

**UNIVERSITÄT LEIPZIG**

**Institut für Produktionswirtschaft  
und Industrielle Informationswirtschaft**

Marschnerstr. 31, 04109 Leipzig  
Tel.: 0341 / 97-33550, Fax: -33559

Arbeitsbericht Nr. 19

**Untersuchung alternativer Auktionsformen  
hinsichtlich ihrer Eignung zur Koordination  
verteilter Agenten auf Elektronischen Märkten**

Dipl.-Wirtsch.-Inf. Katrin Schimmel  
Univ.-Prof. Dr. Stephan Zelewski

({schimmel, zelewski}@wifa.uni-leipzig.de)

Leipzig, Juli 1996

Alle Rechte vorbehalten.

## **Inhalt**

1	Untersuchungsgegenstand	2
2	Koordination auf Elektronischen Märkten	5
3	Vorstellung alternativer Auktionsformen	7
3.0	Einbettung Elektronischer Märkte für die Koordination Flexibler Fertigungssysteme in das Grundmodell von Standardauktionsformen	7
3.1	Englische Auktion	8
3.2	Holländische Auktion	12
3.3	Höchstpreis-Auktion	16
3.4	Vickrey-Auktion	18
4	Vergleich der Auktionsformen	21
5	Auswahl einer geeigneten Auktionsform zur Versteigerung von Bearbeitungsnachfragen	23

## **Zusammenfassung**

Das Ziel besteht darin, die Vorgehensweise des verteilten Problemlösens zur Koordination von Bearbeitungsstationen in einem Flexiblen Fertigungssystem anzuwenden.

Es werden verschiedene Auktionsformen untersucht und hinsichtlich ihrer Eignung zur Koordination mehrerer Agenten auf einem Elektronischen Markt miteinander verglichen.

Als Grundlage für diese Vorgehensweise dient ein softwaretechnisch implementiertes Fabrikmodell, das mit Hilfe von Petrinetzen modelliert wurde. Ihre Agenten kommunizieren innerhalb einer Kontraktnetz-Architektur miteinander.

## **Schlagworte**

Auktion, Auktionsformen, Versteigerung, Koordination von Agenten, Elektronische Märkte, Kontraktnetz-Architektur

## 1 Untersuchungsgegenstand

Ziel<sup>1</sup> ist es, die Vorgehensweise des verteilten Problemlösens insbesondere zur Koordination von Nachfragern und Anbietern von Bearbeitungsleistungen in einem Flexiblen Fertigungssystem anzuwenden.

Das Hauptmerkmal eines Flexiblen Fertigungssystems besteht in der Möglichkeit, verschiedene Werkstücke auf unterschiedlichen Bearbeitungsstationen (Maschinen) alternativ bearbeiten zu können<sup>2</sup>. Die Bearbeitungsstationen, die auch nebenläufig einsetzbar sind, können dabei von den einzelnen Werkstücken wahlfrei angelaufen werden.

Die Untersuchungen beruhen auf der Implementierung eines Flexiblen Fertigungssystems, in dem Strukturen eines Marktes zugrunde gelegt werden.

Als Markt wird grundsätzlich ein Koordinationsmechanismus bezeichnet, der Angebot und Nachfrage zusammenführt.<sup>3</sup> Betrachtet man ein Flexibles Fertigungssystem als Markt, treffen dabei n Anbieter von Bearbeitungsleistungen auf m Nachfrager von Bearbeitungsleistungen. Bei steigender Anzahl von Marktteilnehmern erhöht sich somit der Kommunikationsaufwand zur Koordination von Angebot und Nachfrage beträchtlich. Diese hohe Komplexität bei der gezielten Auswahl von Bearbeitungsstationen, die in einem Flexiblen Fertigungssystem in Anspruch genommen werden sollen, begründet die Notwendigkeit der Auswahl geeigneter Koordinationsmechanismen.

Es bietet sich an, die verschiedenen Anbieter und Nachfrager von Bearbeitungsleistungen in Form von Agenten darzustellen und eine Prozeßkoordination mittels eines Multi-Agenten-Systems zu entwickeln.

Als Form der Verhandlungsführung zwischen den Agenten in diesem Multi-Agenten-System wird eine spezielle Variante der Kontraktnetzsysteme<sup>4</sup> gewählt - die Koordinator-Variante<sup>5</sup>. Der Aufbau der Koordinator-Variante ist aus Abbildung 1 auf der übernächsten Seite ersichtlich.

---

<sup>1</sup> In engem Zusammenhang mit diesen Untersuchungen stehen die Arbeiten am Forschungsprojekt 'Petri-netzbasierte Modellierung und verteilte Koordinierung komplexer Produktionssysteme' des Instituts für Produktionswirtschaft und Industrielle Informationswirtschaft der Universität Leipzig, das die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Schwerpunktprogrammes 'Verteilte DV-Systeme in der Betriebswirtschaft' finanziert (Kennwort PEMVEK, Projektnummer Ze 239/3-1). Für eine kurze Vorstellung des Projekts vgl. auch die Präsentationsseite im World-Wide-Web: <http://www.uni-leipzig.de/~ifpw/pemvek.htm>.

<sup>2</sup> Vgl. VDI (1990), S. 18.

<sup>3</sup> Vgl. Ritz (1991), S. 4 und Reinheimer (1995), S. 3, die diese Definition auf den Güter- und Dienstleistungsfluß einer gesamten Volkswirtschaft anwenden. Da sich auch in einem Flexiblen Fertigungssystem Angebot und Nachfrage gegenüberstehen und gegenseitig zugeordnet werden, kann man hier berechtigt von einem Markt sprechen.

<sup>4</sup> Detailliertere Ausführungen zu Kontraktnetzsystemen finden sich bei Smith/ Davis (1978), S. 278-287; Davis/ Smith (1983), S. 63-109; Parunak (1987), S. 285-310 und Shaw/ Whinston (1988), S. 85-104.

<sup>5</sup> Weitere Informationen zur Koordinator-Variante finden sich bei Zelewski (1995), S. 140-142.

Grundsätzlich basiert die Kontraktnetz-Architektur auf zwei Arten von Agenten:

- *Auftragsagenten* (Nachfrager von Bearbeitungsleistungen) senden *Bearbeitungsnachfragen* (Bearbeitung von Aufträgen) aus und
- *Maschinenagenten* (Anbieter von Bearbeitungsleistungen), die Bearbeitungsstationen repräsentieren, offerieren *Bearbeitungsangebote*, beispielsweise zur Ausführung bestimmter Aufträge.

Zusätzlich zu diesen beiden genannten Agentenarten erfolgt bei der Koordinator-Variante die Einführung eines *Koordinationsagenten*.

Eine weitere Besonderheit der Koordinator-Variante besteht darin, daß sowohl Auftrags- als auch Maschinenagenten jeweils unabhängig voneinander und ohne expliziten Anstoß von außen (z.B. Aufforderung durch andere Agenten) aktiv werden, d.h. *Bearbeitungsnachfragen* bzw. *-angebote* aussenden.

Die Aufgabe des Koordinationsagenten besteht in der Vermittlung der eingegangenen *Bearbeitungsnachfragen* an die *Maschinenagenten*, die ihrerseits bereits *Angebote* abgegeben haben. Ziel seiner Tätigkeit ist die Anbahnung des Abschlusses von *Kontrakten* zwischen denjenigen *Auftrags-* und *Maschinenagenten*, deren *Nachfrage* bzw. *Angebot* sich entsprechen.

Für die Gestaltung dieses *Zuordnungsmechanismus*' der jeweiligen Agenten sind verschiedene Formen denkbar. Eine Möglichkeit<sup>6</sup> besteht darin, die *Bearbeitungsnachfragen* der *Auftragsagenten* an den jeweils bestbietenden *Maschinenagenten* zu versteigern. Die Koordination der *Maschinen-* und *Auftragsagenten* erfolgt hierbei durch eine *Versteigerung*, die vom *Koordinationsagenten* durchgeführt wird. Den Inhalt der weiteren Untersuchungen bildet diese *Versteigerungsaktivität* des *Koordinationsagenten*.

---

<sup>6</sup> Denkbar sind beispielsweise auch die Verlosung von Aufträgen oder die Verteilung der Aufträge an die Bearbeitungsstationen anhand ex ante festgelegter Kriterien, wie z.B. reihum zur gleichmäßigen Auslastung aller Bearbeitungsstationen.

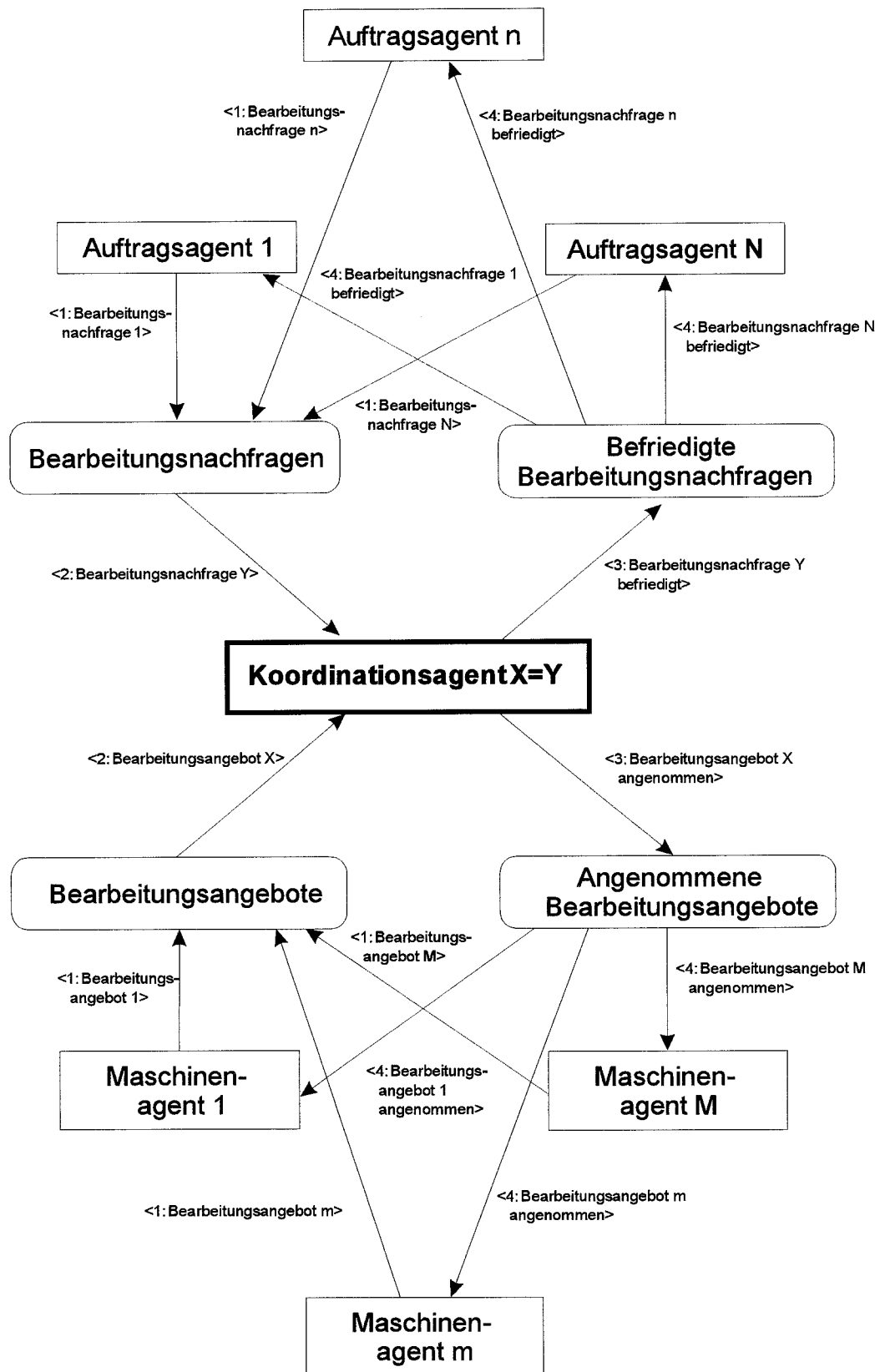


Abb. 1: Koordinator-Variante der Kontraktnetz-Architektur<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Vgl. Zelewski/ Bode (1993), S. 20.

## 2 Koordination auf Elektronischen Märkten

Zur Untersuchung der Versteigerungstätigkeit des Koordinationsagenten wird das Aushandeln von Kontrakten in dem implementierten Flexiblen Fertigungssystem mittels eines Elektronischen Marktes<sup>8</sup> realisiert. Elektronische Märkte dienen in diesem Fall nicht der Gewährleistung eines Güter- oder Dienstleistungsflusses, sondern unterstützen primär die Abwicklung von Kommunikationsbeziehungen, die bei der Ausführung wirtschaftlicher Tätigkeiten anfallen.<sup>9</sup>

Ein Vorteil Elektronischer Märkte besteht darin, daß zur Koordination von verteilten Agenten Koordinationsmechanismen im Verständnis realer Märkte herangezogen und abgebildet werden können. Elektronische Märkte eröffnen des weiteren die Möglichkeit, Informationen, die an verschiedenen Orten - also verteilt - vorliegen, effizient an die Marktteilnehmer zu verteilen und damit für diese nutzbar zu machen<sup>10</sup>.

Ein weiterer Vorteil Elektronischer Märkte ist darin zu sehen, daß Marktmechanismen in ihrer reinen Form umgesetzt werden können<sup>11</sup>. Marktwidrige Verhaltensweisen der Agenten, wie beispielsweise Kartellabsprachen, können ausgeschlossen werden. Dies führt zu einer Vereinfachung der Koordinationsmechanismen, da von der Erstellung tatsächlich voneinander unabhängiger Gebote ausgegangen werden kann.

Die verschiedenen Agenten treten auf einem Elektronischen Markt als unterschiedliche Marktteilnehmer auf, die miteinander kommunizieren und Kontrakte über die Bearbeitung von Aufträgen schließen.

Im folgenden wird die bereits kurz charakterisierte Kontraktnetz-Architektur in das Phasenmodell<sup>12</sup> Elektronischer Märkte eingebettet. Auf einem Elektronischen Markt können drei Phasen unterschieden werden, die in einer zeitlichen und inhaltlichen Reihenfolge stehen: die Informations-, die Vereinbarungs- und die Abwicklungsphase.

Bezogen auf die marktähnliche Agentenkoordination in einer Kontraktnetz-Architektur auf der Basis von Auktionen fallen in die *Informationsphase* die Abgabe von Bearbeitungsnachfragen und

---

<sup>8</sup> Mit der Forschung zu elektronischen Märkten beschäftigt sich insbesondere das Kompetenzzentrum Elektronische Märkte (CC EM3) des Forschungsprogramms Informationsmanagement HSG am Institut für Wirtschaftsinformatik der Hochschule St. Gallen. Weitere Informationen zu Forschungsschwerpunkten und Veröffentlichungen des Kompetenzzentrums siehe auch die Präsentation im World Wide Web unter <http://www-iwi.unisg.ch/>.

Eine ausführliche Betrachtung Elektronischer Märkte findet sich des weiteren in Picot/ Reichwald/ Wigand (1996), S. 315-348.

<sup>9</sup> Vgl. Reinheimer (1995), S. 4.

<sup>10</sup> Vgl. Alt/ Klein/ Kuhn (1994), S. 200.

<sup>11</sup> Vgl. Zelewski (1995), S. 133.

<sup>12</sup> Vgl. Alt/ Cathomen/ Klein (1995), S. 3.

Bearbeitungsgeboten<sup>13</sup> durch die Auftrags- bzw. Maschinenagenten. Die eingegangenen Nachfragen bzw. Gebote werden jeweils in entsprechenden Agenden abgelegt. Die Verwaltung einschließlich der Aktualisierung dieser Agenden obliegt dem Koordinationsagenten.

Die *Vereinbarungsphase* beinhaltet die hauptsächliche Aktivität des Koordinationsagenten. Als Verfahren zur Markträumung, d.h. zur Vermittlung zwischen eingegangenen Bearbeitungsnachfragen und -gebote, werden durch den Koordinationsagenten Versteigerungen (Auktionen)<sup>14</sup> durchgeführt.

Dazu ist zunächst eine als geeignet erscheinende Auktionsform auszuwählen. Auktionsformen enthalten Regeln zur Abwicklung von Versteigerungen von Bearbeitungsnachfragen. Darunter zählen insbesondere die Zuschlagsregel, die die Ermittlung des besten Gebotes und damit des Auktionsgewinners (bestbietender Maschinenagent) beinhaltet, sowie die Entgeltungsregel, die die Entgeltung dieses Auktionsgewinners vorschreibt.

Unter Zugrundelegung der Zuschlagsregel der ausgewählten Auktionsform selektiert der Koordinationsagent für eine von ihm aus der Agenda 'Bearbeitungsnachfragen' gewählte Bearbeitungsnachfrage das beste vorliegende Bearbeitungsgebot. Als Kriterien für die Auswahl des besten Gebotes können z.B. niedrigste Bearbeitungskosten oder kürzeste Bearbeitungszeiten für die Arbeitsgänge eines Auftrags herangezogen werden.

In der *Abwicklungsphase* kommt es zum Abschluß eines Kontraktes zwischen den beiden selektierten Agenten. Damit verbunden ist die Entgeltung des gewählten Maschinenagenten entsprechend der Entgeltungsregel der angewendeten Auktionsform. Nach Abschluß eines Kontraktes werden die Agenden durch den Koordinationsagenten aktualisiert, d.h. die vermittelte und damit bediente Nachfrage und das entsprechend ausgewählte Gebot werden aus den Agenden für 'Bearbeitungsnachfragen' und 'Bearbeitungsgebote' entfernt und in die Agenden 'Befriedigte Bearbeitungsnachfragen' bzw. 'Angenommene Bearbeitungsgebote' aufgenommen. Des weiteren informiert der Koordinationsagent die ausgewählten Agenten über die gegenseitige Vermittlung.

Nach erfolgreicher Abwicklung einer solchen Auktion geht der Koordinationsagent zur Versteigerung der nächsten Bearbeitungsnachfrage über.

Für die Durchführung von Auktionen auf Elektronischen Märkten wird die Teilnahme von mindestens zwei bietenden Maschinenagenten unterstellt, um eine tatsächliche Auswahlmöglichkeit zwischen *alternativen* Bearbeitungsstationen im Sinne eines Flexiblen Fertigungssystems zu ermög-

---

<sup>13</sup> Die Bearbeitungsangebote der Maschinenagenten werden im Hinblick auf die Begriffsverwendung zu Auktionen in der Literatur ab dieser Stelle als Gebote oder Bearbeitungsgebote bezeichnet.

<sup>14</sup> Im folgenden werden die Begriffe 'Versteigerung' und 'Auktion' synonym verwendet.

lichen und um ein Anbietermonopol ohne Konkurrenz zu umgehen. Für den Fall, daß nur *ein* Maschinenagent ein in Frage kommendes Bearbeitungsgebot auf eine Bearbeitungsnachfrage abgibt, entfällt die eigentliche Aufgabe des Koordinationsagenten, aus *mehreren* Geboten das beste auszuwählen. Dann würde das vorliegende Bearbeitungsgebot angenommen, ohne daß für diese Koordination eine Versteigerung durchgeführt werden muß.

Des weiteren wird von einer ernsthaften Gebotsabgabe durch die Maschinenagenten ausgegangen, d.h. alle Bearbeitungsstationen sind in der Lage, im Fall des Zuschlagserhalts die ersteigerte Bearbeitungsnachfrage auch tatsächlich zu realisieren. Von zusätzlichen Kosten zur Erstellung der Gebote für die bietenden Maschinenagenten wird abstrahiert.

Inhalt der folgenden Ausführungen ist die Darstellung verschiedener Auktionsformen<sup>15</sup>, die dem Koordinationsagenten zur Durchführung der Versteigerungen zur Verfügung stehen. Diese Auktionsformen werden hinsichtlich ihrer Eigenschaften und ihrer daraus resultierenden Eignung oder Nichteignung für die Koordination der Versteigerung von Bearbeitungsnachfragen auf einem Elektronischen Markt behandelt.

### **3 Vorstellung alternativer Auktionsformen**

#### **3.0 Einbettung Elektronischer Märkte für die Koordination Flexibler Fertigungssysteme in das Grundmodell von Standardauktionsformen**

Als Auktion wird ein Marktmechanismus bezeichnet, der Regeln zur Ressourcenallokation und zur Preisbildung für Auktionsobjekte einschließt<sup>16</sup>. Ausgangspunkt für die Durchführung von Auktionen bilden die sich gegenüberstehenden Marktteilnehmer, die einerseits Güter oder Leistungen nachfragen (Nachfrager) und andererseits nachgefragte Güter oder Leistungen anbieten (Bieter). Die Auktionsobjekte werden an den Bestbietenden versteigert.

Im folgenden wird von einer kurzen Erläuterung der Grundmodelle der vier Standardauktionsformen Englische Auktion, Holländische Auktion, Höchstpreis-Auktion und Vickrey-Auktion ausgegangen.

Aus diesen Charakterisierungen lassen sich Empfehlungen für Modifizierungen der Grundmodelle ableiten, die sich bei deren Anwendung auf die Versteigerung von Bearbeitungsnachfragen auf einem Elektronischen Markt ergeben.

---

<sup>15</sup> Vgl. Vickrey (1961), McAfee/ McMillan (1987) und Kräkel (1992).

<sup>16</sup> Vgl. McAfee/ McMillan (1987), S. 701.



Bei Auktionen, die in einem Flexiblen Fertigungssystem zum Zweck der Koordination von Produktionsprozessen veranstaltet werden, stellen die Auftrags- und Maschinenagenten die Marktteilnehmer dar. Die Auftragsagenten generieren die Auktionsobjekte in Form von Bearbeitungsnachfragen. Durch die Abgabe von Bearbeitungsgeboten konkurrieren die Maschinenagenten um diese Auktionsobjekte. Als Gestalter und Organisator der Auktion wirkt der Koordinationsagent. Er übernimmt auf dem Elektronischen Markt die Funktion des Auktionators einer realen Versteigerung. Er wählt aus der Agenda, die die von den Auftragsagenten eingegangenen Bearbeitungsnachfragen enthält, jeweils eine Bearbeitungsnachfrage für die aktuelle Versteigerung aus. Zu den Aufgaben des Koordinationsagenten zählt weiterhin, eine zur Anwendung kommende Auktionsform auszuwählen und alle potentiell an der Auktion teilnehmenden Maschinenagenten über die gewählte Auktionsform und die damit festgelegten Regeln zu informieren. Des weiteren obliegt es ihm, für die Auktion festzulegen, anhand welcher Kriterien die Zuschlagserteilung erfolgt, ob z.B. der geringste gebotene Bearbeitungspreis oder die kürzeste Bearbeitungszeit den Ausschlag für die Erteilung des Zuschlags gibt oder ob eine Gewichtung verschiedener Zielstellungen erfolgen soll. Bei dieser Festlegung kann sich der Koordinationsagent auch nach Vorgaben desjenigen Auftragsagenten richten, dessen Bearbeitungsnachfrage er zur Versteigerung ausgewählt hat.

Seitens der Maschinenagenten wird ein Interesse vorausgesetzt, beispielsweise die Kapazitäten der ihnen zugeordneten Bearbeitungsstationen möglichst voll auszuschöpfen oder ihre Deckungsbeiträge zu maximieren. Damit entsteht ein Anreiz für die Maschinenagenten, möglichst viele Gebote an den Koordinationsagenten weiterzuleiten, die die Realisierung dieser Zielsetzungen für sie ermöglichen.

### 3.1 Englische Auktion

Die Zielsetzung im Grundmodell der *Englischen Auktion*<sup>17</sup> besteht darin, ein ausgewähltes Auktionsobjekt zu einem maximalen Preis zu versteigern. Dazu wird für dieses Auktionsobjekt ein Mindestpreis, der vom Verkäufer festgelegt wurde und der im einfachsten Fall auch Null betragen kann, von den Bietern in definierten Schritten überboten. Die jeweilige Höhe dieser Gebotsschritte kann vor Beginn der Auktion vereinbart werden. Dieses Vorgehen wird so lange wiederholt, bis nur noch ein Bieter das unmittelbar zuvor genannte Gebot überbietet. Dieser erhält entsprechend dem höchsten, von ihm selbst zuletzt getätigten Preisgebot den Zuschlag. Die Englische Auktion ist eine Auktionsform, bei der sowohl die Zuschlagserteilung als auch die Entgeltung entsprechend dem

---

<sup>17</sup> Vgl. zur Englischen Auktion u.a. Riley/ Samuelson (1981), S. 382; McAfee/ McMillan (1987), S. 702 und Kräkel (1992), S. 13.

höchsten abgegebenen Gebot erfolgen. Jeder an der Auktion teilnehmende Bieter ist zu jedem Zeitpunkt über die jeweils aktuelle Gebotshöhe informiert (offene Auktion). Weiterhin darf jeder Bieter im Verlauf der Versteigerung eines Auktionsobjektes mehrere Gebote abgeben (mehrstufige Auktion).

Eine Übertragung dieses Grundmodells der Englischen Auktion auf die Situation in einem Flexiblen Fertigungssystem, das als Kontraktnetz ausgelegt ist, erfordert folgende Modifizierungen<sup>18</sup>:

Beispielsweise sei als oberste Zielstellung die Minimierung der Bearbeitungskosten für einen Auftrag in einem Flexiblen Fertigungssystem angenommen. Daraus ableitbar sind als Kriterium für die Zuschlagserteilung einer Versteigerung, die auf jeder Fertigungsstufe für einen dort auszuführenden Arbeitsgang erfolgt, die geringsten Bearbeitungskosten aus den abgegebenen Geboten. Allerdings handelt es sich hierbei um ein heuristisches Zuschlagskriterium. Denn die Realisierung von Bearbeitungskostenminima für die jeweils *lokalen* Zuschlagsentscheidungen auf den einzelnen Fertigungsstufen vermag nicht sicherzustellen, daß hierdurch zugleich das *globale* Minimum der Bearbeitungskosten für einen gesamten Auftrag erreicht wird.

Begonnen wird die Versteigerung bei *Maximal*bearbeitungskosten für einen Arbeitsgang, die der Koordinationsagent vorgibt. Diese können auch von dem jeweiligen Auftragsagenten, der die Bearbeitungsnachfrage veranlaßt hat, vorgegeben werden. Der Auftragsagent kann die maximalen Bearbeitungskosten z.B. so festlegen, daß der erwartete Deckungsbeitrag seines Auftrags nach Abzug der Kosten für alle bereits realisierten Arbeitsgänge und unter Berücksichtigung aller in Zukunft noch auszuführenden Arbeitsgänge Null beträgt. Im Verlauf der Auktion erfolgt durch die Gebote der Maschinenagenten ein sukzessives Unterbieten dieser anfangs genannten Maximalbearbeitungskosten so lange, bis nur noch *ein* bietender Maschinenagent übrig ist, der die niedrigsten Bearbeitungskosten für die Übernahme des Arbeitsgangs bietet.

Abbildung 2 auf der übernächsten Seite zeigt die modifizierte Kontraktnetz-Architektur für die Englische Auktion. Die Pfeile stellen dabei die während der Versteigerung eines Arbeitsgangs tatsäch-

---

<sup>18</sup> Die Ursache der Modifizierungen der Standardauktionsformen für die Versteigerung von Bearbeitungsnachfragen in einem Flexiblen Fertigungssystem liegt zunächst in der Umkehrung der Zielsetzung der jeweiligen Grundmodelle. Die Grundmodelle zielen auf die Maximierung des Preises für die Auktionsobjekte ab, die bei konventionellen Auktionen in der Regel Sachgüter darstellen. Bei der Versteigerung von Bearbeitungsleistungen stehen dagegen in der Regel Minimierungsziele im Vordergrund, wie beispielsweise die Minimierung von Bearbeitungskosten oder Durchlaufzeiten. Außerdem sind die Rollen der Auktionsteilnehmer unterschiedlich definiert: Bei den Standardauktionsformen wird das Auktionsobjekt, für das ein möglichst hoher Preis zu erzielen ist, *verkauft*. Bei der Prozeßkoordination in einem Flexiblen Fertigungssystem dienen als Auktionsobjekte dagegen Bearbeitungsleistungen, die von Auftragsagenten *nachgefragt* werden. Daher werden aus den *Verkäufern* der Standardauktionsformen jeweils *Nachfrager*. Komplementär hierzu werden die Bieter, die in Standardauktionen das jeweils versteigerte Auktionsobjekt nachfragen, in Flexiblen Fertigungssystemen zu Maschinenagenten, die entsprechenden Bearbeitungsleistungen anbieten.

lich in Anspruch genommenen Kommunikationswege zwischen den Maschinenagenten und dem Koordinationsagenten dar.

Da die Englische Auktion eine offene Gebotsabgabe erfordert, bei der jeder Maschinenagent mehrere Gebote abgeben darf, erfolgt eine Auktion in mehreren Schritten. Dabei stellt das Übergehen zu einer neuen, niedrigeren Gebotshöhe jeweils einen neuen Auktionsschritt dar.

Die Verwaltung und Aktualisierung der Agenda 'Bearbeitungsgebote' erfordern aufgrund dessen einen hohen Aufwand. Mit dem Übergehen zu einem jeweils neuen Auktionsschritt müssen die 'alten', nicht erfolgreichen Gebote aus der Agenda 'Bearbeitungsgebote' gelöscht werden. Zugleich müssen alle Maschinenagenten, die von dieser Löschung ihrer Gebote betroffen sind, darüber informiert werden, damit sie Gelegenheit erhalten zu entscheiden, ob sie jeweils ein neues, niedrigeres Gebot unterbreiten wollen. Diese Rückinformationen an die Maschinenagenten sind auf einem Elektronischen Markt zwingend erforderlich, um die typische Informationsoffenheit der Englischen Auktion aus Bietersicht zu realisieren.

Als Alternative dazu bietet es sich an, auf die Agenda „Bearbeitungsgebote“ zu verzichten und eine direkte Kommunikation zwischen dem Koordinationsagenten und den bietenden Maschinenagenten zu realisieren. Abbildung 2 auf der folgenden Seite stellt die entsprechend modifizierte Kontraktnetz-Architektur dar. Ein Maschinenagent sendet dann auf eine zu versteigernde Bearbeitungsnachfrage sein Gebot direkt an den Koordinationsagenten *und* an alle anderen Maschinenagenten. Auf diese Weise sind alle Maschinenagenten jederzeit über die aktuelle Gebotshöhe informiert und können daraufhin ihre Entscheidung treffen, das aktuelle Gebot entweder zu unterbieten oder aber aus der Auktion auszusteigen. Geht beim Koordinationsagenten innerhalb einer zu definierenden Zeitspanne („time out“) kein niedrigeres Gebot als das aktuelle ein, so ist der Maschinenagent, der dieses letzte eingegangene Gebot unterbreitet hat, der Auktionsgewinner.

Auf die Agenda 'Befriedigte Bearbeitungsgebote' kann ebenfalls verzichtet werden, da der Koordinationsagent nach Ermittlung des Auktionsgewinners die versteigerte Bearbeitungsnachfrage (d.h. den versteigerten Arbeitsgang) sofort an den betreffenden Auftragsagenten weiter vermitteln kann. Ein Nachteil der Englischen Auktion besteht darin, daß bis zur endgültigen Findung des bestbietenden Maschinenagenten zahlreiche Auktionsschritte durchgeführt und damit ebenso zahlreiche Gebote erstellt und miteinander verglichen werden müssen. Diese Vorgehensweise impliziert einen hohen Kommunikationsaufwand zwischen dem Koordinationsagenten und den bietenden Maschinenagenten<sup>19</sup>. Letztlich erhält aber nur *genau eines* der Gebote den Zuschlag für die Übernahme der ausgeschriebenen Bearbeitungsnachfrage.

---

<sup>19</sup> Vgl. Weinhardt/ Gomber (1996), S. 11.

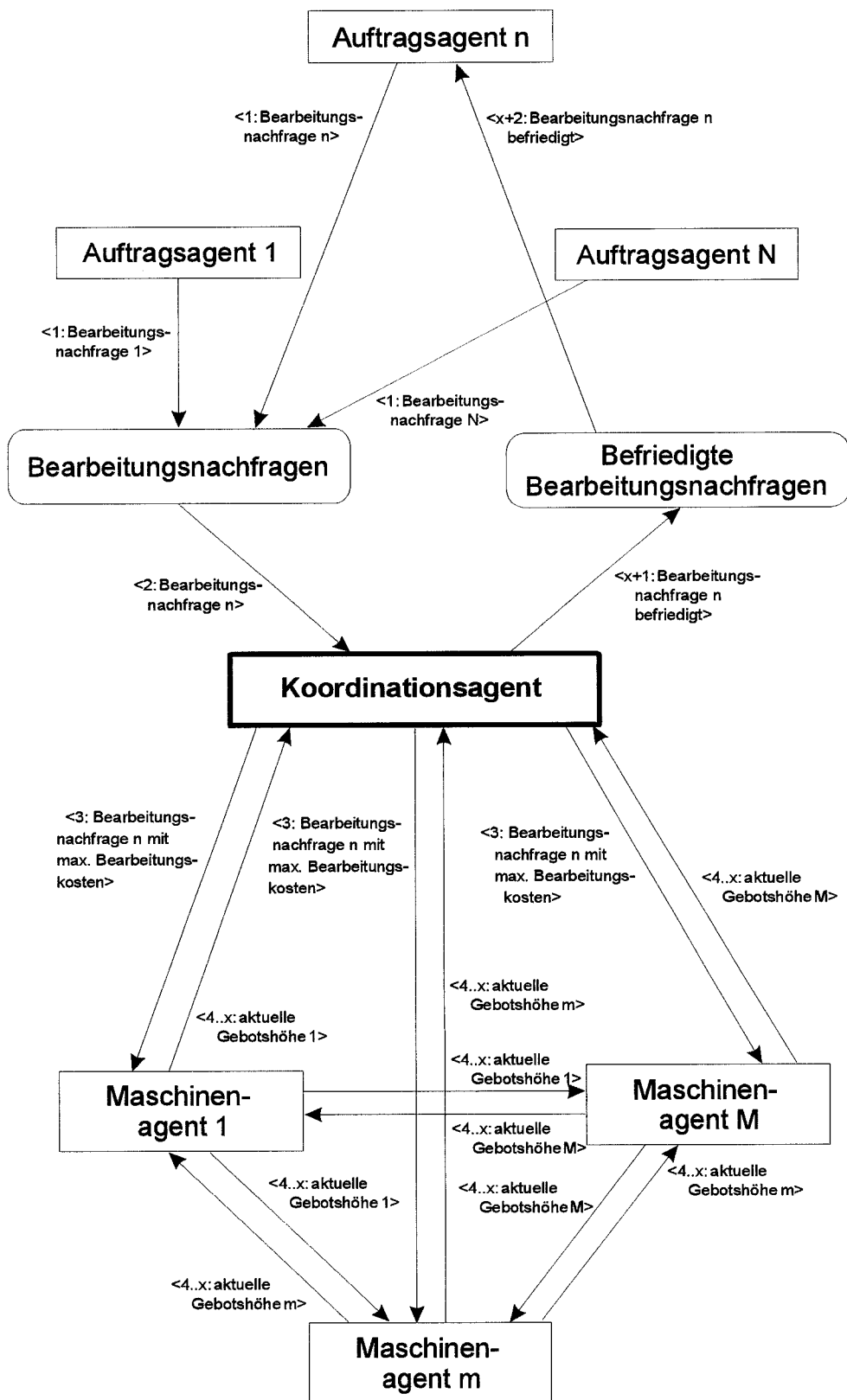


Abb. 2: Modifizierte Kontraktnetz-Architektur für die Englische Auktion

### 3.2 Holländische Auktion

Die *Holländische Auktion*<sup>20</sup> kann als das Gegenstück zur Englischen Auktion bezeichnet werden. Den Ausgangspunkt der Versteigerung eines Auktionsobjektes bildet hierbei ein vom Verkäufer festgesetzter Höchstpreis, der vom Auktionator schrittweise so lange gesenkt wird, bis ein Bieter bereit ist, den genannten Preis zu akzeptieren. Dieser Bieter erhält den Zuschlag und muß den gebotenen Preis entrichten. Auch bei der Holländischen Auktion erfolgt die Abgabe der Gebote offen, das heißt, jeder teilnehmende Bieter kann den Fortgang der Versteigerung und die Höhe der aktuellen Gebote zu jedem Zeitpunkt verfolgen. Eine Besonderheit dieser Auktionsform besteht darin, daß jeder Bieter nur maximal ein Gebot abgeben kann. Strenggenommen wird im Verlauf dieser Auktion je Auktionsobjekt überhaupt nur ein Gebot abgegeben, nämlich dasjenige, welches der Auktionsgewinner als erster ausgesprochen hat und aufgrund dessen er den Zuschlag erhält.

Die Modifizierungen des Grundmodells der Holländischen Auktion, die sich bei Übertragung auf die Versteigerung von Bearbeitungsnachfragen in einem Flexiblen Fertigungssystem ergeben, verhalten sich analog denen der Englischen Auktion. Abbildung 3 auf Seite 15 zeigt die Kommunikationswege zwischen den an einer Holländischen Auktion beteiligten Agenten. Die Pfeile repräsentieren die während einer Versteigerung tatsächlich in Anspruch genommenen Kommunikationswege zwischen den Agenten. Exemplarisch wurde hier die Bearbeitungsnachfrage N zur Versteigerung gebracht, als Auktionsgewinner wird der Maschinenagent m ermittelt. Bei einer nachfolgenden Versteigerung einer weiteren Bearbeitungsnachfrage könnte sich die Verteilung der in Anspruch genommenen Kommunikationswege verändern.

Beispielhaft sei wiederum als oberste Zielstellung die Minimierung der Bearbeitungskosten eines Auftrags in einem Flexiblen Fertigungssystem angenommen. Die Zuschlagserteilung der Versteigerung für die Arbeitsgänge auf jeder Fertigungsstufe richtet sich wiederum an den niedrigsten gebotenen Bearbeitungskosten für einen Arbeitsgang aus.

Im Unterschied zur ursprünglichen Koordinator-Variante der Kontraktnetz-Architektur, bei der die Aktivität zur Gebotsabgabe von den Maschinenagenten ausgeht, übernimmt bei der Holländischen Auktion der Koordinationsagent die aktive Rolle. Er wählt aus der Agenda 'Bearbeitungsnachfragen' eine Bearbeitungsnachfrage für die aktuelle Versteigerung aus, schlägt hierfür nacheinander verschiedene Gebotshöhen vor und wartet darauf, bis ein erster Maschinenagent den jeweils letzten Gebotsvorschlag durch ein tatsächliches Gebot gleicher Höhe beantwortet.

Begonnen wird die eigentliche Versteigerung mit der Nennung *minimaler* Kosten für die Bearbeitung der ausgewählten Bearbeitungsnachfrage durch den Koordinationsagenten. Diese können auch

---

<sup>20</sup> Vgl. zur Holländischen Auktion u.a. McAfee/ McMillan (1987), S. 702 und Kräkel (1992), S. 14.

von dem jeweiligen Auftragsagenten, der die Bearbeitungsnachfrage veranlaßt hat, vorgegeben werden. Diese minimalen Kosten sollten zu Beginn der Versteigerung so niedrig angesetzt werden - im Trivialfall mit Null -, daß zunächst kein Maschinenagent die Bearbeitung der zu versteigernden Bearbeitungsnachfrage übernehmen kann. Schrittweise werden diese angesetzten Bearbeitungskosten so lange angehoben, bis sich ein Maschinenagent bereit erklärt, die ausgeschriebene Bearbeitungsnachfrage für die genannten Bearbeitungskosten zu übernehmen. Diese Bereitschaft wird in Form eines entsprechenden Gebots von dem betreffenden Maschinenagenten an den Koordinationsagenten gesendet. Mit dieser einmaligen Gebotsabgabe im Verlauf der Auktion wird diese bereits zum Abschluß gebracht.

Ein Sonderfall tritt dann ein, wenn zwei Maschinenagenten gleichzeitig identische Gebote abgeben. Dann obliegt dem Koordinationsagenten die Auswahl des Gebots desjenigen Maschinenagenten, der den Zuschlag erhält<sup>21</sup>. Nach Zuschlagserteilung erfolgen in diesem geschilderten Sonderfall *zwei* Rückinformationen vom Koordinationsagenten: Er informiert den Auktionsgewinner über die Annahme dessen Gebots. Der Maschinenagent, dessen Gebot bei der aktuellen Versteigerung nicht den Zuschlag erhielt, wird über die Nichtannahme seines Gebots benachrichtigt.

Die Holländische Auktion setzt eine offene Gebotsabgabe voraus. Sie erfolgt wie die Englische Auktion in mehreren Schritten, wobei das Übergehen zu einer neuen Gebotshöhe jeweils einen neuen Auktionsschritt darstellt.

In bezug auf die ursprüngliche Koordinator-Variante der Kontraktnetz-Architektur ergeben sich bei Anwendung dieser Auktionsform folgende Veränderungen: Die Agenden 'Bearbeitungsgebote' und 'Angenommene Bearbeitungsgebote' aus der ursprünglichen Kontraktnetz-Architektur entfallen. Da seitens der Maschinenagenten keine mehrfache Gebotsabgabe erfolgt, ist auch keine Verwaltung mehrerer vorliegender Gebote durch den Koordinationsagenten erforderlich.

Statt dessen steht der Koordinationsagent in direkter Kommunikation mit *jedem* Maschinenagenten. Er schickt die im gerade aktuellen Auktionsschritt von ihm selbst als Gebot vorgeschlagenen Bearbeitungskosten *direkt* an alle bietenden Maschinenagenten. Derjenige Maschinenagent, der als erster auf den letzten Gebotsvorschlag des Koordinationsagenten reagiert, ist der Auktionsgewinner. Dieser Maschinenagent schickt ein entsprechendes tatsächliches Bearbeitungsgebot, das der Höhe nach mit dem letzten Gebotsvorschlag übereinstimmt, an den Koordinationsagenten. Dieser kann nun den Kontraktabschluß zwischen dem Auftragsagenten, dessen Bearbeitungsnachfrage versteigert wurde, und dem Auktionsgewinner sofort vermitteln und die befriedigte Bearbeitungsnachfrage in die ent-

---

<sup>21</sup> Diese Auswahl muß anhand von Kriterien erfolgen, die beim Koordinationsagenten hinterlegt sind. Die Entscheidung könnte dann beispielsweise unter Hinzuziehen der veranschlagten Durchlaufzeiten an den betroffenen Maschinen oder anhand vorgegebener Prioritäten erfolgen.

sprechende Agenda ablegen. Zugleich schickt der Koordinationsagent an alle anderen Maschinenagenten, mit denen in der aktuellen Auktionsrunde kein Kontraktabschluß zustande gekommen ist, eine Information, daß die Versteigerung der zuletzt nachgefragten Bearbeitungsleistung abgeschlossen ist. Auf diese Weise wird wiederum die typische Offenheit der Holländischen Auktion verwirklicht. Darüber hinaus kann in dem oben genannten Sonderfall, daß zufällig mehrere Maschinenagenten zur selben Zeit den letzten Gebotsvorschlag des Koordinationsagenten beantworten, der Information über den Abschluß der Versteigerung genutzt werden, um jene Maschinenagenten zu benachrichtigen, die trotz ihrer Gebotsabgabe keinen Zuschlag erhalten haben.

Auch die Holländische Auktion erfordert einen hohen Kommunikationsaufwand zwischen dem Koordinationsagenten und den an der Versteigerung teilnehmenden Maschinenagenten, denn die anfangs genannten Minimalkosten für eine Bearbeitungsnachfrage müssen so lange durch wiederholtes Unterschreiten gesenkt werden, bis ein Maschinenagent gefunden ist, der diese Kosten als erster realisieren kann und diese Bereitschaft durch Abgabe eines entsprechenden Gebots dokumentiert. Allerdings erfolgt eine Reduzierung des Kommunikationsaufwands gegenüber der Englischen Auktion. Denn die *mehrfachen* Informationen, die von jedem Maschinenagenten, der im jeweils aktuellen Auktionsschritt ein Gebot an den Koordinationsagenten gesandt hat, an alle anderen Maschinenagenten gerichtet werden müssen, um die Offenheit der Auktionsform herzustellen, werden bei der Holländischen Auktion auf die *einmalige* Information aller Maschinenagenten im *letzten* Auktionsschritt reduziert, daß ihr tatsächliches Gebot angenommen oder aber die Versteigerung abgeschlossen wurde.

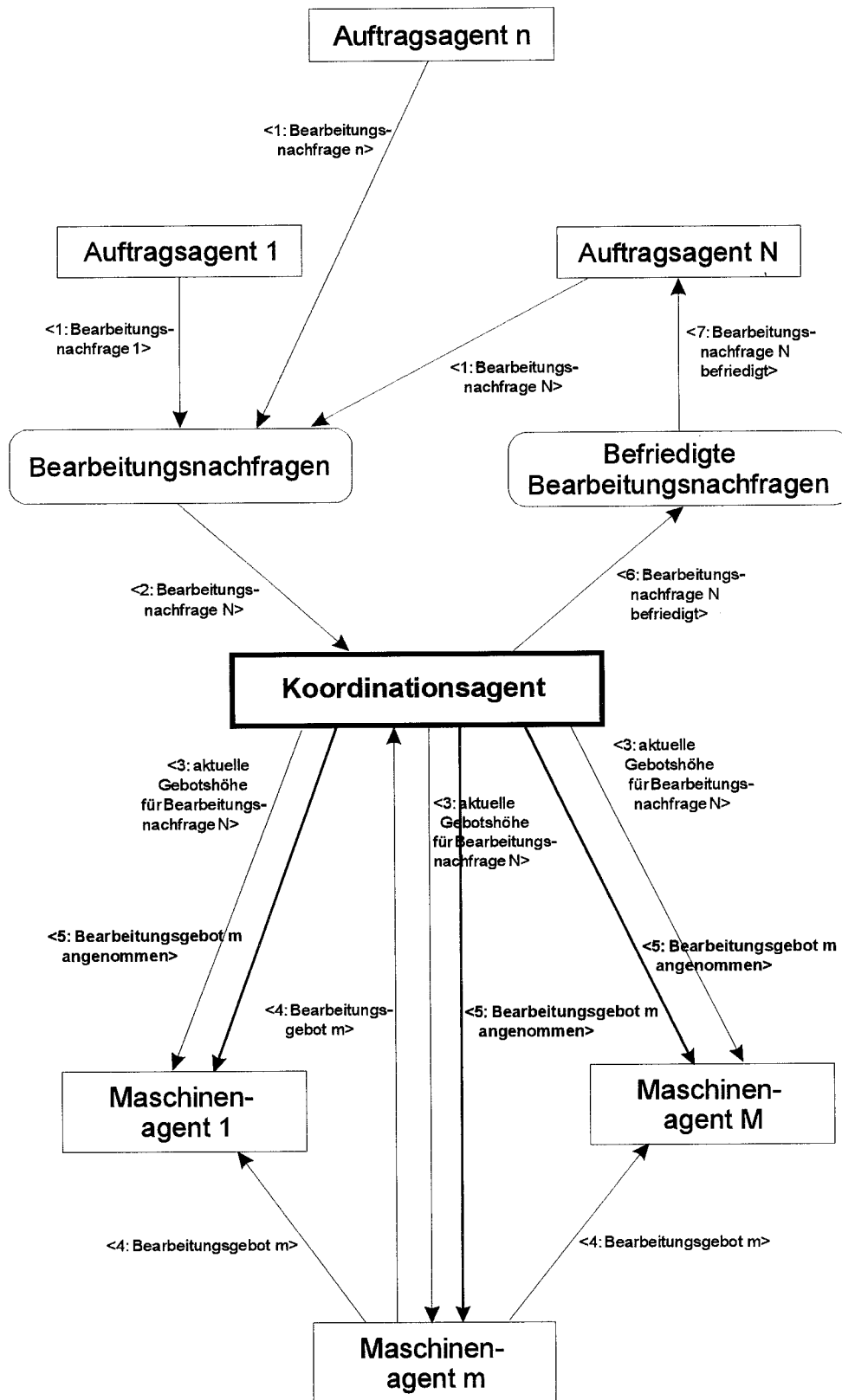


Abb. 3: Modifizierte Kontraktnetz-Architektur für die Holländische Auktion



### 3.3 Höchstpreis-Auktion

Die *Höchstpreis-Auktion*<sup>22</sup> stellt eine verdeckte Auktionsform dar. Die Gebote werden nicht öffentlich, sondern in der Regel schriftlich und damit für die konkurrierenden Bieter unzugänglich abgegeben. Im Grundmodell erfolgen sowohl die Zuschlagserteilung als auch die Entgeltung nach dem jeweils höchsten abgegebenen Preisgebot. Damit bestimmt jeder Bieter mit der Höhe des von ihm abgegebenen Gebots im Fall des Zuschlagserhalts direkt den Kaufpreis für das Auktionsobjekt. Jeder Bieter darf bei dieser Auktionsform nur *ein* Gebot einreichen.

Bei Anwendung der Höchstpreis-Auktion zur Versteigerung von Bearbeitungsnachfragen in einem Flexiblen Fertigungssystem soll wiederum beispielhaft die Zielstellung der Erreichung möglichst niedriger Bearbeitungskosten für einen Arbeitsgang realisiert werden.

Auswahlkriterium sind somit also nicht die höchsten, sondern die *niedrigsten* Bearbeitungskosten aus den eingegangenen Geboten für die Übernahme dieses Arbeitsgangs. In Umkehrung der Zielsetzung des Grundmodells kann in der betrachteten Modifizierung deshalb berechtigt von einer *Tiefstpreis-Auktion*<sup>23</sup> gesprochen werden.

Hinsichtlich der betrachteten Kontraktnetz-Architektur ergeben sich keine weiteren Modifizierungen. Die Spezifika der Tiefstpreis-Auktion spiegeln sich lediglich in der Vorgehensweise des Koordinationsagenten bei der Durchführung der Versteigerung der Bearbeitungsnachfragen wider. Abbildung 4 auf der folgenden Seite veranschaulicht beispielhaft die Kommunikation zwischen den Agenten bei der Versteigerung der Bearbeitungsnachfrage N, die vom Auftragsagenten N abgegeben wurde. Als Gewinner der Tiefstpreis-Auktion wird vom Koordinationsagenten der Maschinenagent m ermittelt, dessen Bearbeitungsgebot die niedrigsten Bearbeitungskosten für die Übernahme der Bearbeitungsnachfrage N ausweist. Die Entgeltung des Maschinenagenten m erfolgt in Höhe der von ihm geforderten Bearbeitungskosten für die ersteigerte Bearbeitungsnachfrage.

Die nicht angenommenen Gebote verbleiben so lange in der Agenda „Bearbeitungsgebote“, bis sie entweder während einer Versteigerung als bestes Gebot angenommen oder aber von einem Maschinenagenten z.B. infolge einer Störung zurückgezogen werden. Daher ist es nicht erforderlich, die betroffenen Maschinenagenten von der Nichtannahme ihrer Gebote in Kenntnis zu setzen. Im Vergleich zur Englischen und zur Holländischen Auktion reduziert dies den Kommunikationsaufwand für den Koordinationsagenten, da er nur im Gewinnfall mit dem entsprechenden Maschinenagenten kommunizieren muß.

---

<sup>22</sup> Weitere Ausführungen zur Höchstpreis-Auktion siehe McAfee/ McMillan (1987), S. 702 und Kräkel (1992), S. 14.

<sup>23</sup> Vgl. Kräkel (1992), S. 131.

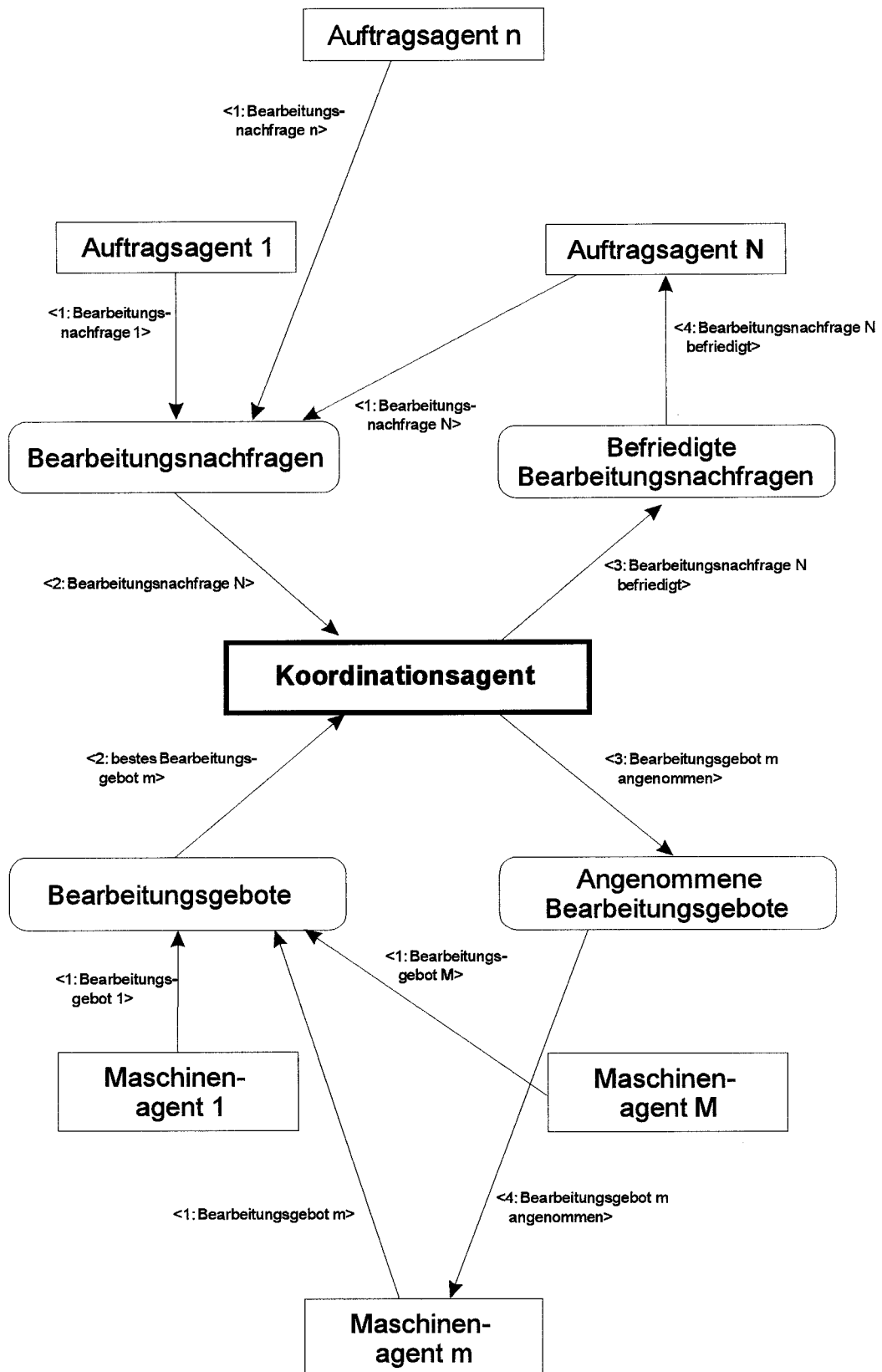


Abb. 4: Kontraktnetz-Architektur für die Tiefstpreis-Auktion

### 3.4 Vickrey-Auktion

Das Grundmodell der *Vickrey-Auktion*<sup>24,25</sup> geht wie die Höchstpreis-Auktion von einer verdeckten Gebotsabgabe aus. Dabei darf jeder Bieter nur *ein* Gebot unterbreiten. Die herausragende Besonderheit dieser Auktionsform besteht in einer Splittung zwischen Zuschlagsregel und Entgeltungsregel. Der Auktionsgewinner wird zwar weiterhin nach dem höchsten abgegebenen Preisgebot ermittelt. Allerdings liegt der Entgeltung nicht diese getroffene Auswahl zugrunde, sondern der Preis wird entsprechend dem zweitbesten abgegebenen Gebot festgesetzt.

Jeder Bieter kann durch die Abgabe seines Gebotes somit lediglich die Gewinnwahrscheinlichkeit der Auktion beeinflussen, nicht aber die Höhe seiner Entgeltung im Gewinnfall, d.h. bei Erhalt des Zuschlags. Die Entgeltung hängt jeweils von der Höhe des zweitbesten Gebotes ab, auf das der Bieter selbst keinen Einfluß ausüben kann<sup>26</sup>. Somit entsteht für jeden Bieter der Anreiz, ein möglichst kostengünstiges Gebot zu unterbreiten, um die Wahrscheinlichkeit des Zuschlagserhalts zu erhöhen.

Der Unterschied zwischen Höchstpreis-Auktion und Vickrey-Auktion besteht lediglich in der unterschiedlichen Entgeltung des jeweiligen Auktionsgewinners. Aufgrund der besonderen Entgeltungsregel der Vickrey-Auktion lassen sich wünschenswerte Eigenschaften dieser Auktionsform, wie beispielsweise Anreizkompatibilität oder Betrugssicherheit<sup>27</sup> und Pareto-Optimalität<sup>28</sup>, nachweisen<sup>29</sup>.

Hinsichtlich der betrachteten Koordinator-Variante der Kontraktnetz-Architektur sind keine weiteren Modifizierungen erforderlich. Die Spezifika der Vickrey-Auktion beeinflussen ausschließlich die Vorgehensweise des Koordinationsagenten bei der Durchführung der Versteigerung der Bearbeitungsnachfragen. Die Kommunikationsbeziehungen zwischen den Agenten bei einer beispielhaften Vickrey-Auktion gehen aus Abbildung 5 auf der übernächsten Seite hervor. Dort wird zur Befriedigung der ausgewählten Bearbeitungsnachfrage N mittels einer Vickrey-Auktion als Auktionsgewinner der Maschinenagent m ermittelt. Dazu zieht der Koordinationsagent zunächst *alle* in Frage kommenden Bearbeitungsgebote ab, die in der Agenda 'Bearbeitungsgebote'

<sup>24</sup> Die Vickrey-Auktion findet sich in der Literatur stellenweise auch unter der Bezeichnung 'Zweitpreis-Auktion', z.B. bei McAfee/ McMillan (1987), S. 702; Güth (1994), S. 208ff.

<sup>25</sup> Detaillierte Ausführungen zur Vickrey-Auktion siehe Vickrey (1961), S. 20ff.; Riley/ Samuelson (1981), S. 382; Lenz (1986), S. 509 ff.; Zelewski (1988), S. 408ff.; Kräkel (1992), S. 14 und Weinhardt/ Gomber (1996), S. 12f.

<sup>26</sup> Diese Aussage basiert auf der auf S. 5 getroffenen Annahme, daß auf einem Elektronischen Markt keine Kartellabsprachen o.ä. zwischen den Bietern stattfinden.

<sup>27</sup> Das Kriterium der Anreizkompatibilität oder Betrugssicherheit bezeichnet die Eigenschaft einer Auktionsform, alle Bieter zur Abgabe ehrlicher Gebote, das heißt zum Offenlegen ihrer tatsächlichen Kosten zu veranlassen. Vgl. dazu Lenz (1986), S. 510; Zelewski (1988), S. 411 ff. und Güth (1994), S. 211 f.

<sup>28</sup> Die Pareto-Optimalität bezeichnet einen Stabilitätzustand für das Versteigerungsergebnis. Es ist bei der Vickrey-Auktion nicht möglich, durch Änderung der Zuschlagserteilung bei den gleichen vorliegenden Geboten einen der Bieter besser zu stellen, ohne einen anderen schlechter zu stellen.

<sup>29</sup> Zu konkreten Beweisen siehe Zelewski (1988), S. 413ff.; Güth (1994), S. 209ff.

vorliegen. In einem weiteren Schritt selektiert er das beste und das zweitbeste Bearbeitungsgebot. Derjenige Maschinenagent, der das beste Bearbeitungsgebot unterbreitet hat, wird als Auktionsgewinner über die Annahme seines Gebots durch den Koordinationsagenten informiert. Das zweitbeste ermittelte Gebot dient lediglich zur Festsetzung der Höhe des Entgelts, das der Auktionsgewinner erhält, und wird nach erfolgter Selektion zusammen mit den nicht angenommenen Bearbeitungsgeboten zurück in die Agenda 'Bearbeitungsgebote' geschrieben. Dort verbleiben diese so lange, bis sie entweder während einer Versteigerung als bestes Gebot angenommen oder aber von einem Maschinenagenten z.B. infolge einer Störung zurückgezogen werden. Da die nicht angenommenen Gebote also weiterhin in der entsprechenden Agenda verbleiben, ist es nicht erforderlich, die betroffenen Maschinenagenten von der Nichtannahme ihrer Gebote in Kenntnis zu setzen. Dadurch reduziert sich der Kommunikationsaufwand für den Koordinationsagenten, da er nur im Gewinnfall mit dem entsprechenden Maschinenagenten kommunizieren muß. Der Verwaltungsaufwand des Koordinationsagenten liegt im Vergleich zur Tiefstpreis-Auktion etwas höher. Die Ursache dafür liegt in dem zusätzlichen Schritt zur Ermittlung des zweitbesten Gebots.

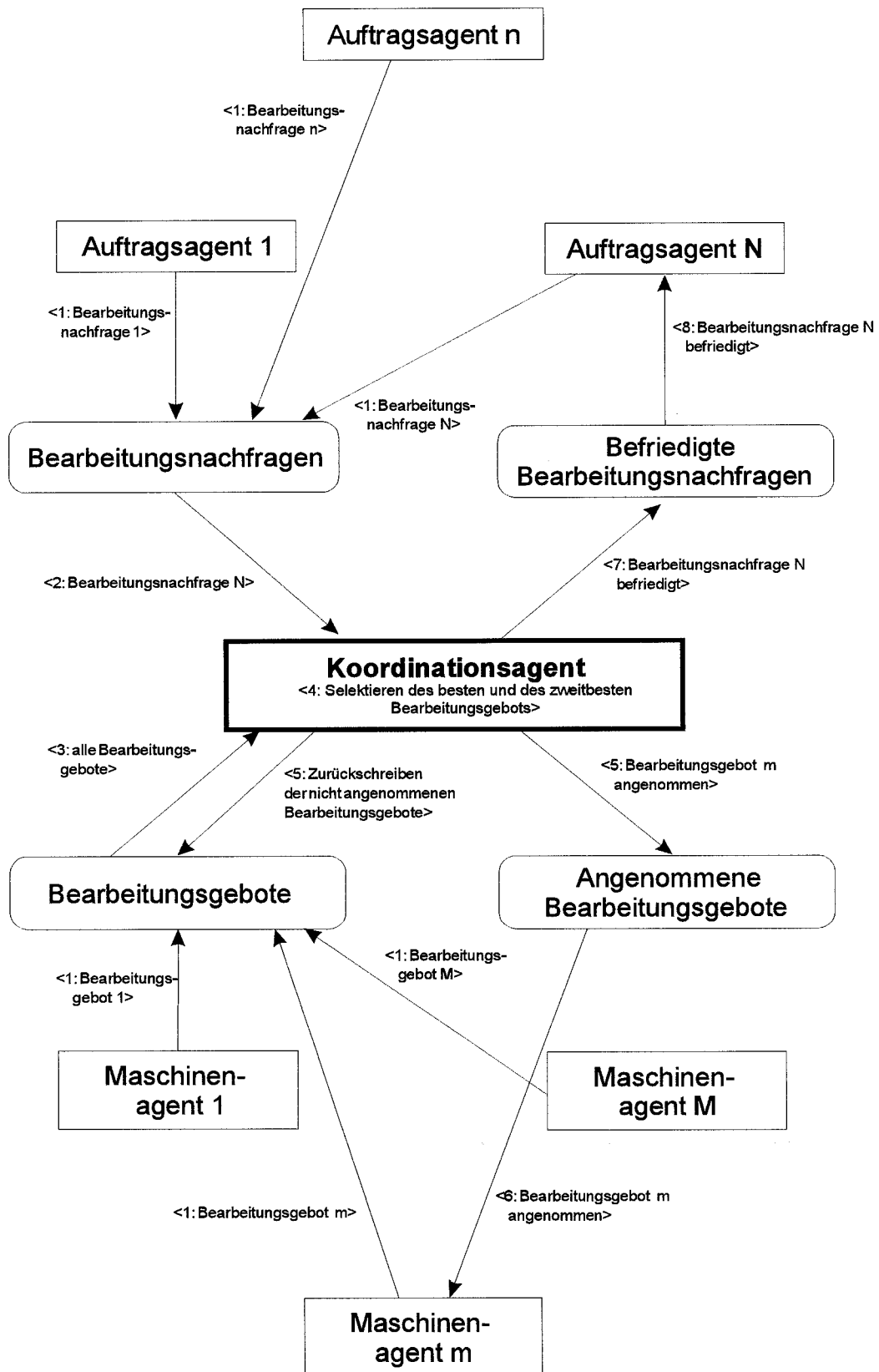


Abb. 5: Kontraktnetz-Architektur für die Vickrey-Auktion

#### 4 Vergleich der Auktionsformen

Die dargestellten Auktionsformen implizieren unterschiedlich hohe Aufwände zur ihrer Durchführung. In der folgenden Tabelle sind die wesentlichen Aufwandskriterien für die jeweiligen Auktionsformen sowohl aus Sicht der an der Versteigerung beteiligten Maschinenagenten als auch aus Sicht des Koordinationsagenten dargestellt. Da die Vorgehensweise und somit der Aufwand der Auftragsagenten unabhängig von der gewählten Auktionsform sind, wird auf deren explizite Berücksichtigung verzichtet. Zur qualitativen Bewertung der einzelnen Aufwandskriterien dienen folgende Symbole: hoch: „+++“; mittel: „++“; niedrig: „+“.

Auktionsform \ Aufwandskriterium	Englische Auktion	Holländische Auktion	Tiefstpreis-Auktion	Vickrey-Auktion
Verwaltungsaufwand der Maschinenagenten	++	+	+	+
Verwaltungsaufwand des Koordinationsagenten	++	++	+	++
Kommunikationsaufwand der Maschinenagenten	+++	+	+	+
Kommunikationsaufwand des Koordinationsagenten	+++	+++	+	+

Tabelle 1: Vergleich von Aufwandskriterien der alternativen Auktionsformen

Unter ‘Verwaltungsaufwand’ wird dabei die versteigerungsrelevante Informationsverarbeitung innerhalb eines Agenten verstanden. ‘Kommunikationsaufwand’ bezeichnet den Informationsaustausch zwischen den Agenten während der Abwicklung einer Versteigerung.

Der Verwaltungsaufwand der Maschinenagenten beinhaltet deren interne Erstellung ihrer Bearbeitungsgebote. Bei dessen Bewertung fand auch die Anzahl der jeweils zur erstellenden Gebote bis zur Beendigung einer Versteigerung Berücksichtigung.

Der Verwaltungsaufwand des Koordinationsagenten umfaßt dessen notwendige Aktivitäten zur Ermittlung des Auktionsgewinners sowie zur Führung und Aktualisierung der Agenden „Bearbeitungsgebote“ und „Angenommene Bearbeitungsgebote“. Der Aufwand zur Verwaltung der Agenden „Bearbeitungsnachfragen“ und „Befriedigte Bearbeitungsnachfragen“ bleibt unverändert von der gewählten Auktionsform und wird daher in Tabelle 1 vernachlässigt.

Der Kommunikationsaufwand der Maschinenagenten resultiert aus der Anzahl aufzunehmender Kommunikationsverbindungen mit den anderen Maschinenagenten, die an der Versteigerung beteiligt sind, und mit dem Koordinationsagenten.

Analog dazu schließt der Kommunikationsaufwand des Koordinationsagenten die Anzahl der durch ihn aufzubauenden Kommunikationsverbindungen mit den Maschinenagenten sowie den durch ihn verwalteten Agenten ein.

Die *Englische Auktion* verursacht sehr hohe Aufwände zur Kommunikation zwischen dem Koordinationsagenten einerseits und den bietenden Maschinenagenten andererseits, da wiederholt Gebote abgegeben werden müssen, bis der bestbietende Maschinenagent gefunden ist<sup>30</sup>. Weiterhin müssen auch die Maschinenagenten untereinander in Kommunikation stehen, damit die Offenheit der Auktionsform gewahrt bleibt und jeder Maschinenagent über die gerade aktuelle Gebotshöhe informiert ist. Zudem kann die Anzahl der notwendigen Auktionsschritte bis zur Selektion des besten Gebotes nicht vorhergesehen werden. Gleichmaßen ist auch die Anzahl abgegebener Gebote je Maschinenagent im Verlauf der Auktion unbestimmt. Dadurch wird der im Vergleich zu den anderen Auktionsformen hohe Verwaltungsaufwand für die Maschinenagenten zur wiederholten Erstellung von Geboten verursacht.

Auch die Beherrschung der *Holländischen Auktion* erfordert ein hohes Maß an Kommunikation, insbesondere aus Sicht des Koordinationsagenten. Obwohl im gesamten Verlauf der Auktion nur *genau ein* Gebot abgegeben wird, muß der Koordinationsagent bei jedem neuen Auktionsschritt mit jedem Maschinenagenten kommunizieren, um ihnen die jeweils aktuelle Gebotshöhe für die zu versteigernde Bearbeitungsnachfrage mitzuteilen. Aus Sicht der Maschinenagenten reduziert sich der Kommunikationsaufwand im Vergleich zur Englischen Auktion erheblich, denn sie warten jeweils die Mitteilungen des Koordinationsagenten über die jeweils aktuelle Gebotshöhe ab. Seitens der Maschinenagenten wird während des Verlaufs der Versteigerung nur *genau ein* Gebot abgegeben, das dem Koordinationsagenten und den anderen Maschinenagenten mitgeteilt wird. Diese nur einmalige Gebotserstellung verringert den Verwaltungsaufwand für die Maschinenagenten erheblich im Vergleich zur Englischen Auktion.

Vergleichsweise zur Englischen und Holländischen Auktion reduziert sich der Kommunikationsaufwand bei der *Tiefstpreis- und Vickrey-Auktion* erheblich - sowohl für die Maschinen- als auch

---

<sup>30</sup> Vgl. Weinhardt/ Gomber (1996), S.11 und 13.

für den Koordinationsagenten. Da beide Auktionsformen die Abgabe verdeckter Gebote erfordern, entfällt jeweils die aufwendige Kommunikation zur Wahrung der Offenheit der Auktion gegenüber allen Bietern. Der Verwaltungsaufwand der Maschinenagenten ist relativ gering, da jeweils nur ein Gebot erstellt werden muß. Für den Koordinationsagenten erhöht sich der Verwaltungsaufwand bei der Durchführung der Vickrey-Auktion etwas, da er hierbei zusätzlich zu dem besten eingegangenen Gebot noch das zweitbeste Gebot ermitteln muß, um die Höhe der Entgeltung für den Auktionsgewinner zu bestimmen.

### **5. Auswahl einer geeigneten Auktionsform zur Versteigerung von Bearbeitungsnachfragen**

Zusammenfassend kann man feststellen, daß alle vorgestellten alternativen Auktionsformen bei der Versteigerung von Bearbeitungsnachfragen auf einem Elektronischen Markt zum gleichen Ergebnis, nämlich der Ermittlung des günstigsten Bearbeitungsgebots, führen. Dies ermöglicht somit die Auswahl des besten Maschinenagenten für die Übernahme eines Bearbeitungsauftrages. Als *bester* Maschinenagent wird jeweils derjenige mit den niedrigsten Bearbeitungskosten selektiert.

Unterschiede bestehen hinsichtlich des durch die gewählte Auktionsform implizierten Kommunikations- und Verwaltungsaufwands.

Wie die Auswertung der unter Punkt 4 eingeführten Aufwandskriterien gezeigt hat, eignet sich für die Umsetzung einer Auktionsform auf der Basis der Kontraktnetz-Architektur eine verdeckte Auktionsform besser als eine offene Auktionsform. Im Vergleich zu den offenen Auktionsformen Englische und Holländische Auktion erfordern sowohl die Tiefstpreis- als auch die Vickrey-Auktion bei gleichem Auktionsergebnis jeweils geringere Aufwände für Kommunikation und Verwaltung.

Bei einer verdeckten Auktionsform gibt jeder Maschinenagent aus seiner Sicht nur *ein* potentiell erfolgreiches Gebot ab<sup>31</sup>. Diese Gebote gehen vor der eigentlichen Versteigerungsaktivität des Koordinationsagenten ein und können deshalb temporär in der Agenda 'Bearbeitungsgebote' abgelegt werden. Dort kann der Koordinationsagent im Bedarfsfall darauf zurückzugreifen und ohne nochmalige Kommunikation mit den Maschinenagenten aus diesen vorliegenden Geboten das beste entsprechend der Zuschlagsregel der gewählten Auktionsform selektieren.

---

<sup>31</sup> Dagegen erfordert eine offene Auktionsform die Erstellung *mehrerer* potentiell erfolgreicher Gebote von jedem Maschinenagenten (bei der Englischen Auktion) oder vom Koordinationsagenten (bei der Holländischen Auktion). Von der Gesamtheit der abgegebenen Gebote führt aber nur *höchstens eines* zum eigentlichen Ziel der Versteigerung, dem Erhalt des Zuschlags. Die Zahl der nicht angenommenen Gebote, die je Versteigerung gesondert generiert, aber nicht weiter gespeichert werden, ist somit im Vergleich zu einer verdeckten Auktionsform hoch.



Die Gebote verweilen so lange in der Agenda, bis sie zum Erfolg, d.h. zur Zuschlagserteilung führen oder aber aufgrund von Kapazitätsengpässen einer Bearbeitungsstation von dieser zurückgezogen werden müssen.

Auf einem realen Markt ist bei Betrachtung der beiden genannten verdeckten Auktionsformen der Vorzug klar der Vickrey-Auktion<sup>32</sup> zu geben. Nur bei dieser Auktionsform existiert für jeden Maschinenagenten eine streng dominante Bietstrategie, nach der es einzig rational ist, ein Gebot in Höhe der tatsächlichen Bearbeitungskosten für einen Auftrag abzugeben<sup>33</sup>. Jeder Maschinenagent ist in der Lage, nur aus dem Wissen über seine eigenen tatsächlichen Bearbeitungskosten und der ihm zur Verfügung stehenden Maschinenkapazität ein für ihn optimales Gebot abzugeben. Es ist in diesem Fall nicht notwendig, Informationen über das strategische Verhalten anderer Maschinenagenten zu beschaffen. Außerdem impliziert die Vickrey-Auktion aufgrund der Gebotsabgabe entsprechend der tatsächlichen Bearbeitungskosten Neidfreiheit unter den Maschinenagenten nach der Ermittlung des Auktionsgewinners.

Für einen Elektronischen Markt kann dieser Vorzug für die Vickrey-Auktion nur dann bestätigt werden, wenn für die an der Versteigerung teilnehmenden Maschinenagenten ein strategisches Bietverhalten zugelassen und entsprechend modelliert wird. Ist dies nicht der Fall, ergibt sich keine Notwendigkeit, die bietenden Maschinenagenten gerade durch die Auswahl der Vickrey-Auktion zur Offenlegung ihrer tatsächlichen Bearbeitungskosten zu zwingen. Ohne modelliertes strategisches Bietverhalten können die Maschinenagenten bei ihrer internen Erstellung der Bearbeitungsgebote nur von den tatsächlich anfallenden Bearbeitungskosten ausgehen und somit auch nur diese an den Elektronischen Markt weitergeben. Für den zuletzt genannten Fall führt eine Höchstpreis-Auktion mit geringerem Kommunikations- und Verwaltungsaufwand zum selben Ergebnis.

---

<sup>32</sup> Zu diesem Ergebnis kommen auch Riley/ Samuelson (1981), S. 389; Kräkel (1992), S. 148 und Weinhardt/ Gomber (1996), S. 13 f.

<sup>33</sup> Das Kriterium der Anreizkompatibilität oder Betrugssicherheit bezeichnet die Eigenschaft einer Auktionsform, alle Bieter zur Abgabe ehrlicher Gebote, das heißt zum Offenlegen ihrer tatsächlichen Kosten zu veranlassen. Vgl. dazu Lenz (1986), S. 510; Zelewski (1988), S. 411 ff. und Güth (1994), S. 211 f.

## Literaturverzeichnis

Alt/ Cathomen/ Klein (1995)

Alt, R./ Cathomen, I./ Klein, S.: CIL - Computerintegrierte Logistik, Bericht Nr. IM2000/CCEM/21 des Institutes für Wirtschaftsinformatik der Hochschule St. Gallen, St. Gallen 1995.

Alt/ Klein/ Kuhn (1994)

Alt, R./ Klein, S./ Kuhn, C.: Electronic Coordination Mechanisms for Service Task Allocation. In: Baskerville, R./ Smithson, S./ Ngwenyama, O./ DeGross, J.I.(Hrsg.): Transforming Organizations with Information Technology, North-Holland 1994, S. 199-217.

Davis/ Smith (1983)

Davis, R./ Smith, R.G.: Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving. In: Artificial Intelligence, Vol. 20 (1983), S. 63-109.

Güth (1982)

Güth, W.: Auktionen, Ausschreibungen und Erbschaftsprobleme als preispolitische Gestaltungsaufgaben, Diskussionspapier des Staatswissenschaftlichen Seminars der Universität zu Köln, Köln 1982.

Güth (1994)

Güth, W.: Markt- und Preistheorie, Berlin, Heidelberg u.a. 1994.

Kräkel (1992)

Kräkel, M.: Auktionstheorie und interne Organisation, Wiesbaden 1992.

Lenz (1986)

Lenz, U.: Die Vickrey-Regel. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt), 15. Jg. (1986), S. 509-512.

McAfee/ McMillan (1986)

McAfee, R./ McMillan, J.: Bidding for contracts: a principal-agent analysis. In: The Rand Journal of Economics, Vol. 17, 3/1986, S. 326-338.

McAfee/ McMillan (1987)

McAfee, R./ McMillan, J.: Auctions and Bidding. In: Journal of Economic Literature, Vol. XXV, June 1987, S. 699-738.

Parunak (1987)

Parunak, V.D.H.: Manufacturing Experience with the Contract Net. In: Huhns, M.N. (Hrsg.): Distributed Artificial Intelligence. London, Los Altos, 1987, S. 285-310.

Picot/ Reichwald/ Wigand (1996)

Picot, A./ Reichwald, R./ Wigand, R.T.: Die grenzenlose Unternehmung. Information, Organisation und Management. Wiesbaden 1996.

Reinheimer (1995)

Reinheimer, St.: Elektronische Marktmechanismen zur Koordination unternehmensübergreifender Wertschöpfungsprozesse, Arbeitsbericht Wirtschaftsinformatik Nr. 1/1995 des Lehrstuhls Wirtschaftsinformatik II der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg 1995.

Riley/ Samuelson (1981)

Riley, J./ Samuelson, W.: Optimal Auctions. In: The American Economic Review, Vol. 71, 3/1981, S. 381-392.

Ritz (1991)

Ritz, D.: Entstehungsmuster elektronischer Märkte. Arbeitsbericht Nr. IM2000/CCEM/8, Version 2.0, IWI-Institut für Wirtschaftsinformatik der Hochschule St. Gallen, St. Gallen 1991.

Shaw/ Whinston (1988)

Shaw, M.J./ Whinston, A.B.: A Distributed Knowledge-Based Approach to Flexible Automation: The Contract Net Framework. In: The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 1 (1988), S. 185-104.

Smith/ Davis (1978)

Smith, R.G./ Davis, R.: Distributed Problem Solving: The Contract Net Approach. In: Proceedings of the Second National Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, Toronto 1978, S. 278-287.

VDI (1990)

VDI-Gemeinschaftsausschuß CIM/VDI-Gesellschaft: Rechnerintegrierte Konstruktion und Produktion. Band 4: Flexible Fertigung (FFS), Düsseldorf 1990.

Vickrey (1961)

Vickrey, W.: Counterspeculation, Auctions and Competitive Sealed Tenders. In: The Journal of Finance, Vol. 16 (1961), S. 8-37.

Weinhardt/ Gomber (1996)

Weinhardt, C./ Gomber, P.: Domänenunabhängige Koordinationsmechanismen für die dezentrale betriebliche Planung. In: Information Management, 11. Jg. (1996), Heft 1, S. 6-16.

Zelewski/ Bode (1993)

Zelewski, S./ Bode, J.: Koordination von Produktionsprozessen - Ein Ansatz auf Basis von Multi-Agenten-Systemen. In: Information Management, 8. Jg. (1993), Heft 2, S. 14-24.

Zelewski (1988)

Zelewski, S.: Competitive Bidding aus der Sicht des Ausschreibers. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (zbf), 40. Jg. (1988), Heft 5, S. 407-421.

Zelewski (1995)

Zelewski, S.: Multi-Agenten-Systeme zur Koordinierung von Produktionsprozessen. In: Scheer, A.-W. (Hrsg.): Rechnungswesen und EDV, Heidelberg 1995, S. 123-150.

**Institut für Produktionswirtschaft und Industrielle Informationswirtschaft  
der Universität Leipzig**

**Verzeichnis der Arbeitsberichte**

---

- Nr. 1: ZELEWSKI, STEPHAN: Das Konzept technologischer Theorietransformationen - eine Analyse aus produktionswirtschaftlicher Perspektive, Leipzig 1994.
- Nr. 2: SIEDENTOPF, JUKKA: Anwendung und Beurteilung heuristischer Verbesserungsverfahren für die Maschinenbelegungsplanung - Ein exemplarischer Vergleich zwischen Neuronalen Netzen, Simulated Annealing und genetischen Algorithmen, Leipzig 1994.
- Nr. 3: ZELEWSKI, STEPHAN: Unternehmenskrisen und Konzepte zu ihrer Bewältigung, Leipzig 1994.
- Nr. 4: SIEDENTOPF, JUKKA: Ein effizienter Scheduling-Algorithmus auf Basis des Threshold Accepting, Leipzig 1995.
- Nr. 5: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 1: Exposition, Leipzig 1995.
- Nr. 6: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 2: Bezugsrahmen, Leipzig 1995.
- Nr. 7: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 3: Einführung in Stelle/Transition-Netze, Leipzig 1995.
- Nr. 8: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 4: Verfeinerungen von Stelle/Transition-Netzen, Leipzig 1995.
- Nr. 9: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 5: Einführung in Synthetische Netze, Teilband 5.1: Darstellung des Kernkonzepts, Leipzig 1995.
- Nr. 10: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 5: Einführung in Synthetische Netze, Teilband 5.2: Auswertungsmöglichkeiten, Leipzig 1995.
- Nr. 11: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 6: Erweiterungen von Synthetischen Netzen, Leipzig 1995.
- Nr. 12: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 7: Fallstudie, Leipzig 1995.
- Nr. 13: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 8: Charakterisierung des Petrinetz-Konzepts, Leipzig 1995.
- Nr. 14: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 9: Beurteilung des Petrinetz-Konzepts, Leipzig 1995.
- Nr. 15: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme (Projekt PEMOPS), Band 10: Petrinetz-Literatur, Leipzig 1995.

## Verzeichnis der Arbeitsberichte

---

- Nr. 16: SIEDENTOPF, JUKKA: An Efficient Scheduling Algorithm Based upon Threshold Accepting, Leipzig 1995.
- Nr. 17: SIEDENTOPF, JUKKA: The Threshold Waving Algorithm for Job Shop Scheduling, Leipzig 1995.
- Nr. 18: ZELEWSKI, STEPHAN: Diskussionspapier zum Text "Zur wirtschaftlichen und sozialen Lage in Deutschland" einer evangelisch-katholischen Arbeitsgruppe, Leipzig 1995.
- Nr. 19: SCHIMMEL, KATRIN; ZELEWSKI, STEPHAN: Untersuchung alternativer Auktionsformen hinsichtlich ihrer Eignung zur Koordination verteilter Agenten auf Elektronischen Märkten, Leipzig 1996.
- Nr. 20: SIEDENTOPF, JUKKA: Feinterminierung unter restriktiven Laufzeitanforderungen - Ein exemplarischer Vergleich lokaler Suchverfahren (Teil I), Leipzig 1996.
- Nr. 21: ZELEWSKI, STEPHAN: Strukturalistische Rekonstruktion von ökologisch induzierten Entwicklungen der produktionswirtschaftlichen Theoriebildung, Leipzig 1996.