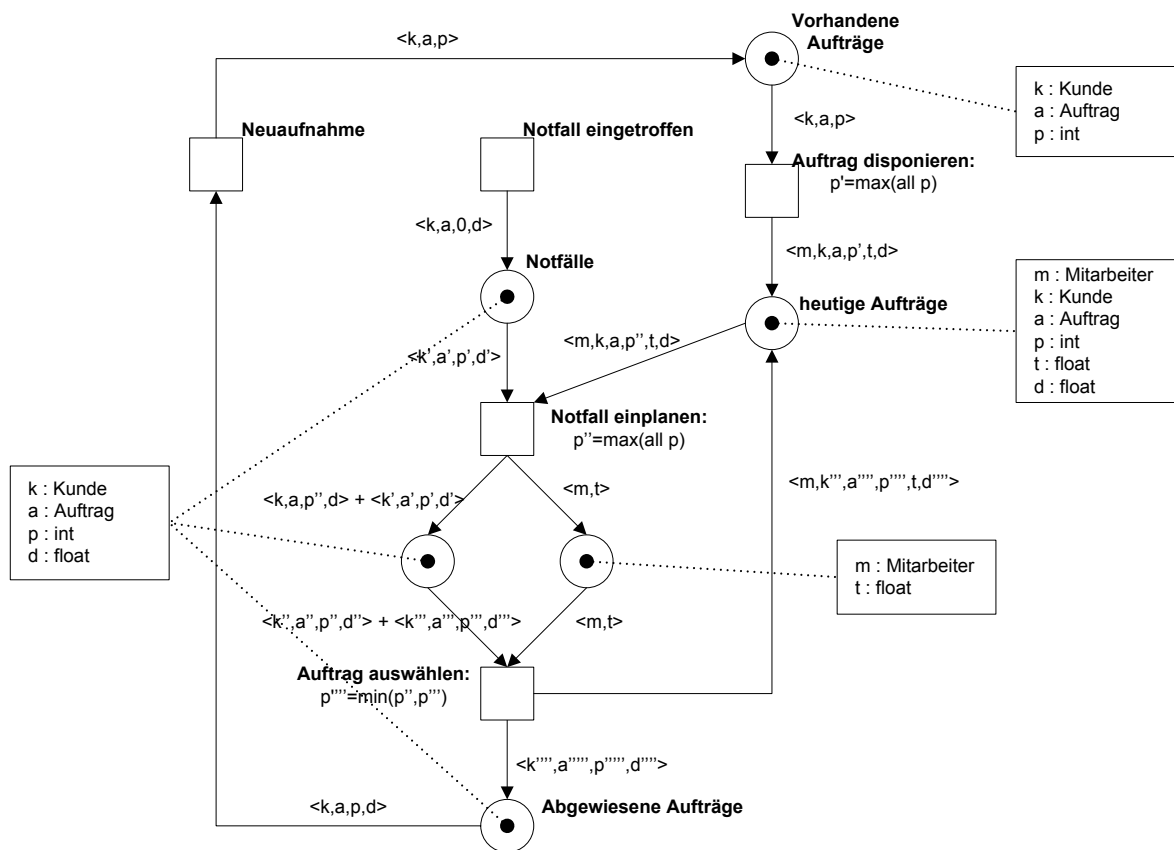


Abbildung 9: Einplanung eines Notfalls im Pr/T-Netz

- Die Transition `Tick` hat die niedrigste Priorität. Sie schaltet erst nach dem Schalten aller anderen aktivierten Transitionen.
- Alle anderen Transitionen haben eine mittlere Priorität: Sie können erst nach den hoch priorisierten Transitionen `Notfall disponieren` und `Auftrag auswählen` sowie vor der niedrig eingestuften Transition `Tick` schalten.

Durch die Einhaltung dieser Regeln wird für die Simulation gesichert, daß für einen gegebenen Zeitpunkt `t` Notfälle grundsätzlich bevorzugt werden. Erst nach deren Disposition kann die Abarbeitung regulärer Aufträge fortgesetzt werden. Ebenso gewährleistet die niedrige Priorisierung des Zeittaktes (Schalten der Transition `Tick`), daß an diesen Zeitpunkt gebundenen Tätigkeiten ausgeführt werden, bevor die Zeit weiter geschaltet wird. Der Petri-Netz-Simulator muß die Priorisierung des Schaltens von Transitionen explizit berücksichtigen. Ebenso muß der Simulator das sofortige Feuern aktivierter Transitionen bei Vorliegen der jeweils angegebenen Zeit erzwingen. Dieses Simulationsmodell baut darauf auf, daß terminierte Vorgänge unmittelbar beim Vorliegen des avisierten Zeitpunkts gestartet werden. Es existiert somit keine zeitliche Verzögerung zwischen der Erreichung eines Zeitpunktes und dem Beginn der Durchführung des daran gebundenen Vorgangs – sprich: dem Schalten einer Transition.

### 4.3 Vergleich: MEMO-Prozeßmodell und Pr/T-Netz

Die Aussagekraft von Prozess-Diagrammen der MEMO-OrgML und Petri-Netzen ist nicht deckungsgleich. Das Prozeßmodell in Abbildung 8 umfaßt die an der Einplanung von Notfällen beteiligten Prozesse und relevanten Ereignisse. Solche Ereignisse sind das Eintreffen von Notfällen sowie die Kategorisierung eines Notfalls als dringend (Ereignis `Notfall vorziehen`) oder disponierbar (Ereignis `Notfall disponieren`). Den Prozessen werden überdies Rollen zugeordnet, die sich auf Mitarbeiter eines Unternehmens beziehen. Ein Disponent ist für die Einplanung von Aufträgen (dringlich oder Routine) verantwortlich und ein Kundendienstmitarbeiter (`KD-Mitarbeiter`) führt einen Auftrag aus. Prozeßdiagramme in MEMO sind auf einer konzeptuellen Ebene angesiedelt; es wird überwiegend auf Typ-Ebene modelliert. Dies bedeutet insbesondere, daß von konkreten Instanzen und veränderlichen Aspekten abstrahiert wird. Deren Modellierung ist somit nicht notwendigerweise vorgesehen, wodurch die Potentiale für eine Simulation zunächst eingeschränkt sind. Diese Abstraktion ist jedoch im Rahmen der Modellierung von Geschäftsprozessen durchaus sinnvoll. Sie ermöglicht eine aus betriebswirtschaftlicher Sicht verständliche Beschreibung von Prozessen, die weder formal spezifiziert werden können noch für eine Simulation herangezogen werden sollen. Sowohl die Dokumentation der Prozesse eines Unternehmens als auch ihre betriebswirtschaftliche Analyse erfordern i.d.R. keine formale Beschreibung. Dies soll jedoch nicht konzeptuelle Modelle als Grundlage für eine Simulation ausschließen. Konzeptuelle Modelle können um Konzepte für die Simulation von Geschäftsprozessen erweitert werden oder auf ein Simulationsmodell abgebildet werden. Für die zukünftige Versionen der MEMO-OrgML sind solche Erweiterungen vorgesehen, jedoch derzeit noch nicht verfügbar.

In Petri-Netzen können jedoch unmittelbar konkrete Instanzen in Form von Marken<sup>21</sup> modelliert und temporale Aspekte aufgenommen werden. Grundkonzepte für die Simulation sind somit integrale Sprachbestandteile von Netzen. Instanzierte Aufträge können in Petri-Netzen als Marken dargestellt werden. Im Rahmen einer Simulation beziehen sich die Bedingungen an Kanten oder an Transitionen annotierte Schaltregeln auf diese Instanzen. Auch diskrete Zeitpunkte oder Dauern können mit den im Simulationsmodell vorhandenen Objekten assoziiert werden. Prioritäten sind im MEMO-Prozeßdiagramm in Abbildung 8 nicht dargestellt. Konkrete Prioritätskennzahlen beziehen sich vielmehr auf einzelne Instanzen und können per se nicht einem Auftrags-typ zugeordnet werden. Grundsätzlich können die in den Abschnitten 3.1 und 3.2 vorgestellten Regeln zur Beschreibung der Prioritäten in einem konzeptuellen Modell dargestellt werden<sup>22</sup>. Informationen über Instanzen, temporale Aspekte und Prioritäten sind jedoch essentiell für eine gehaltvolle Simulation von Prozessen. Solche Informationen können selten in konzeptuellen Modellen angesiedelt werden, sondern sind ein herausragender Anwendungsbereich von Petri-Netzen<sup>23</sup>.

Das aus der Analyse des Problembereichs resultierende Objektmodell in Abbildung 2 auf Seite 8 findet in dem Pr/T-Netz keine direkte Entsprechung. Vielmehr werden die Objekte auf ein dem Ziel der Simulation im Pr/T-Netz angemessenes Niveau herunter gebrochen. Von anwendungsnahen Attributen wie Vor- und

<sup>21</sup>In diesem Fall Tupel.

<sup>22</sup>Sofern die Formulierung solcher Regeln möglich ist, sollten diese auch in einem konzeptuellen Modell dargestellt werden. Sie stellen i.d.R. vorhandenes Wissen über Prozesse dar und bereichern die Darstellung in Prozeßmodellen um bekannte Fakten.

<sup>23</sup>Hierbei soll nicht vernachlässigt werden, daß auch ein Petri-Netz einen Prozeß auf konzeptueller Ebene repräsentiert. Ergänzt man aber Petri-Netze um konkrete Markierungen, erhält man ein markiertes Petri-Netz. Solch ein markiertes Netz kann der Simulation von spezifischen Abläufen dienen. Dies ist genau die Eigenschaft, die gehaltvolle Aussagen über Prozeßabläufe ermöglicht. Strukturelle Analysen über Netze werden hierbei zunächst einmal vernachlässigt.

Nachname spezifischer am Prozeß beteiligter Personen wird im Netz abstrahiert. Sie sind für das Ziel der Simulation irrelevant und werden somit ausgeblendet. Andere – relevante – Informationen (bspw. die Priorität eines Auftrags) werden den Tupeln des Pr/T-Netz hinzugefügt und auf flache Tupel abgebildet. In diesem Zusammenhang stellt auch ein mit einem Auftrag assoziierter Kunde nicht einen Bestandteil des Auftrags dar, sondern wird als eigenständiges Element eines Tupels berücksichtigt.

Abschließend bleibt hier festzuhalten, daß MEMO-Prozeßmodelle eine Dokumentation von Geschäftsprozessen auf einer konzeptuellen Ebene ermöglichen. Es wird die Darstellung von Geschäftsprozessen und daran beteiligten Rollen auf einem konzeptuellen Niveau ermöglicht. Auch die Annotation von Ereignissen ist durch die Modellierung typbezogener Aspekte gewährleistet. Petri-Netze eignen sich i.d.R. dann, wenn spezifische Eigenschaften von Instanzen für eine Simulation herangezogen werden müssen. In diesem Kontext können auch zeitliche Restriktionen auf einem anwendungsnahen Level betrachtet werden.

## 5 Beispiel

Der exemplarische Ablauf einer Simulation wird mit dem bisher entwickelten Pr/T-Netz skizziert. Das hier vorgestellte Beispiel basiert auf der Präsenz mehrerer Aufträge zu Beginn eines Arbeitstages und dem Eintreffen eines Notfalls an diesem Tag. Anhand konkreter Aufträge und zuständiger Mitarbeiter wird die vollständige Abarbeitung eines Auftrags, der vorzeitige Abbruch eines Auftrags und die Disposition eines Notfalls erläutert.

### 5.1 Auftrag ausführen

Zu Beginn des aktuellen Tages liegen sechs Aufträge (A1,A2,A3,A4,A5,A6) vor (vgl. Abbildung 10). Jeder Auftrag ist einem anderen Kunden zugeordnet. Die ersten drei Aufträge sind dem Mitarbeiter M1 zugeordnet und die letzten drei dem Mitarbeiter M2.

**jetzt = 7:00 Uhr** Der Arbeitstag der Mitarbeiter M1 und M2 beginnt um sieben Uhr. Zu diesem Zeitpunkt treffen die Mitarbeiter in der Zentrale des Betriebes ein, nehmen ihre Aufträge entgegen und bereiten deren Durchführung vor (vgl. Abbildung 11).

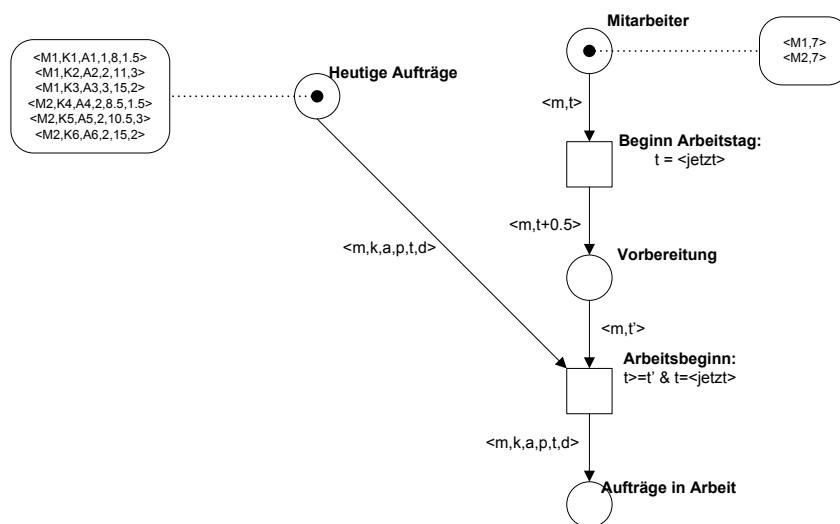


Abbildung 10: Auftrag ausführen (Teil 1)

**jetzt = 7:30 Uhr** Die Vorbereitung der Aufträge benötigt i.d.R. eine halbe Stunde, was sich im Simulationsmodell mit der Addition von 0.5 Stunden in der zeitlichen Abfolge bemerkbar macht (vgl. Abbildung 11). Nach der Vorbereitungszeit von einer halben Stunde stehen die Mitarbeiter zur Durchführung von Aufträgen zur Verfügung. Die Vorbereitung eines Mitarbeiters umfaßt die Ausstattung des jeweiligen Fahrzeugs mit den an diesem Tag benötigten Ersatzteilen und der Planung der Anfahrt zu den Kunden.

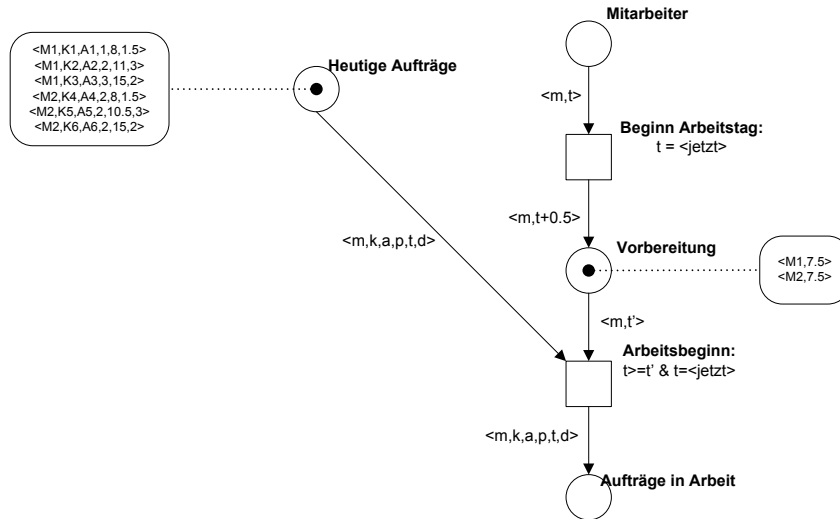


Abbildung 11: Auftrag ausführen (Teil 2)

Im Anschluß an die Vorbereitung könne die Mitarbeiter die Durchführung des Auftrags beginnen. In Abbildung 11 stehen um 7:30 Uhr die Mitarbeiter M1 und M2 zur Ausführung der geplanten Aufträge bereit. Der erste Auftrag beginnt für beide jeweils um 8:00 Uhr.

**jetzt = 8:00 Uhr** Um 8:00 Uhr beginnen die Mitarbeiter M1 und M2 mit den Aufträgen A1 und A2. Die beiden die Mitarbeiter repräsentierenden Tupel sowie die Tupel für die jeweiligen Aufträge A1 und A2 werden von den Stellen **Vorbereitung** resp. **Heutige Aufträge** entfernt. Die Mitarbeiter stehen somit zunächst nicht für andere Aufträge zur Verfügung, bis sie ihre aktuelle Aufgabe beendet haben. Ebenso gelten die derzeit bearbeiteten Aufträge als **Aufträge in Arbeit** (vgl. Abbildung 12).

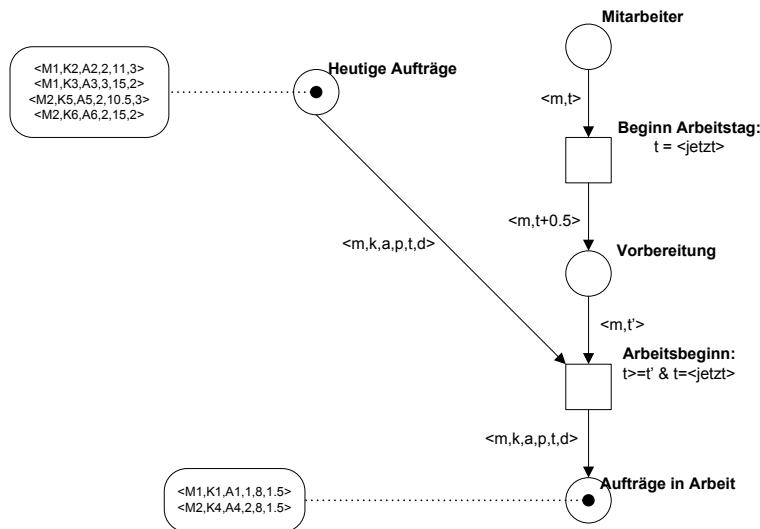


Abbildung 12: Auftrag ausführen (Teil 3)

## 5.2 Auftrag beenden

Jeder Auftrag kann auf zwei Arten beendet werden: Entweder wird er erfolgreich abgeschlossen oder er muß aufgrund unvorhersehbarer Umstände abgebrochen werden. Beide Möglichkeiten werden innerhalb dieses Abschnittes anhand zweier Aufträge verfolgt. Die Ausgangssituation knüpft an das markierte Netz in Abbildung 12 an.

**jetzt = 8:00 Uhr** Um 8:00 Uhr begannen die Mitarbeiter M1 und M2 die Aufträge A1 und A2. Beide Aufträge befinden sich derzeit im Zustand **In Bearbeitung** (Stelle **Aufträge in Arbeit** in Abbildung 13).

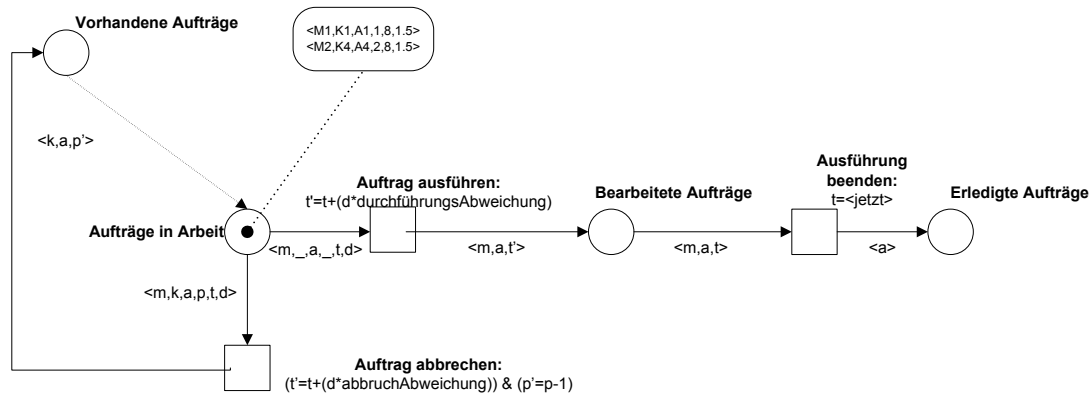


Abbildung 13: Auftrag beenden (Teil 1)

**jetzt = 9:00 Uhr** Im Verlauf der Bearbeitung des Auftrags A4 stellt sich heraus, daß dieser nicht vollständig ausgeführt werden kann. Ursache ist ein fehlendes Ersatzteil, welches erst bei einem Großhändler geordert werden muß. Ein weiterer Besuch seitens des Handwerksbetrieb ist somit erforderlich. Der Auftrag wird also vor seinem geplanten Ende abgebrochen und einer erneuten Disposition zugeführt. Diese neuerliche Disposition basiert auf der Verfügbarkeit des benötigten Ersatzteils. Diese ist nicht in dem Modell berücksichtigt. Der freigewordene Mitarbeiter steht nach diesem Schritt wieder auf der Stelle **Vorbereitung** (vgl. Abbildung 5 auf Seite 15) zur Verfügung.

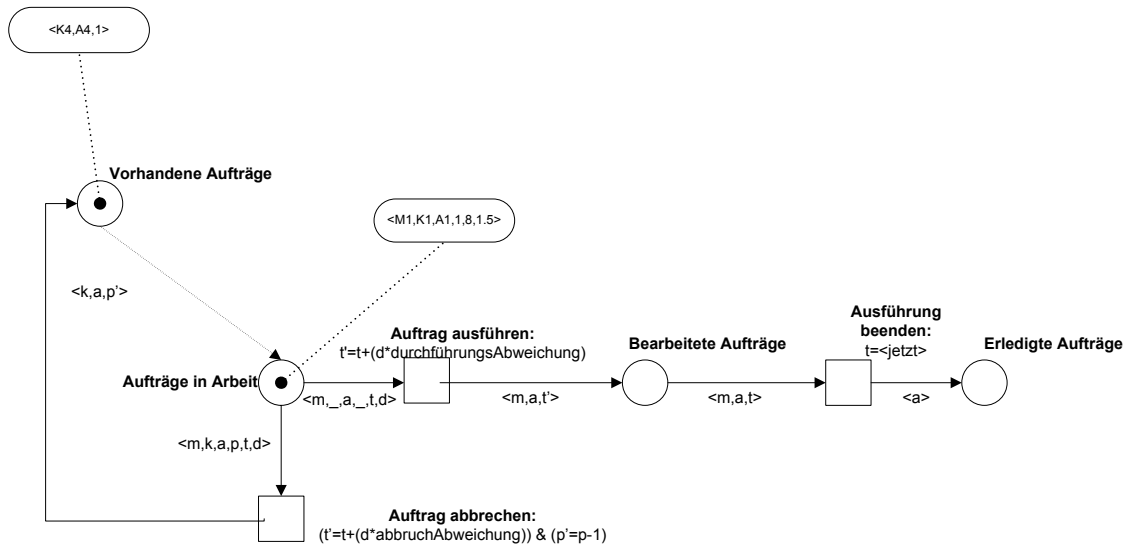


Abbildung 14: Auftrag beenden (Teil 2)

**jetzt = 9:18 Uhr** Der Auftrag A1 wurde von Mitarbeiter M1 schneller bearbeitet als ursprünglich eingeplant. Statt einer Stunde und 30 Minuten konnte der Auftrag innerhalb einer Stunde und 18 Minuten beendet werden. Der von Mitarbeiter M1 bearbeitet Auftrag A1 ist somit seit 9:18 Uhr im Zustand beendet. Grundlage für diese Abweichung bildet im Simulationsmodell die durchschnittliche zeitliche Abweichung bei der erfolgreichen Durchführung von Aufträgen. Für die hier skizzierte Simulation wird eine Normalverteilung bei Abweichung von den geplanten Werten angenommen.

**jetzt = 9:18 Uhr** Der Auftrag gilt als abgeschlossen und wird auf die Stelle **Erledigte Aufträge** gelegt (vgl. Abbildung 16). Die Ausführung des Auftrag ist somit endgültig abgeschlossen und bedarf keiner wei-

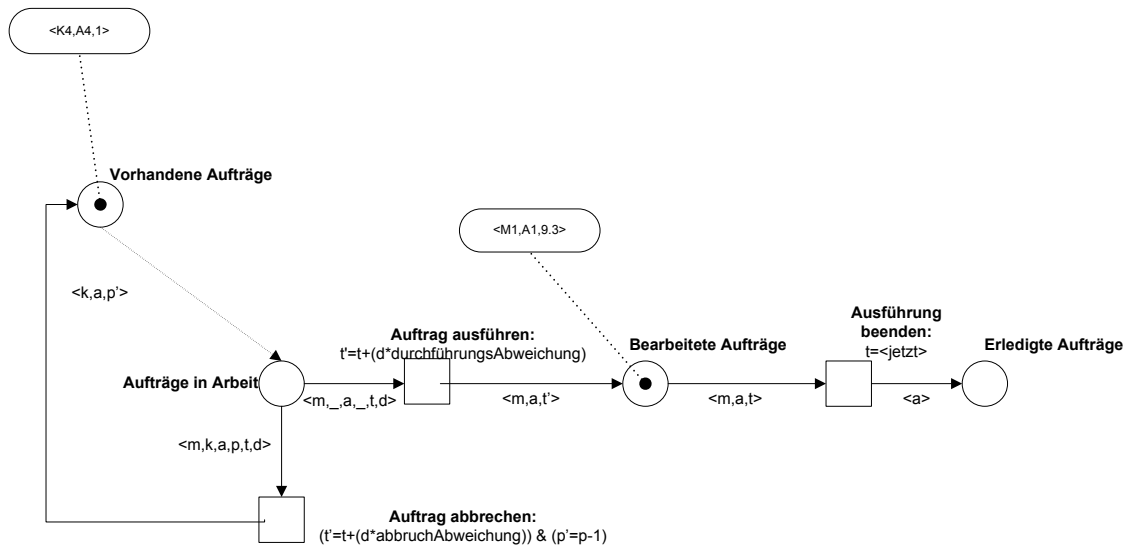


Abbildung 15: Auftrag beenden (Teil 3)

teren Bearbeitung mehr. Der hierfür zuständige Mitarbeiter wird mit dem aktuellen Zeitstempel der Stelle **Vorbereitung** in Abbildung 11 auf Seite 11 zugeordnet. Hierdurch steht er der Ausführung weiterer Aufträge zur Verfügung.

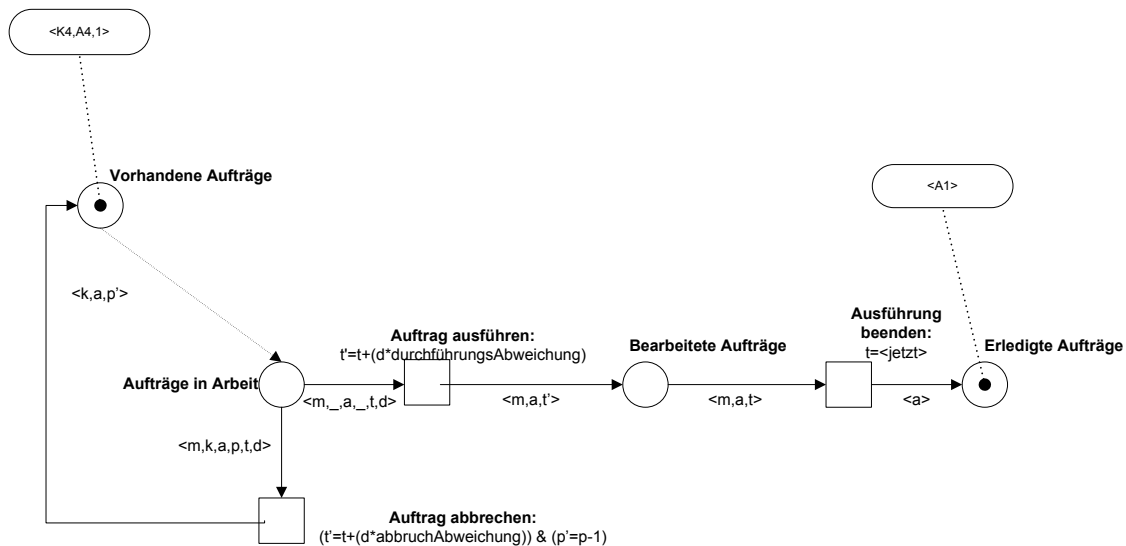


Abbildung 16: Auftrag beenden (Teil 4)

### 5.3 Notfall einplanen

Der für einen Tag geplante Ablauf der Durchführung von Routine-Aufträgen kann durch das Eintreten von Notfällen unterbrochen werden. Solche Notfälle treten sporadisch auf und bedürfen einer zeitnahen Reaktion seitens des Handwerksunternehmens.

**jetzt = 9:30 Uhr** Gegen 9:30 Uhr erreicht das Handwerksunternehmen eine Meldung über einen Notfall bei einem Kunden K7 (vgl. Abbildung 17). Die Zentralheizung dieses Kunden ist — ausgerechnet Anfang des Winters — ausgefallen und muß umgehend instand gesetzt werden. Dieser Auftrag wird im weiteren Verlauf unter der Bezeichnung A7 geführt (vgl. Abbildung 17). Aus der Menge der heute anstehenden Aufträge wird



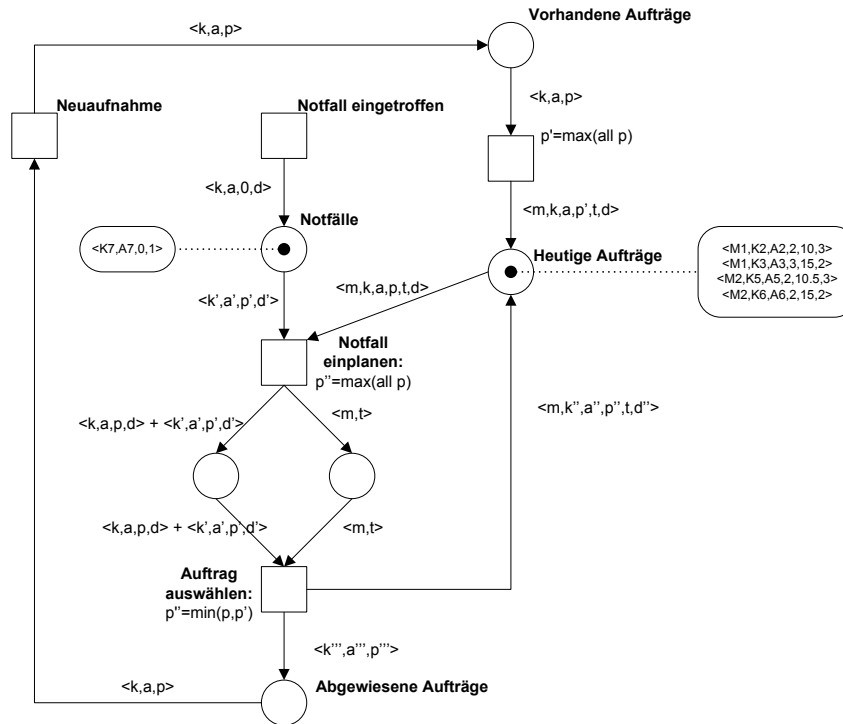


Abbildung 17: Notfall einplanen (Teil 1)

der mit der niedrigsten Priorität (sprich: der höchsten Kennzahl für die Priorität) ausgewählt<sup>24</sup>. Hierbei wird davon ausgegangen, daß der niedrigst priorisierte Auftrag derjenige ist, der so etwas wie eine tolerierbare Unzufriedenheit bei einem Kunden verursacht.

**jetzt > 9:30 Uhr** Abbildung 18 stellt die Situation nach Eingang des Notfalls und der Auswahl des Routineauftrags dar<sup>25</sup>. Auftrag **A3** wurde von der Stelle **heutige Aufträge** entfernt, da er die kleinste Dringlichkeit aufweist (Prioritätskennzahl 3). Die anderen eingeplanten Aufträge verbleiben auf der Stelle.

Für den direkten Vergleich werden der Notfall **A7** und der bisher eingeplante Auftrag **A3** auf einer Stelle abgelegt. Auf eine anderen Stelle wird der Mitarbeiter **M1** geschoben, der um 15 Uhr einen Auftrag bearbeiten soll. Für einen direkten Vergleich der beiden Aufträge sind nur die Informationen bzgl. des Kunden **k**, der Auftragsart **a**, der Priorität **p** und der geschätzten Dauer nötig. Der konkrete Mitarbeiter und die Uhrzeit der Durchführung des Auftrags während des aktuellen Tages sind nicht relevant<sup>26</sup>.

**Selektion eines Auftrags** Anhand der Prioritäten des Notfalls und des bisherigen Auftrags wird entschieden, welcher der beiden Aufträge der aktuellen Tagesplanung zugeführt und welcher neu disponiert werden soll<sup>27</sup>. Dieser Entscheidungsprozeß wird in dem Simulationsmodell in Abbildung 19 durch die Transition **Auftrag auswählen** dargestellt.

In dem hier betrachteten Beispiel wird der Notfall **A7** anstelle des Auftrags **A3** der Tagesplanung zugeführt. **A3** wird heute nicht ausgeführt sondern für die erneute Disposition für die nächsten Tage vorgesehen. Die Priorität des Notfalls  $p=0$  war höher als die von **A3** ( $p=3$ ). Weitere Aspekte wie die Dauer des Auftrags oder andere Attribute des Kunden oder Auftrags wurden nicht betrachtet.

<sup>24</sup>Falls mehrere Aufträgen mit der gleichen Priorität in Betracht kommen, wird einer davon per Zufall ausgewählt.

<sup>25</sup>Ab hier werden keine konkreten Zeiten mehr betrachtet. Es wird vielmehr davon ausgegangen, daß die Einplanung eines Notfalls annähernd zeitlos stattfindet. Darüberhinaus hat die aktuelle Zeit keinen Einfluß auf den Planungsprozeß und vice versa.

<sup>26</sup>Diese Aufteilung hat noch einen weiteren – systemtechnischen – Grund. Auf einer Stelle können nur Tupel eines festgelegten Typs liegen. In diesem Fall ist dies zum einen die eine Stelle mit den Aufträgen und die andere mit dem Mitarbeiter. Auf ersterer können nicht gleichzeitig Auftragsstapel mit und ohne Mitarbeiter vorhanden sein.

<sup>27</sup>Zukünftige Erweiterungen des Netzes könnten die zusätzliche Betrachtung der Dauer (Optimierung des Zeitablaufs) und eine differenzierte Betrachtung von Kunden- und Auftragsdaten integrieren.

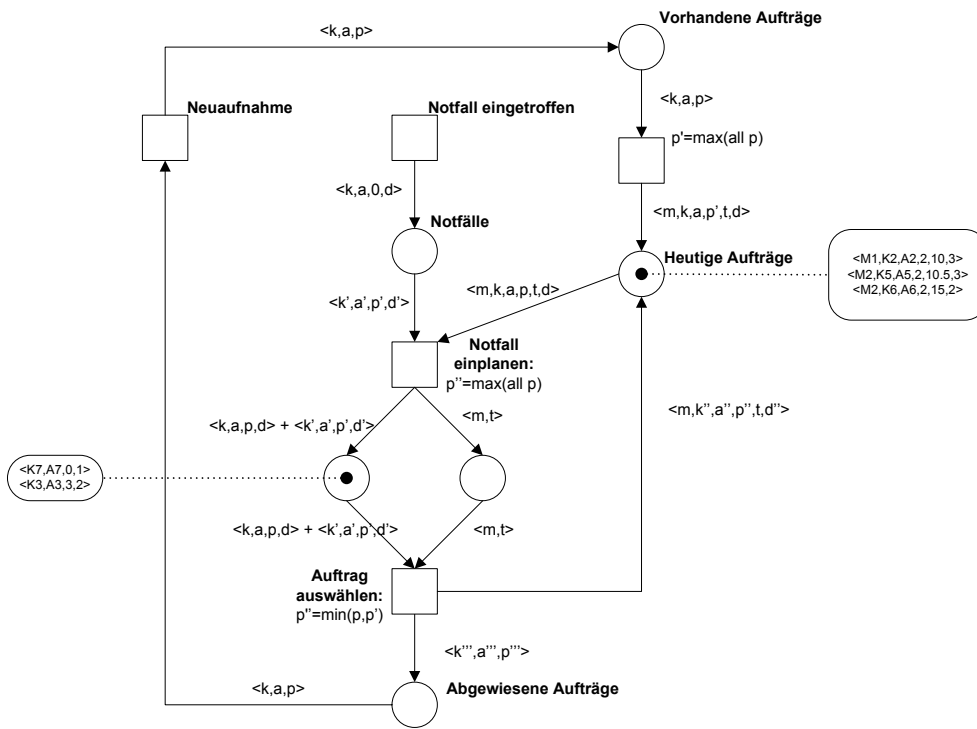


Abbildung 18: Notfall einplanen (Teil 2)

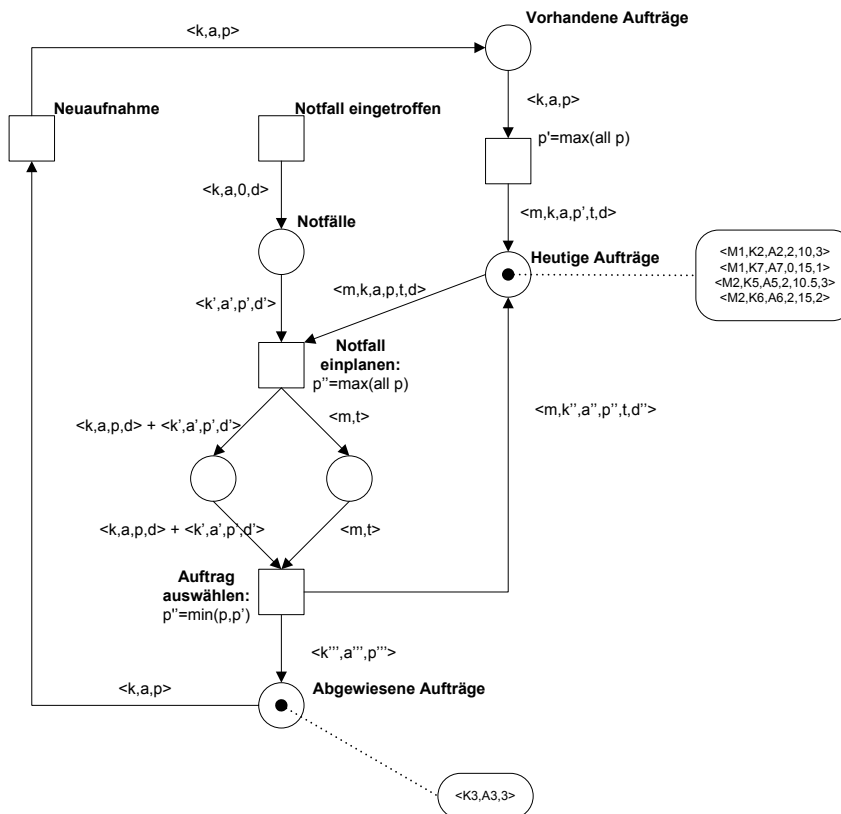


Abbildung 19: Notfall einplanen (Teil 3)

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Verlauf dieses Berichtes wird die Disposition von Aufträgen und Notfällen in kleinen und mittelständischen Handwerksbetrieben im Hinblick auf eine Simulation mittels eines Petri-Netzes untersucht. Zu Beginn wird der Dispositionsprozeß und die daran beteiligten Objekte anhand eines MEMO-Modells in Abschnitt 2 vorgestellt. Der Ablauf liegt hier als MEMO-OrgML-Diagramm vor (vgl. Abbildung 1 auf Seite 7) und die assoziierten Entitäten werden mittels der objektorientierten Modellierungssprache UML spezifiziert (vgl. Abbildung 2 auf Seite 8). Ergänzende Restriktionen im Bezug auf die Simulation mittels eines Petri-Netzes werden in Abschnitt 3 formuliert. Das im Rahmen dieser Untersuchungen entwickelte Pr/T-Netz wird in Abschnitt 4 vorgestellt. Hierbei werden Ausschnitte des Netzes den korrespondierenden Teilnetzen aus dem MEMO-Prozeßdiagramm gegenübergestellt. Im Anschluß daran wird die Durchführung der Simulation anhand eines Beispiels in Abschnitt 5 vorgestellt.

Das hier entwickelte Simulationsmodell wird im Rahmen künftiger Untersuchungen anhand von Prozessen realer Handwerksbetriebe evaluiert. Hierbei stehen insbesondere die Angemessenheit des Modells in Bezug auf die adäquate Abbildung der Prozesse und der Umsetzbarkeit der Erkenntnisse aus der Simulation im Vordergrund. Ergebnisse der Simulation sind nur dann für ein Unternehmen sinnvoll, wenn die daraus gewonnenen Erkenntnisse unmittelbar in der Planung und Steuerung von Prozessen umgesetzt werden können. Hierbei ist insbesondere die Optimierung von Prozessen von Bedeutung.

Einige Ausschnitte aus dem Simulationsmodell, die u.U. einer Überarbeitung bedürfen, wurden bereits identifiziert. Diese Ausschnitte werden in den kommenden Untersuchungen fokussiert. Falls sich hierbei tatsächlich Schwachpunkte offenbaren sollten, werden diese in zukünftigen Versionen des Modells überarbeitet. Die besonders zu beobachtenden Aspekte sind die folgenden:

**Ermittlung typischer Abweichungen** Derzeit wird in dem Simulationsmodell nur das Vorhandensein von Abweichungen berücksichtigt. Diese Abweichungen betreffen hauptsächlich die Differenz zwischen geplanten und tatsächlichen Dauern im Rahmen der Auftragsdurchführung (vgl. Abschnitt 4.2.4). Die Abweichung zwischen geplanter und realer Durchführungszeit für einen erfolgreich abgeschlossenen Auftrag wird durch die Funktion `durchführungsAbweichung` repräsentiert. Veränderungen aufgrund des Abbruchs eines Auftrags spiegeln sich in der Funktion `abbruchAbweichung` wider. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung für beide Funktionen ist derzeit noch nicht bekannt. Diese werden im Verlauf zukünftiger Forschungstätigkeiten ermittelt.

**Anfahrtswege** Der zeitliche Aufwand für die Fahrt vom aktuellen Standort eines Mitarbeiters zu einem Auftragsort blieb bisher unberücksichtigt. Die Anfahrt kann aber einen erheblichen Einfluß auf die Auswahl eines Mitarbeiters für einen Notfall haben. Lange Anfahrtswege bedeuten i.d.R. hohe Kosten, da der Mitarbeiter während dieser Zeit nicht produktiv arbeiten kann. Somit kann die geographische Nähe von Mitarbeitern zu Auftragsorten einen wesentlichen Einfluß auf die Disposition von Notfällen haben.

**Redisposition abgebrochener Aufträge** Abgebrochene Aufträge werden erneut dem Dispositionsprozeß zugeführt. Im aktuellen Stadium des Simulationsmodells werden jedoch weder der Grund für den Abbruch noch die bisher durchgeführten Tätigkeiten berücksichtigt. Auch Informationen bzgl. der zeitlichen Dauer des Auftrags (geplant und real) werden in nachfolgenden Iterationen nicht ausgewertet. Hierbei ist zu ermitteln, ob eine einfache Protokollierung des Abbruchs ausreichend ist oder solche Angaben für die weitere Simulation relevant sind.

**Disposition von Notfällen** Für Notfälle wurde bisher die Priorität 0 angenommen. Es bleibt zu evaluieren, inwiefern Notfälle auch niedriger priorisiert werden können. Eine solche Priorität wird sich insbesondere auf die Art des Notfalls und den assoziierten Kunden beziehen. Ebenso wird bei der Disposition von Notfällen nicht die geplante Dauer berücksichtigt. Hierdurch kann ein bereits eingeplanter Auftrag mit einer von der des Notfalls abweichenden Dauer zurückgestellt werden. Angenommen, es soll ein Notfall mit einer Dauer von einer Stunde disponiert werden. Da nur die Prioritäten der Aufträge zur Auswahl herangezogen werden, kann ein Auftrag mit einer Dauer von einer halben Stunde oder drei Stunden aus der aktuellen Tagesplanung entfernt werden. Im ersten Fall müssen die nachfolgenden Aufträge des entsprechenden Mitarbeiters um eine halbe Stunde nach hinten verschoben werden (er braucht nun eine halbe Stunde länger als bisher geplant). Im zweiten Fall hat der Mitarbeiter eine Leerlaufzeit von zwei Stunden (er bearbeitet schließlich einen Auftrag mit einer Länge von einer Stunde anstatt bisher eingeplant drei Stunden) oder die nachfolgenden Aufträge müssen zeitlich vorgezogen werden.

**Integrierte Betrachtung von Notfällen und Aufträgen** Bei der Entwicklung des Simulationsmodells wurden routinemäßige Aufträge und Notfälle bisher getrennt behandelt. Außer der Dringlichkeit und der daraus resultierenden Priorität existieren jedoch kaum Unterschiede. Eine Standardauftrag kann nach seinem Eintreffen i.d.R. mittelfristig eingeplant und u.U. aufgrund anderer Präferenzen verschoben werden. Ein Notfall hingegen sollte zeitnah, d.h. in Abhängigkeit der Dringlichkeit am selben Arbeitstag durchgeführt werden. Es bleibt zu untersuchen, ob eine solche Differenzierung notwendig ist oder ob alle Auftragsarten (Notfall oder Routine) gleich behandelt werden können.

**Prioritätskennzahlen** In der hier vorgestellten Konzeption des Simulationsmodells wird eine hohe Priorität durch einen niedrigen Zahlenwert beschrieben und eine niedrige durch hohe Zahlen. Dies kann aufgrund der konträren Beziehungen zwischen hohen/niedrigen Zahlenwerten zur Beschreibung niedriger/hoher Prioritäten leicht zu Verwirrungen führen. Aufgrund dessen bleibt zu evaluieren, inwiefern eine Repräsentation hoher Prioritäten durch ebenfalls hohe Zahlenwerte angemessener ist. Des weiteren beschränkt sich der Wertebereich der Kennzahlen auf die ganzen Zahlen von Null bis sechs. Es konnte bisher noch nicht zufriedenstellend nachgewiesen werden, daß diese Abstufung ausreichend ist. Zukünftige Anwendungen des Simulationsmodells werden weitere Aufschlüsse zu diesem Aspekt liefern.

Die praktische Evaluierung des Simulationsmodells wird mit Hilfe des Werkzeugs *Poseidon*<sup>28</sup> durchgeführt. *Poseidon* wurde am Institut für Softwaretechnik an der Universität Koblenz entwickelt. Dieses Werkzeug ermöglicht den Entwurf, die Analyse und Simulation von Petri-Netzen. Neben klassischen S/T-Netzen arbeitet *Poseidon* auch mit den hier verwendeten Pr/T-Netzen.

---

<sup>28</sup>Vgl. [24, 18].



## Literatur

- [1] van der Aalst, W.M.P.; Waltmans, A.W.: „Modelling Logistic Systems with ExSpect.“ In: Sol, H.G.; van Hee, K.M.: *Dynamic Modelling of Information Systems*, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1991, pp. 269-288
- [2] van der Aalst, W.M.P.: „Logistics: A Systems Oriented Approach.“ In: *Proceedings of the third International Working Conference on Dynamic Modelling of Information Systems*, Noordwijkrhout, the Netherlands, June 1992, pp. 169-189
- [3] van der Aalst, W.M.P.: „Timed Coloured Petri Nets and their Application to Logistics.“ Dissertation, Technische Universität Eindhoven
- [4] van der Aalst, W.M.P.; van Hee, K.M.; Houben, G.J.: „Modelling and Analysing workflow using a Petri-net based approach.“ In: De Michelis, G.; Ellis, C.; Memmi, G.: *Proceedings of the second Workshop on Computer-Supported Cooperative Work, Petri nets and related formalisms*, 1994, pp. 31-50
- [5] van der Aalst, W.M.P.; van Hee, K.M.: „Workflow Management - Models, Methods, and Systems.“ Cambridge (Massachusetts), London (England): MIT Press, 2002
- [6] Baumgarten, B.: „Petri-Netze: Grundlagen und Anwendungen.“ Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag, 2. Auflage, 1996
- [7] Bause, F.; Beilner, H.; Fischer, M.; Kemper, P.; Völker, M.: „The *ProC/B*Toolset for the Modelling and Analysis of Process Chains.“ In: Field, T. et al. (Hrsg.): *Proceedings of the TOOLS 2002*, Berlin, Heidelberg: Springer, 2002, S. 51-70
- [8] Curtis, B.; Kellner, M.I.; Over, J.: „Process Modelling.“ In: *Communications of the ACM*, September 1992/Vol. 35, No. 9, pp. 75-90
- [9] Frank, U.: „The MEMO Meta-Metamodel.“ *Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik*, Nr. 9, Koblenz, 1998
- [10] Frank, U.: „MEMO: Visual Languages for Enterprise Modelling.“ *Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik*, Nr. 18, Koblenz, 1999
- [11] Frank, U.; Jung, J.: „Process Modelling with MEMO-OrgML“ wird erscheinen in der Reihe der Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Koblenz, 2002
- [12] Gudehus, T. : „Logistik: Grundlagen, Strategien, Anwendungen.“ Berlin et al.: Springer, 1999
- [13] Hromkovic, J.: „Algorithms for Hard Problems: Introduction to Combinatorial Optimization, Randomization, Approximization, and Heuristics.“ Berlin et al.: Springer, 2001
- [14] Hulgaard, H.; Burns, S.M.: „Efficient Timing Analysis of a Class of Petri Nets.“ In: Wolper, P.: *Proceedings of the 7th International Conference On Computer Aided Verification*, Liege, Belgium, 1995, pp. 423-436
- [15] Jung, J.; Frank, U.: „Konzeption der Architektur eines Flottenmanagementsystems im Kundendienst.“ In: Grünert, T.; Sebastian, H.-J.: (Hg.): „Logistik Management - Supply Chain Management und e-Business.“ Stuttgart: Teubner, 2001, S. 283-292
- [16] Jung, J.; Kirchner, L.: „Logistische Prozesse im Handwerk - Begriffliche Grundlagen und Referenzmodelle.“ *Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik*, Nr. 29, Koblenz 2001
- [17] van Laak, B.L.: „Verkehrstelematik im Handwerk - Logistikoptimierung für den Mittelstand.“ Diplomarbeit, Universität Koblenz-Landau, 2000
- [18] Lautenbach, K.; Müller, J.; Philippi, S.: „Modellierung, Simulation und Analyse mit dem Petri-Netz-Tool *Poseidon*.“ In: Desel, J.; Weske, M. (Hrsg.): *Lecture Notes in Informatics, GI-Edition, PROMISE 2002 - Prozessorientierte Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung von Informationssystemen*, HPI Potsdam, 2002.
- [19] Lautenbach, K.; Simon, C.: „Erweiterte Zeitstemplenetze zur Modellierung hybrider Systeme.“ Universität Koblenz-Landau: *Fachberichte Informatik*, 3/99

- [20] Marshall, C.: „Enterprise Modeling with UML - Designing Successful Software through Business Analysis.“ Addison-Wesley, 2000
- [21] Oberweis, A.: „Modellierung und Ausführung von Workflows mit Petri-Netzen.“ Stuttgart, Leipzig: Teubner, 1996
- [22] Ochmanska, E.: „Task-oriented Petri Net Models for Discrete Event Simulation.“ In: Sloot, P.M.A. et al. (Hrsg.): Proceedings of the Iccs 2002, Berlin, Heidelberg: Springer, 2002, S. 1049-1057
- [23] Schönsleben, P.: „Integrales Logistikmanagement: Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen.“ 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin et al.: Springer, 2000
- [24] Simon, C.; Ridder, H.; Marx, T.: „The Petri Net Tools Neptun and Poseidon.“ Universität Koblenz-Landau: Fachberichte Informatik, 15/97
- [25] Wenzel, J.: „Entwurf einer Modellierungssprache zur Beschreibung von Geschäftsprozessen im Rahmen der Unternehmensmodellierung.“ Diplomarbeit, Universität Koblenz-Landau, 1997
- [26] Zickhardt, J.: „Integrierte Syntax und Semantik einer Objektmodell- und einer Geschäftsprozeßsprache: Eine EER/GRAL- Formalisierung und Semantikbeschreibung in  $\mathcal{Z}$  der MEMO-Komponenten OML und PML.“ Diplomarbeit, Universität Koblenz-Landau, 1999

## Bisherige Arbeitsberichte

- Hampe, J. F.; Lehmann, S.: Konzeption eines erweiterten, integrativen Telekommunikationsdienstes. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 1**, Koblenz 1996
- Frank, U.; Halter, S.: Enhancing Object-Oriented Software Development with Delegation. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 2**, Koblenz 1997
- Frank, U.: Towards a Standardization of Object-Oriented Modelling Languages? Arbeitsbericht des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 3**, Koblenz 1997
- Frank, U.: Enriching Object-Oriented Methods with Domain Specific Knowledge: Outline of a Method for Enterprise Modelling. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 4**, Koblenz 1997
- Prasse, M.; Rittgen, P.: Bemerkungen zu Peter Wegners Ausführungen über Interaktion und Berechenbarkeit, Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 5**, Koblenz 1997
- Frank, U.; Prasse, M.: Ein Bezugsrahmen zur Beurteilung objektorientierter Modellierungssprachen - veranschaulicht am Beispiel vom OML und UML. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 6**, Koblenz 1997
- Klein, S.; Zickhardt, J.: Auktionen auf dem World Wide Web: Bezugsrahmen, Fallbeispiele und annotierte Linksammlung. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 7**, Koblenz 1997
- Prasse, M.; Rittgen, P.: Why Church's Thesis still holds - Some Notes on Peter Wegner's Tracts on Interaction and Computability. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 8**, Koblenz 1997
- Frank, U.: The MEMO Meta-Metamodel, Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 9**, Koblenz 1998
- Frank, U.: The Memo Object Modelling Language (MEMO-OML), Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 10**, Koblenz 1998
- Frank, U.: Applying the MEMO-OML: Guidelines and Examples. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 11**, Koblenz 1998
- Glabbeek, R.J. van; Rittgen, P.: Scheduling Algebra. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 12**, Koblenz 1998
- Klein, S.; Güler, S.; Tempelhoff, S.: Verteilte Entscheidungen im Rahmen eines Unternehmensplanspiels mit Videokonferenzunterstützung, Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 13**, Koblenz 1997
- Frank, U.: Reflections on the Core of the Information Systems Discipline. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 14**, Koblenz 1998
- Frank, U.: Evaluating Modelling Languages: Relevant Issues, Epistemological Challenges and a Preliminary Research Framework. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 15**, Koblenz 1998
- Frank, U.: An Object-Oriented Architecture for Knowledge Management Systems. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 16**, Koblenz
- Rittgen, P.: Vom Prozessmodell zum elektronischen Geschäftsprozess. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 17**, Koblenz 1999
- Frank, U.: Memo: Visual Languages for Enterprise Modelling. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 18**, Koblenz 1999
- Rittgen, P.: Modified EPCs and their Formal Semantics. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 19**, Koblenz 1999
- Prasse, M., Rittgen, P.: Success Factors and Future Challenges for the Development of Object Orientation. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 20**, Koblenz 2000
- Schönert, S.: Virtuelle Projektteams - Ein Ansatz zur Unterstützung der Kommunikationsprozesse im Rahmen standortverteilter Projektarbeit. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 21**, Koblenz 2000
- Frank, U.: Vergleichende Betrachtung von Standardisierungsvorhaben zur Realisierung von Infrastrukturen für das E-Business. . Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 22**, Koblenz 2000



- Jung, J.; Hampe, J.F.: Konzeption einer Architektur für ein Flottenmanagementsystem. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 23**, Koblenz 2001
- Jung, J.: Konzepte objektorientierter Datenbanken - Konkretisiert am Beispiel GemStone. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 24**, Koblenz 2001
- Frank, U.: Organising the Corporation: Research Perspectives, Concepts and Diagrams. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 25**, Koblenz 2001
- Kirchner, L.; Jung, J.: Ein Bezugsrahmen zur Evaluierung von UML-Modellierungswerkzeugen. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 26**, Koblenz 2001
- Botterweck, G.; Hampe, J.: Benutzeroberflächen für WAP-basierte Mobile Commerce Anwendungen. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 27**, Koblenz 2001
- Jung, J.; van Laak, Bodo L.: Flottenmanagementsysteme - Grundlegende Technologien, Funktionen und Marktüberblick. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 28**, Koblenz 2001
- Jung, J.; Kirchner, L.: Logistische Prozesse im Handwerk - Begriffliche Grundlagen und Referenzmodelle. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 29**, Koblenz 2001
- Frank, U.: Forschung in der Wirtschaftsinformatik: Profilierung durch Kontemplation – Ein Plädoyer für den Elfenbeinturm. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 30**, Koblenz 2002
- Jung, J.; Lautenbach, K.: Simulation des Einflusses von Notfällen auf die Auftragsbearbeitung in Handwerksbetrieben. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, **Nr. 31**, Koblenz 2002