

# CAMeL – Eine Meta-Sprache für Kombinatorische Auktionen

**Michael Schwind, Kilian Weiß, Tim Stockheim**

Institut für Wirtschaftsinformatik  
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt  
Mertonstr. 17  
60325 Frankfurt

*Zusammenfassung: Die vorliegende Arbeit stellt ein Framework zur Umsetzung Kombinatorischer Auktionen in betriebswirtschaftlichen Anwendungsgebieten und die dafür entwickelte Combinatorial Auction Meta Language (CAMeL) vor<sup>1</sup>. Wichtigstes Merkmal dieser Sprache ist ihre universelle Einsetzbarkeit. Um dies zu erreichen, wird zunächst eine umfassende Analyse von bereits bestehenden sowie geplanten Anwendungen von Kombinatorischen Auktionen durchgeführt. Darauf aufbauend stellen wir das entwickelte Framework vor. Die Spezifikation der Sprache erfolgt zum besseren Verständnis in Verbindung mit einem Beispiel<sup>2</sup>. Im Rahmen der Erprobung der hier vorgestellten Metasprache werden zudem zukünftig weitere Instanzen von CAMeL entworfen, getestet und über das Competence Center for Combinatorial Auctions zur Verfügung gestellt.*

*Schlüsselworte: Kombinatorische Auktion, XML, Ressourcenallokation*

## 1 Einführung

In den letzten zehn Jahren gewann die Anwendung von Kombinatorischen Auktionen für Beschaffungs- und Ressourcenallokationsprozesse zunehmend an Bedeutung. Getrieben durch die Entwicklung anspruchsvoller Mechanismen für die Verauktionierung von Frequenzbändern an Telekommunikationsunternehmen in Großbritannien<sup>3</sup> und den USA<sup>4</sup> gelangte die Kombinatorische Auktion in den Fokus des Electronic Market Engineering für unterschiedliche Wirtschaftssektoren

---

<sup>1</sup> Die Entwicklung fand im BMBF geförderten Forschungsprogramm „Internetökonomie“ innerhalb des Teilprojekts „Dynamische Bepreisung von Güterbündeln“ statt.

<sup>2</sup> Beim der Literatur entnommenen Anwendungsbeispiel handelt es sich um die Beschaffung von Logistikkapazitäten durch die Baumarktkette Home Depot.

<sup>3</sup> <http://www.ofcom.org.uk/static/archive/spectrumauctions/index.htm>

<sup>4</sup> <http://www.fcc.gov>

[McMi95]. Aufgrund zunehmender Anforderungen an Flexibilität und Effizienz von Beschaffungs- und Allokationsprozessen scheint eine Entwicklung standardisierter Infrastrukturen zur webbasierten Durchführung von Kombinatorischen Auktionen angebracht. Unter den zahlreichen Modellarchitekturen für elektronische Auktionen, die bereits geplant bzw. umgesetzt sind, existiert bisher nur das System eMediator, welches sich explizit mit der Durchführung Kombinatorischer Auktionen beschäftigt [Sand02]. Der Schwerpunkt der beiden Konzepte liegt jedoch im Bereich der spieltheoretischen Validitätsprüfung. Für eine praktische Umsetzung als universell konfigurierbare Standardsoftware ist es jedoch nicht geeignet.

Es schien daher sinnvoll, eine XML-basierte Sprache für den Einsatz Kombinatorischer Auktionen zu entwerfen, die sich durch eine hohe Flexibilität auszeichnet. Wurman et al. [Wur<sup>+</sup>98] realisierten mit ihrem Michigan Internet AuctionBot ein Auktionssystem, das verschiedene, auf XML-Basis spezifizierte, klassische Auktionen durchführen kann. Aufbauend auf diesem Ansatz erweitern wir die XML-Formulierung zu CAMEL (*Combinatorial Auction Meta Language*), einer Beschreibungssprache zur Konfiguration und zum Betrieb einer webbasierten Anwendungsplattform für (Kombinatorische) Auktionen.

In den folgenden Abschnitten (2, 3) dieses Beitrags werden kurz die wichtigsten Eigenschaften einer Kombinatorischen Auktion beschrieben und es wird auf unterschiedliche Varianten des Verfahrens eingegangen. Nach einer kurzen Darstellung der Entwicklung kombinatorischer Auktionsverfahren werden praxisorientierte Anwendungsfälle in verschiedenen Einsatzdomänen skizziert, welche in den Entwurf von CAMEL eingingen. Der vierte Abschnitt stellt unser Framework zur Durchführung Kombinatorischer Auktionen vor, welches auf der in Abschnitt fünf beschriebenen Beschreibungssprache CAMEL basiert. Diese wird anhand des Anwendungsbeispiels der Beschaffung von Logistikkapazitäten durch Home Depot erläutert. Abschließend erfolgt eine Zusammenfassung im sechsten Abschnitt.

## 2 Was sind Kombinatorische Auktionen?

Eine Kombinatorische Auktion erlaubt es Bietern, Gebote für Güter- oder Dienstleistungskombinationen abzugeben, bei denen die Bewertung der Pakete von Synergieeffekten zwischen den Gütern oder Diensten abhängt. Zwei Bewertungseffekte sind hier von Interesse:

- *Subadditivität*: Sie besagt, dass Substitutionseffekte zwischen den einzelnen Gütern der Gebotspakete bestehen, welche zu einem geringeren Nutzen des Paketes gegenüber der Summe der Einzelnutzen führt. Daraus resultiert eine entsprechend geringere Zahlungsbereitschaft der Bieter für das Paket. Ein Beispiel hierfür sind T-Shirts. Bekleidungsgeschäfte geben

daher mitunter einem Rabatt für das gesamte Paket beim Kauf eines zusätzlichen T-Shirts<sup>5</sup>.

- *Superadditivität*: Sie gibt an, dass die Bewertung eines Güterbündels höher ist als die Einzelbewertung der Güter. Dies resultiert aus Komplementaritäten in der Nutzenfunktion der Bieter. So ist zum Beispiel bei Nachfragern einer Reise meist die Zahlungsbereitschaft für den Erwerb eines einzelnen Flugs, eines Hotelaufenthalts oder einer Abendveranstaltung an einem bestimmten Ort niedriger als für den Erwerb des gesamten Reisepakets.<sup>6</sup>

## 2.1 Arten der Kombinatorischen Auktion

In der Literatur wird meist zwischen drei Grundtypen von Auktionen unterschieden die mit der Kombinatorischen Auktion assoziiert sind. Dies ist zum einen die klassische Variante der Kombinatorischen Auktion die *Mehrgüter Auktion* (Multi-Item Auction), bei der unterschiedliche Gütertypen in verschiedener Anzahl miteinander zu Bündeln kombiniert werden. Als Spezialfall dieses Auktionstyps kann die *Mehreinheiten Auktion* (Multi-Unit Auction) gelten, bei der nur Bündel aus mehreren Einheiten der gleichen Güter zulässig sind. Diese Auktion wird zumeist in Form der *Beschaffungsauktion* (Reverse Auction) eingesetzt. Ist die Auktion mit einer fallenden, mengenabhängigen Preisfunktion gekoppelt, spricht man in diesem Zusammenhang auch von einer Rabattauktion. Eine weitere, der klassischen Kombinatorischen Auktion zuzuordnende Auktionsform, ist die *Multiattributive Auktion* (Multi-Attribute Auction). Bei ihr werden die Güter bei der Gewinnerbestimmung neben dem Preis auch nach weiteren Kriterien wie z. B. Qualität, Lieferzeit, etc. angeordnet.

## 2.2 Kurze Entwicklungsgeschichte der Kombinatorischen Auktion

Eines der ersten Beispiele für das Design einer Kombinatorischen Auktion zur preisgesteuerten Allokation von interdependenten, knappen Ressourcen ist die Zuweisung von Start- und Landezeitlots auf Flughäfen. Landezeiten hängen von den Startzeiten an den Abflugorten ab. Komplementaritäten entstehen daher besonders bei Multilegflügen. Rassenti et al. [Ras<sup>+</sup>82] setzen daher eine Kombinatorische Auktion ein, bei der die Fluglinien kombinatorische Gebote für Start- und

---

<sup>5</sup> Eine Mengenfunktion  $f$  ist lokal subadditiv in den disjunkten Mengen  $S$  und  $T$ , wenn  $f(S \cup T) \leq f(S) + f(T)$  gilt. Eine Mengenfunktion ist subadditiv, wenn sie lokal subadditiv für alle disjunkten  $S$  und  $T$  ist.

<sup>6</sup> Eine Mengenfunktion  $f$  ist lokal superadditiv in den disjunkten Mengen  $S$  und  $T$ , wenn  $f(S \cup T) \geq f(S) + f(T)$  gilt. Eine Mengenfunktion ist subadditiv, wenn sie lokal subadditiv für alle disjunkten  $S$  und  $T$  ist.

Landezeitslots von vier US-Flughäfen in Abhängigkeit von den Flugplänen abgeben. Seit 1981 führt die Universität von Chicago Kombinatorische Auktionen zur Vergabe von Vorlesungs- und Seminarplätzen an die Studenten in Abhängigkeit von den an diese Veranstaltungen gebundenen Raum- und Lehrressourcen durch. Dabei können die Studenten ihre Präferenzen für die Teilnahme an den Lehrveranstaltungen als Kombinationsgebote über mehrere Semester hinweg ausdrücken [GrSc93]. Die erste Kombinatorische Auktion im Bereich der Logistik wurde 1993 von Sears Logistic Services<sup>7</sup> für die Beschaffung von Transportkapazitäten durchgeführt. Bei einem Auftragsvolumen von 190 Mio. \$ konnten 13% der Kosten gegenüber der konventionellen Beschaffungsstrategie eingespart werden [Led<sup>+</sup>02]. Mit der Einführung der kombinatorischen Frequenzbandauktion durch die FCC im Jahre 2001 gewann die Kombinatorische Auktion zunehmend an praktischer Bedeutung. Insbesondere bei der Gestaltung von privatwirtschaftlichen Beschaffungsprozessen spielt sie mittlerweile eine größere Rolle.

### 2.3 Praktische Probleme der kombinatorischen Auktion

Neben ihren Vorteilen, die in erster Linie in einer besseren Allokationsgüte liegen, stellen Kombinatorische Auktionen Nutzer wie Betreiber vor verschiedene Probleme. Auf der Betreiberseite wäre vor allem die NP-Vollständigkeit des *Winner-Determination-Problems* zu nennen. Kombinatorische Auktionen basieren mathematisch auf dem *Weighted-Set-Packing-Problem*, sofern sie Verkaufsauktionen sind und auf dem *Weighted-Set-Covering-Problem*, soweit es sich um Beschaffungsauktionen handelt [dVVo01]. Die NP-Vollständigkeit stellt hohe Ansprüche an die benötigte Rechnerleistung bzw. die zu verwendenden Lösungsalgorithmen, insbesondere für große Probleminstanzen. Zahlreiche exakte und heuristische Lösungsverfahren wurden hierfür vorgeschlagen. Neben Verfahren der Ganzzahligen Programmierung kommen Branch-and-Bound-Algorithmen sowie naturanaloge Heuristiken (Genetische-Algorithmen, Simulated-Annealing) zum Einsatz [San<sup>+</sup>02 ; Sch<sup>+</sup>03].

Die Nutzer einer Kombinatorischen Auktion sind hingegen mit dem *Problem der Präferenzfindung* konfrontiert. Es ist ihnen kaum möglich, alle zur Abbildung ihrer Präferenzen notwendigen Variationen von Geboten ohne ein Hilfsmittel zu formulieren und in einer Gebotssprache auszudrücken [Nisa04 ; CoSa01].

Ein weiterer, kritischer Punkt bei der Verwendung von Kombinatorischen Auktionen, der sich insbesondere dem Designer der Auktion stellt, ist die Frage nach der Verwendung passender, spieltheoretisch *stabiler Auktionsmechanismen*. Hierzu existieren unzählige Ansätze in der spieltheoretischen Literatur, die jedoch aus rechentechnischen und praktischen Gründen häufig nicht in die Realität übertrag-

---

<sup>7</sup> [www.slslogistics.com](http://www.slslogistics.com)

bar sind<sup>8</sup>. An dieser Stelle sei stellvertretend nur der Vickrey-Clarke-Groves-Mechanismus genannt, bei dem die Offenlegung der wahren Bewertungsfunktion für die gewünschten Bündel eine dominante Bietstrategie ist [RoNi00].

### 3 Praxisrelevante Anwendungsgebiete für Kombinatorische Auktionen

Zurzeit sind fünf Bereiche identifizierbar, in denen der Einsatz von Kombinatorischen Auktionen stattfindet, bzw. erwogen wird:

#### 3.1 Logistik- und Transportdienstleistungen

Der Bereich der Zuweisung von *Start- und Landezeitsslots* auf Flughäfen wird seit ca. 5 Jahren, ausgelöst durch die hohe Auslastung von Hubflughäfen, wieder vermehrt diskutiert. Eine Reihe von unterschiedlichen kombinatorischen Auktionsverfahren wurden zur Zuweisung von Zeitslots an die Fluglinien auf US-Flughäfen vorgeschlagen und von der FAA<sup>9</sup> diskutiert. Im Unterschied zu Rassenti beziehen sich die Auktionen nur auf kombinatorische Gebote für die Start- und Landezeitsslots auf einem Flughafen, weshalb iterative Verfahren bevorzugt zum Einsatz kommen. Diese ermöglichen den einzelnen Bietern eine Anpassung der Gebote falls für den Flugplan notwendige Zeitslots bisher nicht ersteigert werden konnten [Ball\*04].

Im Bereich der *Logistik* ist der Vorschlag von Caplice [Cap196] für eine mit der Streckenplanung kombinierte Zuweisung von Transportkapazitäten in einem Logistiknetzwerk wegweisend. Er kombiniert die Bildung der kostengünstigsten Transportkombination durch Transportanbieter mittels einer Kombinatorischen Auktion mit einer einfachen Tourenplanung. Einen ähnlichen Ansatz verfolgen auch Regan and Song [ReSo03]. Sie schlagen einen Spotmarkt für überschüssige bzw. kurzfristig benötigte Transportdienstleistungen vor. Kameshwaran und Narahari [KaNa01] führen eine sequentielle Kombinatorische Auktion zur Lösung des bepreisten Tourenkompositionsproblems ein, wobei eine zweiseitige Kombinatorische Auktion zur Anpassung der Gebote an die Transportanfragen im Sinne einer Kombinatorischen Börse dient. In Richtung Kombinatorischer Börse geht auch der Ansatz von Pankratz [Pank03], bei dem die Anreizkompatibilität für Bieter und Nachfrager im Vordergrund steht. Einige Anbieter von Software für Frachtbörsen haben bereits einfache Kombinatorische Auktionen in ihre Allokati-

---

<sup>8</sup> Häufig ist es schon ein schwieriges Problem den Teilnehmer die komplexen Regeln verständlich zu machen.

<sup>9</sup> Federal Flight Administration, <http://www.faa.gov>

onsverfahren einbezogen<sup>10</sup>. Im Bereich der *Transportdienstleistungen* werden seit 1995 die Busrouten der gesamten Londoner Region von der „London Regional Transport“<sup>11</sup> per Kombinatorischer Auktionen versteigert [CaPe04].

### 3.2 Beschaffungsauktionen

Ein weiterer Anwendungsbereich für Kombinatorische Auktionen, dem in den letzten Jahren zunehmende Aufmerksamkeit gewidmet wurde, ist die Beschaffung von Gütern und Dienstleistungen durch Unternehmen und Institutionen in Form der „Reverse Combinatorial Auction“. Dabei spielen neben dem Preis des zu beschaffenden Produktbündels auch Produkteigenschaften eine Rolle. Beispielsweise beschafft die chilenische Schulbehörde (JUNAEB) seit 1997 die Ausgangsprodukte für ihre Schulspeisung im Werte von 180 Mio. \$ über Kombinatorische Auktionen und erzielt damit Einsparungen in Höhe von 40 Mio. \$ jährlich. Mars Inc.<sup>12</sup> konnte ihr Investment in die weltweite Einführung eines auf Kombinatorischen Auktionen basierenden Beschaffungssystems bereits im Jahr der Einführung (2001) durch die hiermit erzielten Einsparungen amortisieren [Eps<sup>+</sup>02].

### 3.3 E-Finance

Auf dem Gebiet der Finanzprodukte ist insbesondere der Handel von gebündelten Finanzinstrumenten mittels Kombinatorischer Auktionen von Interesse. Bichler und Klimesch [BiKl00] ermöglichen den liquiden Handel von Over-the-Counter Optionen durch den Einsatz von Multivariaten Auktionen, wobei die Attribute (Laufzeit, Kreditrating, etc.) additiv über Gewichtungsfunktionen verknüpft sind. Die meisten Kombinatorischen Auktionen für Finanzprodukte laufen in Form von zweiseitigen Auktionen, so genannten Kombinatorischen Börsen ab [Par<sup>+</sup>01]. Bossaerts et al. [Bos<sup>+</sup>02] stellen einen Combined Value Trading (CVT) Ansatz vor, der einer Kombinatorischen Börse für Wertpapierpakete entspricht. Abrache et al. [Abr<sup>+</sup>02] verfeinern die Kombinatorik der abgegebenen Gebote in einem CVT-Prozess und erhöhen damit die erzielbare Transaktionskosteneinsparung. Eine dem CVT-Verfahren nahe stehende Kombinatorische Börse für Fixed-Income Finanzprodukte ist bereits in NetExchange realisiert [PoSc00].

### 3.4 Optimale Allokation von öffentlichen Gütern

Wie bereits eingangs erwähnt, ist eine der bekanntesten Anwendungsbereiche für Kombinatorische Auktionen die Versteigerung von Mobilfunklizenzen durch die

---

<sup>10</sup> <http://www.nex.com>, <http://www.i2.com>, <http://www.logistics.com>

<sup>11</sup> <http://www.transportforlondon.gov.uk/buses/>

<sup>12</sup> <http://www.mars.com>

FCC [McMi94]. Dabei handelt es sich um eine iterative Kombinatorische Auktion bei der die Bieter ihre Gebote ändern bzw. zurückziehen können, wenn sie gewünschte Kombinationen von Frequenzbändern und Senderegionen nicht erhalten [McMi95]. Durch die iterative Struktur sind spieltheoretische Überlegungen beim Design der FCC Auktion von hoher Relevanz. Zahlreiche Varianten des von der FCC verwendeten Auktionsdesigns, wie beispielsweise die Clock-Proxy-Auction von Ausubel et al. [Aus<sup>+</sup>04], wurden daher in den letzten Jahren vorgeschlagen. Als ein weiteres Beispiel für den Einsatz von Kombinatorischen Auktionen im Bereich öffentlicher Güter kann der kalifornische Markt zur Versteigerung von Umweltausmissionsrechten (RECLAIM)<sup>13</sup> gesehen werden. Ishikida et al. [IsLe00] schlagen ein kombinatorisches Marktdesign für RECLAIM vor, bei dem Emissionsrechte in Portfoliopaketen gehandelt werden können, wobei die Bündelung nach Emissionstyp und Emissionsregion erfolgt.

### 3.5 Supply Chain Management

Eine weitere Domäne, in der die Anwendung Kombinatorischer Auktionen vermehrt diskutiert wird, ist das Supply Chain Management. Dieser Bereich ist technisch besonders anspruchsvoll, da im Supply Chain Management neben dem kombinatorischen Aspekt der Beschaffungsauktion zusätzlich die Kombinatorik des Scheduling Prozesses in der Produktion betrachtet werden muss. Collins et al. lösen dieses Problem, indem sie der Kombinatorischen Auktion für die Zuweisung der Zulieferkontrakte im Supply Netzwerk einen Critical-Path-Algorithmus zur Ermittlung eines gültigen Ausführungsplans zur Seite stellen [Col<sup>+</sup>02]. Ygge et al. [Ygg<sup>+</sup>00] entwickeln eine einrundige Kombinatorische Auktion bei der die zeitlichen Interdependenzen der Produktion im Supply-Netz direkt in die Auktion eingehen. Allerdings ist die Qualität der bei dieser Lösungsvariante erzeugten Lösungen abhängig von der Struktur des Netzes.

## 4 CAMEL Framework

Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist es, neben der Entwurf der Metasprache CAMEL, ein flexibles Framework zu präsentieren, welches sich zum Design und zur Durchführung neuer, aber auch der in den vorherigen Abschnitten beschriebenen, Auktionsformen eignet. Auf Basis von CAMEL werden dabei Auktionsdesigns entworfen und bereitgestellt, Gebote und Nutzer verwaltet, sowie die Gewinnermittlung durchgeführt. Eine flexible Webservice-Architektur ermöglicht dabei die Integration verschiedener Frontends sowie spezialisierter Dienste zur Winner-Determination.

---

<sup>13</sup> <http://www.aqmd.gov/reclaim/reclaim.html>

Die Entwicklung von Auktionsvorlagen (Auction Editor) kann mit Hilfe eines XML-Editors und anschließender Validierung durch das CAMEL XML-Schema erfolgen. Es wird jedoch die Entwicklung eines Werkzeugs projektiert, welches den Designer bei der Wahl der Parameter fachlich unterstützt und widersprüchliche Designentscheidungen identifiziert.

Abbildung 1 zeigt die Grundstruktur des CAMEL-Frameworks, dessen Kern der Auction Manager (AM) darstellt. Er führt die Auktion entsprechend der in CAMEL definierten Auktionsspezifikation durch. Die Aufgaben des AM umfassen die Initialisierung des Auktionsprozesses, die Verwaltung und Prüfung der Nutzer und abgegebenen Gebote, sowie die Steuerung des zeitlichen Ablaufs der Auktion.

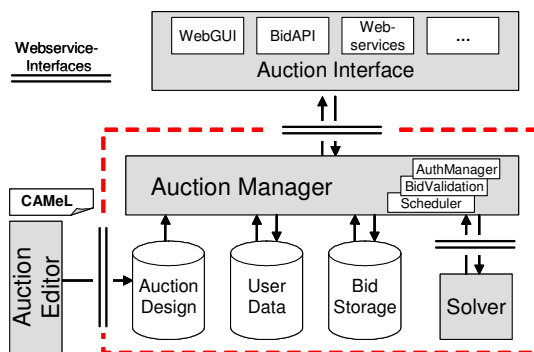


Abbildung 1: CAMEL-Framework

Das Datenmodell gliedert sich in drei Funktionsbereiche<sup>14</sup>:

- **Auction Design:** Je nach Anforderung kann hier ein individuell konfiguriertes Auktionsdesign hinterlegt werden. Einmal entworfene Auktionen werden in einem Repository hinterlegt und können bei Bedarf abgerufen werden. Neben der Möglichkeit, eigene Auktionsformen zu entwerfen, werden bekannte Auktionsformate, wie beispielsweise eine einrundige, verdeckte Kombinatorische Auktion bereits vorgehalten.
- **User Data:** Die Nutzerverwaltung erfolgt unabhängig von einzelnen Auktionen. Neben den persönlichen Daten fallen hierunter auch weitere Informationen, beispielsweise über Teilnahmefrequenz, gewonnene Auktionen, Bewertungen durch andere Nutzer, usw.
- **Bid Storage:** Auktionsbezogene Daten werden im Bid Storage hinterlegt. Im Gegensatz zum Auction Design, wo flexible Interfaces die Umsetzung erleichtern und die Anforderungen an den Durchsatz minimal sind, empfiehlt sich hier der Einsatz performanceoptimierter Datenbanken.

<sup>14</sup> Das Austauschen einer Datenbank stellt kein Problem dar, da die Abstraktion von der konkreten Datenbank durch entsprechende Treiber (ODBC, JDBC) meist schon durch die verwendete Programmiersprache erfolgt.



Kombinatorische Auktionen erfordern in Abhängigkeit ihres Designs ein- oder mehrmals die Lösung des Winner-Determination Problems. Zu dessen domänenübergreifender Lösung werden konkrete Ressourcen in CAMEL auf generische, atomare Ressourcenobjekte abgebildet, auf die geboten wird. Die Grundstruktur der Winner-Determination ist damit weitgehend unabhängig von der konkreten Auktion und ermöglicht die Anbindung universeller Solver über ein Standard-Interface. Wird hierbei, wie in unserem Design, auf Web-Services zurückgegriffen, ermöglicht dies auch die Nutzung von externen Rechenkapazitäten (z.B. leistungsfähige Rechenzentren von Drittanbietern).

Das Auction Interface stellt eine modulare Schnittstelle zum Benutzer der Auktion dar, welche bei Bedarf angepasst oder erweitert werden kann. Kernelement der Kommunikation ist hier die Übertragung der XML-basierten Gebote.<sup>15</sup>

## 5 CAMEL

CAMEL basiert auf der von Wurman entwickelten Sprache zur Beschreibung von Auktionen, die im Auction Bot [Wur<sup>+</sup>98] bereits erfolgreich zum Einsatz kommt. Die Weiterentwicklung der Sprache zielt darauf ab, einen Standard für den Einsatz (Kombinatorischer) Auktionen zu schaffen, welcher die Durchführung von Auktionen mittels Standardsoftware bzw. universell einsetzbarer Module ermöglicht.

Im Folgenden werden die einzelnen Elemente von CAMEL und eine exemplarische Auktionsbeschreibung vorgestellt. Als Beispiel dient dabei die im Jahre 2000 von Home Depot durchgeführte Auktion zum Einkauf von Transportdienstleistungen [ElKe00].

Home Depot bezog mit Hilfe einer Kombinatorischen Auktion Transportkapazitäten zur Versorgung von über tausend Geschäften. Zusammen mit i2-Technologies entwickelte das Unternehmen einen flexiblen Auktionsmechanismus, der Anbietern helfen sollte, ihre individuellen Synergien zwischen Routen mit Hilfe kombinatorischer Gebote auszudrücken.

Vor Beginn der Auktion wurden aus 192 Interessenten 111 Teilnehmer anhand verschiedener Kennzahlen über ihre Leistungsfähigkeit und wirtschaftliche Stabilität ausgewählt. Die Teilnehmer erhielten vor Beginn der Auktion detaillierte Informationen über die einzelnen Routen und die benötigten Transportkapazitäten. Home Depot entschied sich für ein einfaches Auktionsdesign. Bieter hatten die Möglichkeiten, AND- und OR-Gebote sowie gebotsunabhängige Restriktionen für Transaktionsvolumen und Umsätze zu spezifizieren. Die Restriktionen sollten

---

<sup>15</sup> Das Modul Auth Manager ermöglicht die Nutzung digitaler Signaturen zur sicheren Authentifizierung der Bieter. Damit wird die Basis zur Abgabe rechtsverbindlicher Gebote geschaffen.

sicherstellen, das beidseitige Risiko zu minimieren, dass ein Spediteur das erhaltene Bündel an Routen nicht vollständig hätte abdecken können. Es wurde eine geschlossene Auktion implementiert, bei der die Gebote anderer Bieter nicht eingesehen werden konnten. Grund für diese Entscheidung war, dass Home Depot einen zu starken Preiswettbewerb und resultierende Qualitätsprobleme befürchtete. Das entwickelte Verfahren wurde sowohl von Home Depot als auch von den Bietern als erfolgreich eingestuft.

## 5.1 Grundstruktur

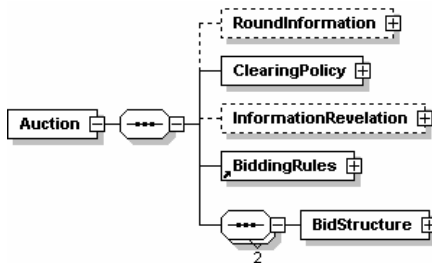


Abbildung 2: Grundstruktur

Abbildung 2 zeigt die erste Gliederungsebene von CAMEL. Fünf Kategorien dienen der Erfassung der Auktionseigenschaften. Sie beschreiben den Auktionsprozess, die Struktur der Gebote und das Verfahren zur Ermittlung der Auktionsgewinner. Während *ClearingPolicy* und *BiddingRules* ein Mal in der Beschreibung vorkommen müssen, sind *RoundInformation* und *InformationRevelation* optional. Die Beschreibung der Gebotsstruktur (*BidStructure*) muss für Käufer und Verkäufer, also genau zwei Mal erfolgen.

Die folgenden Abschnitte beschreiben die einzelnen Elementgruppen zur Spezifikation Kombinatorischer Auktionen und stellen entsprechende Beispielspezifikationen vor.

## 5.2 RoundInformation

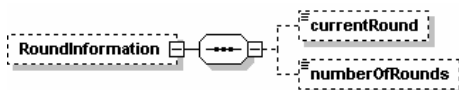


Abbildung 3: Rundeninformationen

Das erste Hauptelement (*RoundInformation*) wird in Abbildung 3 dargestellt. Es wird aktiviert, wenn es sich um eine iterative Auktion handelt und damit mehrere

Runden durchlaufen werden. Neben der Anzahl der Gesamtrunden (*numberOfRounds*) wird weiterhin die aktuelle Runde im Element *currentRound* angegeben.

Da Home Depot seinen Auktionsprozess als Single-Round Auktion entwarf, ist der optionale Tag *RoundInformation* nicht relevant und kann in der Beschreibung entfallen. Als Beispiel wird hier eine Auktion mit drei Runden, die sich in der zweiten Runde befindet dargestellt:

```

<RoundInformation>
  <currentRound>2</currentRound>
  <numberOfRounds>3</numberOfRounds>
</RoundInformation>
    
```

Abbildung 4: Beispiel Rundeninformationen

### 5.3 ClearingPolicy

Abbildung 5 zeigt die zweite Gruppe von Elementen (*ClearingPolicy*), die den Prozess der Gewinnermittlung beschreibt. Bis auf *matchingFunction* wurden sämtliche Elemente von Wurman übernommen und unterscheiden sich nicht von anderen Auktionen. *MatchingFunction* spezifiziert, wie Gebote der Käufer und Verkäufer zusammengeführt werden. Kernelement ist hier die Festlegung des Matching-Mechanismus (*mechanism*). Weiterhin legt der Auktionsdesigner mit dem Tag *virtualPrice* fest, ob bei Multiattributiven Auktionen weitere Eigenschaften durch den Preis ausgedrückt werden sollen. Der adjustierte Preis dient dann als Grundlage für den Matching-Mechanismus.

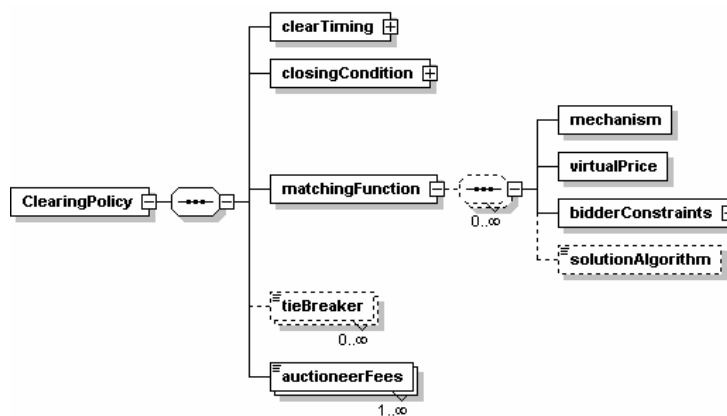


Abbildung 5: Beschreibung Clearing-Prozess

Die folgenden XML-Daten der Beispielauktion zeigen die Spezifikation der Matching-Funktion und das Flag *virtualPrice*. Das Element *mechanism* wird hier so spezifiziert, dass Angebote entsprechend der Preise akzeptiert werden, bis der Bedarf gedeckt ist [WuTa00]. Weiterhin legt *virtualPrice* fest, dass die Bewertung der multiattributiven Gebote durch eine Adjustierung des Preises geschieht.

```
<matchingFunction>
  <mechanism>M+1</mechanism>
  <virtualPrice>>true</virtualPrice>
  ...
</matchingFunction>
```

**Abbildung 6: Beispiel Matching-Prozess**

*matchingFunction* enthält außerdem das optionale Element *solutionAlgorithm*, mit dessen Hilfe das Verfahren zur Winner-Determination explizit festgelegt werden kann. Dies ermöglicht es, bereits während des Auktionsdesigns problemspezifische Informationen zur Auswahl eines geeigneten Verfahrens zu nutzen. Wird kein Algorithmus explizit vorgegeben, so nutzt das System generische Lösungsverfahren für multiattributive Kombinatorische Auktionen. Optional kann der gewählte Algorithmus weiter konfiguriert werden, beispielsweise könnte bei einer Lösung mittels Genetischer Algorithmen die Populationsgröße explizit festgelegt werden.

Unsere Beispielauktion spezifiziert als Lösungsverfahren Integer-Programming:

```
<solutionAlgorithm>IntProg1</solutionAlgorithm>
```

**Abbildung 7: Beispiel Lösungsalgorithmus**

Abbildung 9 stellt ein weiteres Sub-Element von *matchingFunction* dar, *bidderConstraints*. Diese Gruppe ermöglicht es, gebotsunabhängige Restriktionsoptionen für die einzelnen Bieter zu aktivieren. Der Auktionsdesigner kann hier sieben Restriktionsmöglichkeiten [KaPa03] für seine Auktion zulassen, unter anderem Mengen- und Umsatzbeschränkungen. Die Beispielauktion bietet Transportanbietern zwei Restriktionen, Umsatz- und Mengenbeschränkungen:

```
<bidderConstraints>
  <transactionVolume>>true</transactionVolume>
  <quantity>>true</quantity>
</bidderConstraints>
```

**Abbildung 8: Beispiel gebotsunabhängiger Restriktionen**

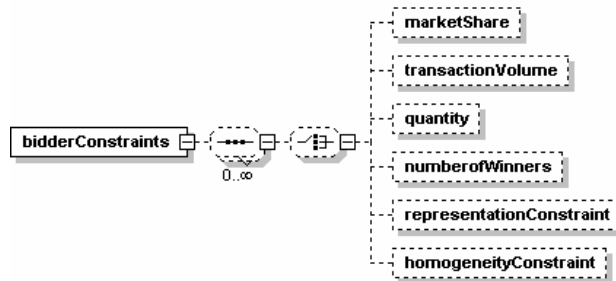


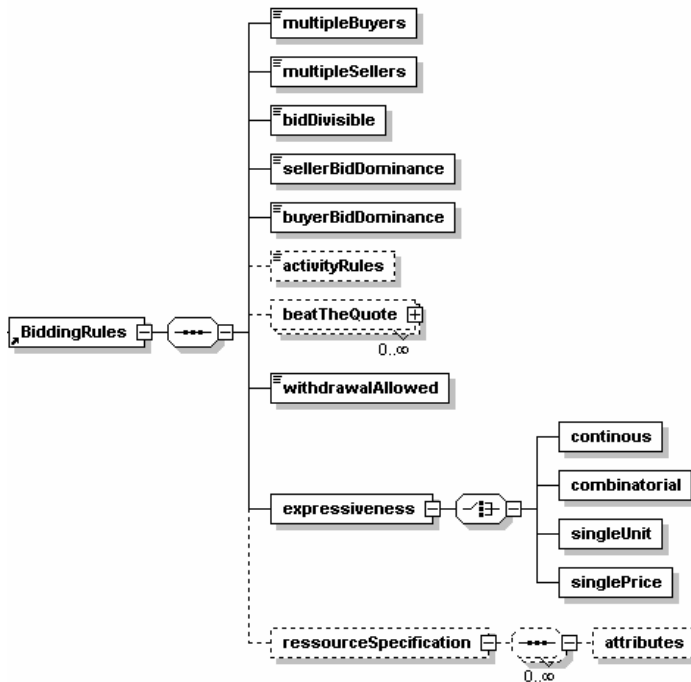
Abbildung 9: Gebotsunabhängige Restriktionen

## 5.4 InformationRevelation

Die Gruppe *InformationRevelation* ist optional und beschreibt die den Bietern auf beiden Seiten bereitgestellten Informationen. Die Parameter können beim Design Kombinatorischer Auktionen analog zum klassischen Auktionsdesign genutzt werden. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Punkte gibt [Wur<sup>+</sup>01]. In unserer Beispielauktion wird *InformationRevelation* nicht beschrieben und damit die implizite Information gegeben, dass weder Käufer noch Verkäufer in der Auktion Gebotsinformationen an die andere Seite weitergeben.

## 5.5 BiddingRules

Von hoher Relevanz für das Design Kombinatorischer Auktionen sind die in Abbildung 10 dargestellten Gebotsregeln (*BiddingRules*). Die ersten Elemente (*multipleBuyers*, *multipleSellers*, *bidDivisible*, *sellerBidDominance*, *buyerBidDominance*, *activityRules*, *beatTheQuote*, *withdrawalAllowed*) entsprechen dabei der Spezifikation von Wurman [Wur<sup>+</sup>01]. Sie beschreiben Eigenschaften des Gebotsprozesses und ermöglichen insbesondere die Berücksichtigung spieltheoretischer Überlegungen und das Verhindern von kontraproduktivem Bieterverhalten durch die Implementierung konkreter Handlungsregeln.



**Abbildung 10: Gebotsregeln**

Das Element *expressiveness* ermöglicht es, den Typ der Auktion zu wählen und wurde gegenüber dem Ausgangsdesign um die Option *combinatorial*, die der Auswahl einer Kombinatorischen Auktion dient, erweitert. Mit dem Element *combinatorial* wird der optionale, für Kombinatorische Auktionen spezifische Tag *ressourceSpecification* aktiviert. Er beschreibt mit seinen Sub-Elementen die Eigenschaften der einzelnen Auktionen und ordnet den Ressourcen zusätzliche Attribute, wie Service-Level oder Volumen zu.

Die Abbildung der Home-Depot Auktion basiert zunächst auf den von Wurman bereits bekannten Attributen, die entsprechend dem Design der klassischen Procurement-Auktion gesetzt werden. *expressiveness* zeigt mit der Aktivierung von *combinatorial* an, dass es sich um eine Kombinatorische Auktion handelt und aktiviert die Gruppe *ressourceSpecification*. Diese enthält im hier vorliegenden Fall von Home Depot drei zusätzliche Attribute über die angebotene Transportkapazität, das Service-Level und das finanzielle Ranking des Anbieters.

Abbildung 11 zeigt die konkrete Beschreibung von *BiddingRules* für unser Beispiel der Home Depot Auktion:

```

<BiddingRules>
  <multipleBuyers>false</multipleBuyers>
  <multipleSellers>true</multipleSellers>
  <bidDivisible>false</bidDivisible>
  <sellerBidDominance>false</sellerBidDominance>
  <buyerBidDominance>false</buyerBidDominance>
  <activityRules>none</activityRules>
  <beatTheQuote>
    <amount>0</amount>
    <agent>seller</agent>
  </beatTheQuote>
  <withdrawalAllowed>false</withdrawalAllowed>
  <expressiveness>
    <continous>false</continous>
    <combinatorial>true</combinatorial>
    <singleUnit>false</singleUnit>
    <singlePrice>false</singlePrice>
  </expressiveness>
  <ressourceSpecification>
    <attributes>Capacity</attributes>
    <attributes>FinancialStatusSeller</attributes>
    <attributes>ServiceLevel</attributes>
  </ressourceSpecification>
</BiddingRules>

```

Abbildung 11: Beispiel Gebotsregeln

## 5.6 BidStructure

Abbildung 12 zeigt die Elementengruppe *BidStructure*. Sie existiert in jeder Beschreibung exakt zwei Mal und spezifiziert die Gebotsstruktur für Käufer und Verkäufer. Das jeweilige Element wird dabei mit dem Attribut *bidderPosition* den Käufern, bzw. den Verkäufern zugeordnet.

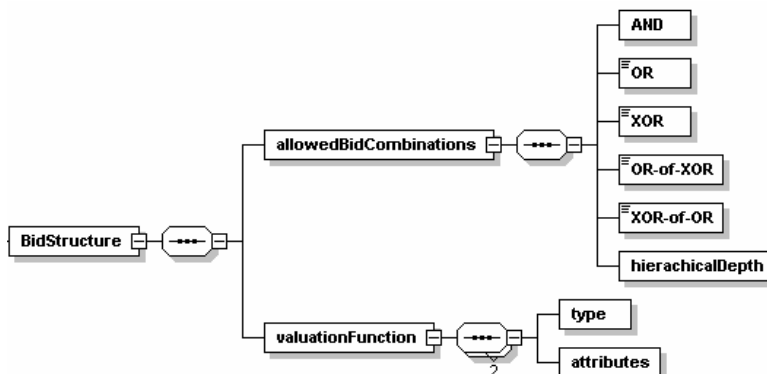


Abbildung 12: Gebotsstruktur

Das Unterelement *allowedBidCombinations* gibt die erlaubten logischen Operatoren zur Verknüpfung der atomaren Gebote an. Die explizite Auflistung der verknüpften Operatoren erlaubt eine genauere Einschränkung der Gebotsstruktur über die einfachen Operatoren hinaus. Weiterhin kann mit Hilfe des Elements *hierachicalDepth* die logische Verknüpfungstiefe der Gebote eingegrenzt werden.

Home Depot schränkte in seiner Beschaffungsauktion die Möglichkeit kombinatorischer Gebote auf die einfachen Operatoren AND, OR und XOR ein, mit der alle denkbaren Gebotstypen abbildbar sind. Die logische Verknüpfungstiefe wurde dabei auf zwei Ebenen eingeschränkt. Abbildung 13 zeigt die entsprechende XML-Beschreibung.

```
<allowedBidCombinations>
  <AND>true</AND>
  <OR>true</OR>
  <XOR>true</XOR>
  <OR-of-XOR>false</OR-of-XOR>
  <XOR-of-OR>false</XOR-of-OR>
  ...
  <hierachicalDepth>2</hierachicalDepth>
</allowedBidCombinations>
```

**Abbildung 13: Beispiel erlaubter Gebotskombinationen**

Durch *valuationFunction* wird die Preisfunktionen der Käufer, bzw. Verkäufer angeben. Das Element *type* gibt dabei an, ob die Funktion eine dynamische Struktur unter Einbeziehung des Auktionszeitpunktes annehmen kann (*dynamic*), oder es sich um eine statische Funktion handelt (*static*). *allowedAttributes* ermöglicht es dem Auktionsdesigner, weitere Ressourcen-Attribute zuzulassen, zum Beispiel ein Service-Level für die angebotene Leistung eines Transportunternehmens. Home Depot ermöglichte den Teilnehmern lediglich die Abgabe statischer Gebote, die keine weiteren Attribute einbezogen:

```
<valuationFunction>
  <type>static</type>
</valuationFunction>
```

**Abbildung 14: Beispiel Preisfunktion Verkäufer**

Die Gebote der Käuferseite waren im Home-Depot-Fall auch statisch, ermöglichten jedoch die Definition von Preisfunktionen über sämtliche in *resourceSpecification* definierten Attribute:

```
<valuationFunction>
  <type>static</type>
  <attribute>Capacity</attribute>
  <attribute>FinancialStatusSeller</attribute>
  <attribute>ServiceLevel</attribute>
</valuationFunction>
```

**Abbildung 15: Beispiel Preisfunktion Käufer**



## 5.7 Gebotsabgabe

Die Übertragung der Gebote erfolgt im hier vorgestellten Framework in XML. Auf Basis der in *BiddingRules* (5.5) beschriebenen Ressourcenspezifikation wird ein XSD-Schema generiert, das die Bereitstellung auktionsspezifischer Web-Service-Interfaces und gleichzeitig die Validierung einzelner Gebote ermöglicht. Weiterhin fließen in das Schema Informationen aus *BidStruktur* (5.6) ein, insbesondere über zugelassene logische Operatoren und die Struktur der Preisfunktion (*allowedBidCombinations*, *attributes*).

In Abbildung 16 wird exemplarisch ein Gebot für unsere Beispielauktion dargestellt:

```
<Bid>
  <bidderID>523</bidderID>
  <bidTime>21:05:2004:16:03:34</bidTime>
  <caBid>
    <OR>
      <AND>
        <aBid res="2">
          <Quantity>23</Quantity>
          <FinancialStatus>3</FinancialStatus>
          <ServiceLevel>2</ServiceLevel>
        </aBid>
        ...
      </AND>
    </OR>
    <valuation>423000</valuation>
    ...
  </caBid>
</Bid>
```

Abbildung 16: Beispiel XML-Gebot

Zunächst definiert das Dokument den Bieter und die Zeit der Gebotsabgabe. Das Element *caBid* enthält dann das eigentliche Gebot in dem einzelne, atomare Gebote (z. B. auf einzelne Transportrouten) logisch verknüpft werden und eine Preisfunktion (*valuationFunction*) kommuniziert wird. Das Attribut *res* beschreibt dabei auf welche Ressource sich das jeweilige Gebot bezieht.

## 6 Zusammenfassung

Basierend auf der Analyse bereits existierender und in Entwicklung befindlicher Anwendungsfälle für Kombinatorische Auktionen wurde die Architektur eines Web-basierten Auktionsframeworks sowie die Meta-Sprache CAMEL vorgestellt. CAMEL dient dem praktischen Einsatz von Kombinatorischen Auktionen und ermöglicht deren Durchführung mit Hilfe von Standardsoftware.

Beim Entwurf der Sprache standen praktische Anwendbarkeit und universelle Einsetzbarkeit im Vordergrund. Darüber hinaus gingen in die Formulierung der

Sprache sowohl Aspekte der Auktionstheorie, wie spieltheoretische Stabilität der Gebotsmechanismen, als auch Gesichtspunkte der mathematischen Komplexität des Winner-Determination-Problems ein. Neben der Spezifikation von CAMEL wurde zum besseren Verständnis die Umsetzung eines konkreten Auktionsdesigns gezeigt. Dabei stützen wir uns auf das in der Literatur beschriebene Anwendungsbeispiel der Beschaffung von Logistikkapazitäten durch die Baumarktkette Home Depot.

Im Rahmen einer praxisnahen Erprobung der hier vorgestellten Metasprache für Kombinatorische Auktionen werden nun Formulierungen weiterer Sprachinstanzen von CAMEL durchgeführt. Nach der Evaluation der Praxistauglichkeit und Leistungsfähigkeit werden diese für Anwender aus Industrie und Forschung über das Competence Center for Combinatorial Auctions (CCCA)<sup>16</sup> veröffentlicht.

## Literatur:

- [Abr<sup>+</sup>02] Abrache, J.; Crainic, T.; Gendreau, M.: Models for Bundle Trading in Financial Markets. Arbeitsbericht: Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal: <http://ideas.repec.org/p/cir/cirwor/2002s-84.html>, 2002. Abruf am 28.6.2004.
- [Aus<sup>+</sup>04] Ausubel, L. M.; Cramton, P.; Milgrom, P.: The Clock-Proxy Auction: A Practical Combinatorial Auction Design. In: Steinberg, R.; Shoham, Y. (Hrsg): Combinatorial Auctions. MIT Press, noch nicht erschienen: 2004,
- [Ball<sup>+</sup>04] Ball, M.; Donohue, G.; Hoffman, K.: Auctions for the Safe, Efficient and Equitable Allocation of Airspace System Resources. In: Steinberg, R.; Shoham, Y.; Cramton, P. (Hrsg): Combinatorial Auctions. MIT Press, noch nicht erschienen: 2004,
- [BiKI00] Bichler, M.; Klimesch, R.: Simulation multivariater Auktionen: Eine Analyse des OTC-Handels mit Finanzderivaten. Wirtschaftsinformatik 42, 2000, S. 244-252.
- [Bos<sup>+</sup>02] Bossaerts, P.; Fine, L.; Ledyard, J.: Inducing Liquidity In Thin Financial Markets Through Combined-Value Trading Mechanisms. European Economics Review 46, 2002, S. 1671-1695.
- [CaPe04] Cantillon, E.; Pesendorfer, M.: Auctioning Bus Routes. In: Cramton, P.; Shoham, Y.; Steinberg, R. (Hrsg): Combinatorial Auctions. MIT Press, noch nicht erschienen: 2004,
- [Capl96] Caplice, C.: An Optimization Based Bidding Process: A New Framework for Shipper-Carrier Relationships. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1996

---

<sup>16</sup> [www.combinatorial-auction.de](http://www.combinatorial-auction.de)

- [Col<sup>+</sup>02] Collins, J.; Ketter, W.; Gini, M.: A multi-agent negotiation testbed for contracting tasks with temporal and precedence constraints. *International Journal of Electronic Commerce* 7, 2002, S. 35-57.
- [CoSa01] Conen, W.; Sandholm, T.: Minimal Preference Elicitation in Combinatorial Auctions. *IJCAI Workshop on Economic Agents, Models, and Mechanisms*, Seattle, August, 2001.
- [dVVo01] de Vries, S.; Vohra, R.: Combinatorial Auctions: A Survey. *INFORMS Journal on Computing* 15, 2001, S. 284-309.
- [ElKe00] Elmaghraby, W.; Keskinocak, P.: Technology for Transportation Bidding at The Home Depot. Arbeitsbericht: School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology: [http://www.isye.gatech.edu/people/faculty/Pinar\\_Keskinocak/home-depot-case.zip](http://www.isye.gatech.edu/people/faculty/Pinar_Keskinocak/home-depot-case.zip), 2000. Abruf am 28.6.2004.
- [Eps<sup>+</sup>02] Epstein, R.; Lysette, H.; Catalan, J.; Weintraub, G.; Martinez, C.: A Combinatorial Auction Improves School Meals in Chile. *Interfaces* 32, 2002, S. 1-14.
- [GrSc93] Graves, R.; Schrage, L.; Sankaran, J.: An auction method for course registration. *Interfaces* 23, 1993, S. 81-92.
- [IsLe00] Ishikida, T.; Ledyard, J.; Olson, M.; Porter, D.; Technology, C. I. o.: Experimental Testbedding of a Pollution Trading System: Southern California's RECLAIM Emissions Market. 2000,
- [KaPa03] Kalagnanam, J.; Parkes, D. C.: Auctions, Bidding and Exchange Design. In: Simchi-Levi, D.; Wu, S. D.; Shen, M. Z. (Hrsg): *Supply Chain Analysis in the eBusiness Area*. Kluwer Academic Publishers: 2003,
- [KaNa01] Kameshwaran, S.; Narahari, Y.: Auction Algorithms for Achieving Efficiencies in Logistics Marketplaces. *Proceedings of the International Conference on Energy, Automation and Information Technology*, 2001.
- [Led<sup>+</sup>02] Ledyard, J.; Olson, M.; Porter, D.; Swanson, J. A.; Torma, D. P.: The first use of a Combined-Value Auction for Transportation Services. *Interfaces* 32, 2002, S. 4-12.
- [McMi94] McMillan, J.: Selling Spectrum Rights. *Journal of Economic Perspectives* 8, 1994, S. 145-162.
- [McMi95] McMillan, J.: Why Auction the Spectrum? *Telecommunications Policy* 19, 1995, S. 191-199.
- [Nisa04] Nisan, N.: Bidding Languages. In: Cramton, P.; Shoham, Y.; Steinberg, R. (Hrsg): *Combinatorial Auctions*. MIT Press, noch nicht erschienen: 2004,
- [Pank03] Pankratz, G.: Zweiseitige kombinatorische Auktionen in elektronischen Transportmärkten – Potenziale und Probleme. Arbeitsbericht: FernUniversität Hagen, Fachbereich Wirtschaftswissenschaft: [ftp://ftp.fernuni-hagen.de/pub/fachb/wiwi/winf/forschng/publi/gp\\_p6.pdf](ftp://ftp.fernuni-hagen.de/pub/fachb/wiwi/winf/forschng/publi/gp_p6.pdf), 2003. Abruf am 28.6.2004.

- [Par<sup>+</sup>01] Parkes, D. C.; Kalagnanam, J.; Eso, M.: Achieving Budget-Balance with Vickrey-Based Payment Schemes in Combinatorial Exchanges. Proceedings of the 17th International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2001.
- [PoSc00] Polk, C.; Schulman, E.: Enhancing the Liquidity of Bond Trading. In: Rosen, J.; Russell, G. (Hrsg): The Handbook of Fixed Income Technology. Summit Group Press: 2000.
- [Ras<sup>+</sup>82] Rassenti, J. S.; Smith, V. L.; Bulfin, R. L.: A Combinatorial Auction Mechanism for Airport Time Slot Allocation. The Bell Journal of Economics 13, 1982, S. 402-417.
- [ReSo03] Regan, A.; Song, J.: An Auction Based Collaborative Carrier Network. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 2003,
- [RoNi00] Ronen, A.; Nisan, N.: Computationally Feasible VCG Mechanisms. Proceedings of the 2nd ACM Conference on Electronic Commerce (ACM EC-00), Minneapolis, 2000, S. 242-252.
- [San<sup>+</sup>02] Sandholm, T.: Algorithm for optimal winner determination in combinatorial auctions. Artificial Intelligence 135, 2002, S. 1-54.
- [Sand02] Sandholm, T.: eMediator: A Next Generation Electronic Commerce Server. Computational Intelligence 18, 2002, S. 656-676.
- [Sch<sup>+</sup>03] Schwind, M.; Stockheim, T.; Rothlauf, F.: Optimization Heuristics for the Combinatorial Auction Problem. Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation CEC 2003, 2003, S. 1588-1595.
- [WuTa00] Wurman, P. R.; Taylor, D.: An XML Schema for the Parameterization of Auctions. Arbeitsbericht: Intelligent Commerce Research Group, North Carolina State University: [http://www.csc.ncsu.edu/faculty/wurman/Auction\\_xsd/Report.doc](http://www.csc.ncsu.edu/faculty/wurman/Auction_xsd/Report.doc), 2000. Abruf am 28.6.2004.
- [Wur<sup>+</sup>98] Wurman, P. R.; Wellman, M. P.; Walsh, W. E.: The Michigan Internet Auction-Bot: A Configurable Auction Server for Human and Software Agents. Proceedings of the Second International Conference on Autonomous Agents, Minneapolis, 1998.
- [Wur<sup>+</sup>01] Wurman, P. R.; Wellman, M. P.; Walsh, W. E.: A Parametrization of the Auction Design Space. Games and Economic Behavior 35, 2001, S. 304-338.
- [Ygg<sup>+</sup>00] Ygge, F.; Wellman, M. P.; Walsh, W. E.: Combinatorial Auctions for Supply Chain Formation. Proceedings of the 2nd ACM Conference on Electronic Commerce (ACM EC'00), Minneapolis, Minnesota, 2000, S. 260-269.