

Arbeitsbericht Nr. 46

**Multi-Agenten-Systeme für die Prozeß-
koordinierung in komplexen Produktionssystemen**

**- Ein Verteiltes Problemlösungskonzept
auf der Basis von Kontraktnetzen -**

von

PD Dr. Stephan Zelewski

Köln 1993

Alle Rechte vorbehalten.

Abstract

Für die Gestaltung dezentraler Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme wird das Konzept des Verteilten Problemlösens vorgestellt. Seine Eigenarten werden anhand von Multi-Agenten-Systemen konkretisiert. Sie dienen dazu, Produktionsprozesse bei Werkstattfertigung oder in Flexiblen Fertigungssystemen zu koordinieren. Die Ausführungen fokussieren sich auf den speziellen Typ der Kontraktnetz-Systeme. Ein produktionswirtschaftliches Beispiel aus dem Bereich der Maschinenbelegungsplanung verdeutlicht, wie die Agenten eines Kontraktnetz-Systems zusammenwirken können.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Dezentrale Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme 1
2	Überblick über das Konzept des Verteilten Problemlösens 6
2.1	Grobcharakterisierung 6
2.2	Verfeinerung durch Multi-Agenten-Systeme 12
3	Kontraktnetz-Systeme für die Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen 18
3.1	Überblick 18
3.2	Konkretisierung für Aufgaben der Prozeßkoordinierung 19
3.2.1	Grobkonzept 19
3.2.2	Verfeinerung durch Verhandlungsprotokolle 22
3.2.3	Rollenverteilung der Agenten 23
3.2.3.1	Manager/Kontraktor-Variante 23
3.2.3.2	Koordinator-Variante 27
3.2.4	Agentenopportunismus und -kooperation 30
4	Ein verdeutlichendes Beispiel 32
4.1	Einführung 32
4.2	Koordinierung durch Prioritätsregeln 34
4.3	Marktähnliche Koordinierung 35
4.4	Koordinierung mit strategischem Agentenverhalten 37
5	Literatur 40

1 Dezentrale Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme

Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme (PPS-Systeme) werden in der Regel als zentrale Instanzen, z.B. als Leitstandsysteme, verwirklicht. Diese zentralen Realisierungsformen stoßen jedoch in der betrieblichen Praxis rasch an immanente Grenzen. Sie beruhen vor allem auf drei Gründen, die sich zum Teil miteinander überlappen. Erstens werden Komplexitätsprobleme realer Produktionssysteme nur unvollständig bewältigt. Zweitens ist es oftmals nicht möglich, auf unvorhergesehene Produktionsstörungen adäquat zu reagieren¹⁾. Drittens bleiben Aspekte der Mitarbeitermotivation im Werkstattbereich²⁾ zumeist unbeachtet³⁾.

Daher wird schon seit geraumer Zeit die Vorstellung dezentraler PPS-Systeme propagiert⁴⁾. Im Vordergrund steht dabei die Überzeugung, daß dezentrale Konzepte für die Bewältigung komplexer Koordinierungsprobleme grundsätzlich die größten Erfolgsaussichten bieten. Hinzu tritt die Erwartung, daß es mit zunehmender Komplexitätsbewältigung gelingen wird, auf unvorhergesehene Produktionsstörungen adäquat zu reagieren⁵⁾. Ebenso wird damit gerechnet, zur

1) An eine adäquate Reaktion werden hier zwei Anforderungen gestellt. Einerseits soll die Reaktion nicht willkürlich und ad hoc, sondern in systematischer Weise erfolgen. Zweitens soll die Art der Reaktion aus den Spezifika der jeweils vorliegenden Produktionsstörung abgeleitet werden. In der betrieblichen Praxis verstößt das "Störungsmanagement" jedoch gegen mindestens eine der beiden Anforderungen. So werden einerseits durchaus störungsspezifische Anpassungsmaßnahmen eingeleitet. Aber sie werden von erfahrenen Werkstattmitarbeitern "vor Ort" ad hoc ergriffen. Eine systematische Maßnahmenplanung erfolgt nicht. Andererseits wird bei größeren Störungen oder nach Ablauf fester Zeitintervalle eine systematische Neuplanung vorgenommen (revolvierende Planung). Im Gegensatz zu einer störungsspezifischen Anpassungsplanung beachtet eine solche Neuplanung aber nicht die Besonderheiten der jeweils eingetretenen Produktionsstörung. Statt dessen erfolgt die Neuplanung jedes Mal auf die gleiche, störungsunspezifische Art. Die Schwierigkeiten, den beiden Anforderungen an adäquate Reaktionen bei Produktionsstörungen gerecht zu werden, lassen sich u.a. auf die erhebliche Komplexität der gestörten Produktionssysteme zurückführen. In dieser Hinsicht hängt der zweite Grund für die Defekte zentraler PPS-Systeme mit dem vorgenannten Komplexitätsaspekt eng zusammen.

2) Mit der Bezeichnung "Werkstattbereich" wird hier lediglich derjenige Bereich eines Produktionssystems angesprochen, in dem die ausführenden, unmittelbar "produktiven" Tätigkeiten erfolgen. Dagegen wird der Werkstattbereich keineswegs auf den speziellen Geltungsbereich des Organisationstyps einer "Werkstattfertigung" eingeschränkt.

3) Die zentrale Vorgabe von Arbeitsaufträgen wird von Mitarbeitern im Werkstattbereich oftmals als unliebsame Fremdbestimmung empfunden. Vgl. MANSKE (1986), S. 91, 95 u. 96f. Bemühungen, den Mitarbeitern größere Dispositionsspielräume zu gewähren, scheitern in der Regel daran, daß die wechselseitige Gesamtkoordinierung der dezentral disponierenden Arbeitskräfte nicht mehr zufriedenstellend gelingt. Auch hier wirkt sich abermals die Komplexität realer Produktionssysteme als retardierendes Moment aus: Sie erschwert die systemübergreifende Koordinierung aller Produktionsprozesse so sehr, daß in der betrieblichen Praxis kaum nennenswerte Freiräume für dezentral disponierende Mitarbeiter im Werkstattbereich gesehen werden.

4) Vgl. dazu die vielfachen Beiträge, die sich - zumindest dem Anspruch nach - mit der Thematik dezentraler PPS-Systeme befassen. Dabei wird zwischen dezentralen und verteilten PPS-Systemen nicht näher unterschieden, solange nicht speziell das Konzept des Verteilten Problemlösens involviert ist. Dies ist aber bei keiner der nachstehend angeführten Quellen der Fall. Als Auswahl seien hier exemplarisch genannt: ELORANTA (1985a), S. 107ff.; ELORANTA (1985b), S. 413ff.; FRANCK (1985), S. 490ff.; SCHEER (1985), S. 33(ff.); MANSKE (1986), S. 92ff.; LOOS (1986), S. 7ff.; SCHEER (1986), S. 43f.; EIDENMÜLLER (1986), S. 631ff.; ZÄPFEL (1987), S. 885ff.; BURGARD (1987), S. 26ff.; HELBERG (1987), S. 8 u. 171ff.; HÄMMÄINEN (1987), S. 283 u. 291ff.; HABICH (1988), S. 4ff.; SCHEER (1988a), S. 43ff.; PFEFFER (1988), S. 49f.; ZÄPFEL (1989a), S. 198ff.; ZÄPFEL (1989b), S. 33ff.; HERTERICH (1989a), S. 12ff.; HERTERICH (1989b), S. 19ff.; KURBEL (1989), S. 477ff.; MABBERG (1989), S. 159ff.; HELLWIG (1989), S. 525ff.; LOTZ (1989), S. 139f.; MATTHES (1989), S. 498; WILDEMANN (1989), S. 40f. u. 43; SCHEER (1990), S. 361ff.; KÖHL (1990), S. 33ff.; OLBRICHT (1990), S. 307ff.; HACKSTEIN (1991), S. 70ff.; WIENDAHL (1991), S. 166ff.; OBERMEIER (1991), S. 45ff.; ZIMMERMANN (1991), S. 106; SCHEER (1991), S. 10f. (dort noch indirekt als PPS-Systeme für autonome, sich selbst steuernde Produktionseinheiten) u. S. 13f.; ZÄPFEL (1992), S. 1.

5) Bereits in einer der voranstehenden Anmerkungen wurde darauf aufmerksam gemacht, daß sich Adäquanzprobleme bei der Reaktion auf Produktionsstörungen zum Teil mit der Komplexität der gestörten Produktionssysteme begründen läßt.

Motivation der Mitarbeiter im Werkstattbereich durch Gewährung größerer Dispositionsspielräume nachhaltig beizutragen⁶).

Einen vielversprechenden Ansatz zur dezentralen Koordinierung⁷) von Produktionsprozessen stellt das Konzept des Verteilten Problemlösens⁸) dar. Es wurde im Zusammenhang mit der Erforschung Künstlicher Intelligenz (KI) entwickelt. Dabei spielten Produktionsprozesse als potentielle Koordinierungsobjekte durchaus schon eine beachtenswerte Rolle⁹).

6) Vgl. MANSKE (1986), S. 105 i.V.m. S. 98 u. 107f.

7) Als gemeinsamer Oberbegriff für Planung und Steuerung wird in diesem Beitrag der Begriff der Koordinierung verwendet. Die Koordinierung von Produktionsprozessen (kurz: Prozeßkoordinierung) erstreckt sich daher auf die gleichen Inhalte wie die Planung und Steuerung von Produktionsprozessen durch PPS-Systeme.

8) Vgl. zum Konzept des Verteilten Problemlösens (distributed artificial intelligence, distributed problem solving, cooperative distributed processing u.ä.) YONEZAWA (1977), S. 370ff.; HEWITT (1978b), S. 367f.; LESSER (1979), S. 537ff.; CORKILL (1979), S. 168ff.; SMITH,R. (1979), S. 836ff.; KONOLIGE (1980), S. 138ff.; SACERDOTI (1980), S. 9ff.; CHANDRASEKARAN (1981), S. 1ff.; GOMEZ (1981), S. 38ff.; CULLINGFORD (1981), S. 52ff.; SMITH,R. (1981a), S. 61ff.; SMITH,R. (1981b), S. 2ff.; LESSER (1981), S. 81ff., insbesondere S. 84ff.; DAVIS,R. (1981), S. 5ff.; WESSON (1981), S. 5ff., insbesondere S. 18f.; STEEB (1981); THORNDYKE (1981), S. 171ff.; MCARTHUR (1982), S. 181ff.; RAULEFS (1982a), S. 90 u. 94; RAULEFS (1982b), S. 183; DAVIS,R. (1983), S. 64ff.; LESSER (1983), S. 15ff.; CORKILL (1983), S. 748ff.; RAJARAM (1983), S. 135ff.; DAVIS,L. (1983), S. 218ff.; CAMMARATA (1983), S. 768ff.; SHAW (1984), S. 13ff., 18ff. u. 119ff.; FUTO (1984), S. 121ff.; HEWITT (1984), S. 147f., 152 u. 156f.; DURFEE (1985), S. 1025ff.; DE (1985), S. 1ff. u. 103ff.; HEWITT (1985), S. 223 u. 233ff.; BUNGERS (1985), S. 52f.; STEEB (1986), S. 391ff.; ZELEWSKI (1986), S. 1222ff.; DECKER (1987), S. 729ff. (eine aufschlußreiche Systematisierung des Bereichs "Verteilte Künstliche Intelligenz" mit Verteiltem Problemlösen als wohldefiniertem Teilbereich); DURFEE (1987a), S. 875ff.; DURFEE (1987b), S. 29ff., insbesondere 34ff.; SHAW (1987a), S. 14ff.; GREEN (1987), S. 153ff. (mit einem interessanten Brückenschlag zu objektorientierten Systemen auf der Grundlage von "Activation Framework Objects" auf S. 156 u. 158ff.); KOBAYASHI (1987), S. 21ff.; NII (1988), S. 475ff.; FUM (1987), S. 33ff.; BOND (1988b), S. 3ff. (ein breit angelegter Überblick über die verschiedensten Forschungsrichtungen und -beiträge im Bereich des Verteilten Problemlösens); DURFEE (1988a), S. 268ff.; DURFEE (1988b), S. 285ff.; DURFEE (1988c), S. 66ff.; DURFEE (1988d), S. 2ff.; LESSER (1988a), S. 353ff.; VAN DYKE PARUNAK (1988), S. 226ff.; BRODE (1988), S. 543ff.; ANZAI (1988), S. 1025ff.; DAVIS,J. (1988), S. 33ff.; SUDA (1988), S. 161ff.; FUJI (1988), S. 93ff.; KAMEL (1988), S. 367ff. (aus spezieller Planungsperspektive); MATTERN (1988), S. 545ff., insbesondere S. 553ff.; SHEN (1989), S. 477ff.; BOLTE (1989), S. 4ff.; HERTZBERG (1989), S. 194ff. (dort allerdings aus dem speziellen Blickwinkel des verteilten Planens); HYNYNEN (1989a), S. 142ff.; HYNYNEN (1989b), S. 257ff.; MERTENS (1989c), S. 839ff.; MERTENS (1989d), S. 1ff.; WITTIG (1989), S. 488ff.; DEMAZEAU (1990b), S. 3ff.; DURFEE (1990), S. 86ff.; ALBAYRAK (1990b), S. 78ff.; CONRY (1990), S. 78ff.; BOLTE (1990), S. 2f. u. 5ff.; KNIESEL (1990), S. 177ff., insbesondere S. 185ff.; MEYER (1990), S. 68ff. u. 179ff.; SUNDERMEYER (1990), S. 11ff.; HEIN (1991), S. 682ff. (ein leicht verständlicher und zugleich gehaltvoller Überblicksbeitrag); KOTSCHENREUTHER (1991), S. 6ff.; KRALLMANN (1991a), S. 26ff.; KRALLMANN (1991b), S. 193ff.; WOITASS (1991), S. 21ff.; HENDLER (1991), S. 553f.; BOLTE (1991), S. 36ff.; ZELEWSKI (1991), S. 260ff.; KIRN (1992b), S. 391ff. (ein kompakter, systematisch angelegter Überblicksbeitrag); VON MARTIAL (1992), S. 6ff.; AMAN (1992), S. 250ff.; BURMEISTER (1992a), S. 12ff.; LIROV (1992), S. 2; PAPAZOGLU (1992), S. 36f.; BOCIONEK (1992), S. 40ff.; BOMARIUS (1992), S. 43f.; MÜLLER (1992b), S. 57f.; CREMERS (1992), S. 15ff. (nur am Rande wegen starker informationstechnischer Orientierung, am ehesten noch die Andeutungen auf S. 19 zum "cooperation layer"). Vgl. auch die weiteren Beiträge in den Sammelwerken HUHN (1987), BOND (1988a), GASSER (1988b), DEMAZEAU (1990a) und BRAUER (1991), S. 6ff. u. 30ff. Schließlich ist auf die überaus reichhaltigen Bibliographien zum Verteilten Problemlösen hinzuweisen, die JAGANNATHAN (1986), S. 44ff. (annotierte Bibliographie), und BOND (1988c), S. 37ff. (thematisch strukturierte Bibliographie), vorgelegt haben.

9) Eine stattliche Anzahl von Beiträgen thematisiert Verteiltes Problemlösen im Kontext von Produktionsplanungs- und -steuerungsaufgaben. Vgl. SHAW (1984), S. 1ff., 127ff. u. 132ff.; SHAW (1985), S. 184ff.; SMITH,S. (1985), S. 1013ff.; VAN DYKE PARUNAK (1985), S. 653ff.; DE (1985), S. 103ff.; VAN DYKE PARUNAK (1986), S. 305ff.; SHAW (1986), S. 238; VAN DYKE PARUNAK (1987), S. 285ff.; MUSCETTOLA (1987), S. 1063ff.; SHAW (1987a), S. 14ff.; DECKER (1987), S. 737f.; KRALLMANN (1987), S. 131; BAKER (1988), S. 100ff.; VAN DYKE PARUNAK (1988), S. 225f. u. 230ff.; VILLA (1988), S. 357ff.; SHAW (1988a), S. 137ff.; SHAW (1988b), S. 89ff.; SHAW (1988c), S. 85ff.; O'GRADY (1988), S. 846ff.; CHAUDHURY (1988), S. 268ff., insbesondere S. 270ff.; LEE (1988), S. 383f. u. 386ff., insbesondere S. 388ff. (Generierung von nebenläufigen Arbeitsplänen); KAMEL (1988), S. 367ff., insbesondere S. 375ff. (Generierung von nebenläufigen Arbeitsplänen für ein Multi-Roboter System); KING (1988a), S. 430f.; KING (1988b), S. 1012ff.; MERTENS (1988a), S. 15ff.; MERTENS (1988c), S. 24ff.; MERTENS (1989a), S. 6ff.; MERTENS (1989c), S. 842ff.; MERTENS (1989d), S. 1 u. 4ff.; HYNYNEN (1989b), S. 257ff., insbesondere S. 265; MEYER (1989),

Allerdings wurden bisher nur einige wenige Systeme mit Verteiltem Problemlösungsvermögen tatsächlich implementiert, die speziell für dezentrale Prozeßkoordinierungen in Produktionssystemen ausgelegt sind. Größere Aufmerksamkeit hat bis heute nur das Exemplar YAMS¹⁰⁾ erfahren¹¹⁾. Es dient der Produktionssteuerung bei Werkstattfertigungen und in Flexiblen Fertigungssystemen. Ein zweites System, das unter dem Namen CCS¹²⁾ bekannt wurde, hat dagegen weit weniger Widerhall gefunden¹³⁾. Das DREAM-System¹⁴⁾ ist bislang in produktionswirtschaftlichen Kreisen sogar vollkommen ignoriert worden. Angesichts dieser ins-

S. 688f. u. 695ff.; BOLTE (1989), S. 26; COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1989), S. III-8f.; VAN DYKE PARUNAK (1990), S. 81ff.; ALBAYRAK (1990a), S. 170f. u. 189ff.; ALBAYRAK (1990b), S. 89ff.; HILDEBRAND (1990), S. 37ff.; WEBER (1990), S. 59ff.; MEYER (1990), S. 66ff.; HÄMMÄINEN (1990), S. 246f.; ZELEWSKI (1990), S. 60f.; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 23ff. (mit mehreren einprägsamen Beschreibungen von Verteilten PPS-Systemen auf S. 26ff.); FISCHER (1991), S. 143ff. (bemerkenswerte Gestaltung einer Prozeßsteuerung für Flexible Fertigungssysteme auf der Basis von Multi-Agenten-Systemen); RAULEFS (1991), S. 6ff. (ein konzeptioneller Entwurf); AYEL (1991), S. 34ff.; WEIGELT (1991), S. 113ff.; KRALLMANN (1991a), S. 28ff.; KRALLMANN (1991b), S. 196ff. u. 207ff.; ZELEWSKI (1991), S. 260ff.; HEIN (1991), S. 682, 708f. u. 714; AMAN (1992), S. 249ff.; ALBAYRAK (1992), S. 64ff., insbesondere S. 66ff.; KIRN (1992b), S. 395ff. (allerdings werden PPS-Systeme nur recht oberflächlich thematisiert); BOCIONEK (1992), S. 40; BOMARIUS (1992), S. 44; MÜLLER (1992b), S. 57f.; KÖNIG (1992), S. 37 u. 40. Vgl. auch die bibliographischen Hinweise in BOND (1988c), S. 39 i.V.m. S. 42ff. zum Stichwort "Manufacturing domains". Eine produktionsnahe Anwendung des Konzepts Verteilten Problemlösens wird auch in CARDOZO (1988), S. 235ff., insbesondere S. 239ff., beschrieben. Allerdings geht es dort darum, Hypothesen über plausible Störungsursachen in komplexen technischen Systemen (speziell: Elektrizitätsnetzen) auf verteilte Weise zu generieren.

10) YAMS steht für: Yet Another Manufacturing System.

11) Das Produktionssteuerungssystem YAMS wurde ursprünglich von VAN DYKE PARUNAK und Mitarbeitern entwickelt. Vgl. VAN DYKE PARUNAK (1985), S. 653ff.; VAN DYKE PARUNAK (1986), S. 306f.; VAN DYKE PARUNAK (1987), S. 288ff.; VAN DYKE PARUNAK (1988), S. 230ff.; VAN DYKE PARUNAK (1990), S. 82ff. Darüber hinaus wird es auch in zahlreichen derjenigen Quellen angesprochen, die in der vorletzten Anmerkung angeführt wurden. Vgl. z.B. DECKER (1987), S. 737f.; MERTENS (1988a), S. 17ff.; MERTENS (1988c), S. 25ff.; OW (1988), S. 45f.; MERTENS (1989a), S. 7ff.; MERTENS (1989c), S. 846; MERTENS (1989d), S. 10; BOLTE (1989), S. 26; KRALLMANN (1991b), S. 196ff.; HEIN (1991), S. 708f.; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 26. Das Produktionssteuerungssystem YAMS realisiert das Konzept Verteilten Problemlösens auf der Basis von Multi-Agenten-Systemen mit der Hilfe einer Kontraktnetzvariante (Näheres zu beiden Aspekten später). Dabei wird eine Werkstatt oder ein Flexibles Fertigungssystem als ein Netzwerk aus Bearbeitungsstationen (Maschinenzellen) dargestellt. Die Stationen sind durch Transportstrecken verbunden, auf denen mobile Transportvorrichtungen verkehren. Aufträge werden vom Steuerungssystem YAMS durch ein Produktionssystem geschleust, indem zwischen den Knoten des Werkstatt- oder Flexiblen Fertigungsnetzes Kontrakte ausgehandelt werden.

12) CCS steht für: Cooperative Scheduling System.

13) Das Exemplar CCS wurde von OW, SMITH und HOWIE präsentiert. Vgl. OW (1988), S. 43ff., insbesondere S. 46ff. Vgl. auch seine Besprechung bei KOTSCHENREUTHER (1991), S. 26ff. Wie sein Verwandter YAMS beruht das CCS-System auf einer Kontraktnetz-Architektur. Ebenso zielt es auf die Steuerung von Produktionsprozessen bei Werkstattfertigungen ab. Seine konkrete Ausgestaltung weist zahlreiche Parallelen zu den Entwürfen von Multi-Agenten-Systemen auf, die in diesem Beitrag für Maschinenbelegungsplanungen skizziert werden.

14) DREAM steht für: Distributed Reactive Management. Nähere Auskünfte über dieses System und seine Verankerung im Konzept des Verteilten Problemlösens finden sich bei HYNYNEN (1989a), S. 147ff.; HYNYNEN (1989b), S. 258ff., und RAULEFS (1989), S. 462ff. Es handelt sich wie das Exemplar YAMS um ein Multi-Agenten-System, beruht aber nicht auf dem Konzept der Kontraktnetze.

gesamt geringen Resonanz überrascht es nicht, daß das Konzept des Verteilten Problemlösens bislang noch keine größere produktionswirtschaftliche Beachtung erfahren hat¹⁵⁾.

Die nachfolgenden Ausführungen zielen daher darauf ab, die produktionswirtschaftliche Gestaltung dezentraler PPS-Systeme zu befruchten. Es geht darum, Möglichkeiten aufzuzeigen, wie sich die Systemgestaltung durch Erkenntnisse der KI-Forschung über Verteiltes Problemlösen bereichern läßt.

Viele Anzeichen deuten schon heute darauf hin, daß in Zukunft die computergestützte dezentrale Bewältigung von Aufgaben wegen ihrer Flexibilitätsvorteile und großen Benutzerakzeptanz generell an Bedeutung gewinnen wird. In dieser allgemeinen, nicht speziell auf produktionswirtschaftliche Interessen zugeschnittenen Perspektive werden den Ansätzen für Verteiltes Problemlösen erhebliche Zukunftschancen eingeräumt¹⁶⁾. Ein deutliches Indiz stellt das Schwerpunktprogramm "Verteilte DV-Systeme in der Betriebswirtschaft" dar, das in jüngster Zeit seitens der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird¹⁷⁾. Obwohl dieses DFG-Schwerpunktprogramm maßgeblich von Wirtschaftsinformatikern getragen wird, befassen sich einige seiner Einzelprojekte speziell mit dem Aspekt dezentraler PPS-Systeme¹⁸⁾.

15) Lediglich MERTENS hat schon mehrfach auf das produktionswirtschaftliche Anwendungspotential von Systemen aufmerksam gemacht, die auf dem Konzept des Verteilten Problemlösens (oder der Verteilten Künstlichen Intelligenz) beruhen. Vgl. dazu die mehrfachen Nennungen der Beiträge von MERTENS in den voranstehenden Anmerkungen. Z.B. stellt MERTENS (1989a), S. 6, fest: "Eine beginnende Entwicklung mit erheblichem theoretischen Reiz, freilich noch begrenzter Bedeutung in der Praxis, ist die Verknüpfung von verteilter ... PPS mit DAI (Distributed Artificial Intelligence)." Allerdings steht MERTENS - wie auch KRALLMANN - dem Lager der Wirtschaftsinformatiker wesentlich näher als dem Kreis der Produktionswirtschaftler. Daher kann an der oben geäußerten These, das Konzept des Verteilten Problemlösens habe bislang keine größere produktionswirtschaftliche Würdigung erfahren, ohne Bedenken aufrechterhalten werden.

16) Vgl. z.B. CHANG (1987), S. 312 ("an emerging research area"); DECKER (1987), S. 738 ("Distributed problem solving is undergoing a great deal of scrutiny and interest ..."); MÜLLER (1992a), S. 5; BOMARIUS (1992), S. 44 ("Phase der Expansion"); BURMEISTER (1992c), S. 98 ("Das Gebiet der Verteilten KI ... ist auf dem Weg eines der wichtigsten Forschungs- und Anwendungsfelder im Bereich der Künstlichen Intelligenz zu werden."; Zeichensetzung wie im Original). Des weiteren belegt eine Vielzahl von Arbeitsgruppen, die sich in jüngster Zeit mit Verteiltem Problemlösen, Verteilter Künstlicher Intelligenz, Verteilten Systemen u.ä. befassen, daß ein bemerkenswertes Interesse am Konzept des Verteilten Problemlösens im weitesten Sinne besteht. Vgl. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1989), S. III-8f. (Distributed Management Systems); o.V. (1990), S. 127 (Autonome Kooperierende Agenten); o.V. (1991), S. 1ff. (European Special Interest Group on Distributed Systems); MÜLLER (1992a), S. 5 (Arbeitskreis Verteilte Künstliche Intelligenz); o.V. (1992c), S. 76 (Arbeitskreis Verteilte KI).

17) Eine ausführliche Projektbeschreibung findet sich in KÖNIG (1992), S. 34ff. Die erste Plenarveranstaltung fand am 25. und 26. Februar 1992 an der Technischen Universität Dresden statt. Vgl. o.V. (1992a). In ähnlicher Richtung agierte auch die Wissenschaftliche Kommission "Produktionswirtschaft" im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft. Sie initiierte im Jahr 1992 ein DFG-Projekt, das ursprünglich den Arbeitstitel "Dezentrale Planungs- und Steuerungssysteme" trug. Vgl. o.V. (1992b), S. 16. Aus wissenschaftspolitischen Erwägungen, die insbesondere auf eine Abgrenzung gegenüber dem o.a. DFG-Schwerpunktprogramm abzielten, erfolgte jedoch eine Umbenennung in "Betriebswirtschaftliche Gestaltung von Planung und Steuerung moderner Produktion". Allerdings haben sich die Anträge des revidierten Schwerpunktprogramms - bis auf das Einzelprojekt von ZÄPFEL - von der ursprünglichen Fokussierung auf *dezentrale* PPS-Systeme weitgehend abgekoppelt. Statt dessen befassen sie sich nunmehr in großer, mitunter auch recht großzügig ausgelegter inhaltlicher Spannweite mit unterschiedlichsten Aspekten "moderner Produktion". Da der Ausgangspunkt der Dezentralisierung vollkommen in den Hintergrund getreten ist, wird auf das DFG-Schwerpunktprogramm der Wissenschaftlichen Kommission "Produktionswirtschaft" im folgenden nicht weiter eingegangen.

18) Es handelt sich vor allem um das Projekt "Entwicklung und Simulation von Konzepten zur Steuerung sowie vertikalen und horizontalen Koordination parallel arbeitender dezentraler Werkstattsteuerungssysteme auf Parallelrechnern" von ROSENBERG und ZIEGLER (an den Universitäten Paderborn und Passau). Vgl. KÖNIG (1992), S. 40. Daneben kann zum Bereich dezentraler Koordinierung von Produktionsprozessen bei großzügiger Auslegung auch das Projekt "Weiterentwicklung der Theorie teilintelligenter Agenten für Aufgaben in der Logistik" gerechnet werden, das unter der Leitung von MERTENS (Universität Erlangen-Nürnberg) durchgeführt wird. Vgl. ebenso KÖNIG (1992), S. 40.

Es könnten Bedenken erhoben werden, die originär produktionswirtschaftliche Thematik dezentraler PPS-Systeme nicht ausschließlich seitens der Wirtschaftsinformatik "besetzen" zu lassen¹⁹⁾. Nicht zuletzt aus dieser Motivation heraus bemüht sich der vorliegende Beitrag darum, das Einsatzpotential des Verteilten Problemlösens für dezentrale Koordinierungen von Produktionsprozessen ausführlicher zu würdigen.

19) Der dominante informationstechnische Charakter des DFG-Schwerpunktprogramms "Verteilte DV-Systeme in der Betriebswirtschaft" wird bei KÖNIG (1992), S. 35ff., sehr deutlich.

2 Überblick über das Konzept des Verteilten Problemlösens

2.1 Grobcharakterisierung

Derzeit bestehen weitreichende Meinungsunterschiede darüber, durch welche Eigenschaften sich das Konzept des Verteilten Problemlösens²⁰⁾ gegenüber anderen Koordinierungskonzepten auszeichnet²¹⁾. Die fehlende Konsolidierung der Vorstellungen darüber, was den konzeptionellen Kern - die "Essenz" - des Verteilten Problemlösens darstellt, öffnet letztlich der Beliebigkeit die Tore. So droht sich eine ähnliche Entwicklung zu wiederholen, die vor kurzer Zeit den Begriff "Expertensystem" in Verruf brachte: Ein Begriff, der mit Assoziationen wie "fortschrittlich" oder "neuartig" belegt ist, fordert bei hinreichender inhaltlicher Unschärfe geradezu heraus, als wohlfeiles Etikett für letztlich beliebige Forschungsprojekte und Softwareprodukte mißbraucht zu werden. Diese persuasive Strategie läßt sich zur Zeit auch schon im Bereich des Verteilten Problemlösens beobachten²²⁾. Daher erscheint es angezeigt, sich zunächst um eine inhaltliche Konkretisierung für Verteiltes Problemlösen zu bemühen. Sie läßt sich in einer groben Annäherung anhand von vier Thesen vortragen:

- ① Agenten-These: Verteiltes Problemlösen läßt sich stets darauf zurückführen, daß mehrere teilautonome Agenten²³⁾ bei der Erfüllung einer gemeinsamen Aufgabe²⁴⁾ zusammenwirken²⁵⁾.

20) Vgl. zum Konzept des Verteilten Problemlösens die Quellen, die bereits in der Anmerkung 8) angeführt wurden.

21) Daher überrascht es nicht, daß mitunter über die inhaltliche Unschärfe des Konzepts Verteilten Problemlösens geklagt wird. Zuweilen wird auch bemängelt, es existierten zwar zahlreiche Vorstellungen über "den" Gehalt Verteilten Problemlösens, doch schlossen sich diese gegenseitig aus. Vgl. zu solchen Vorhaltungen FUJI (1988), S. 94 (indirekt durch den Hinweis auf die inkonsequente Ausgrenzung von konnektionistischen Ansätzen, die oftmals als Neurale Netzwerke thematisiert werden); SUNDERMEYER (1990), S. 11 ("Eine allgemeinverbindliche Definition ... gibt es bislang nicht."); CONNAH (1990), S. 197 (allerdings nur in bezug auf den Agentenbegriff); SYRING (1991), S. 547; BOCIONEK (1992), S. 42 (Inkompatibilitätsvorwurf); Vgl. BOMARIUS (1992), S. 44 (Fehlen einer konsolidierten begrifflichen Grundlage). Des öfteren wird auch ganz darauf verzichtet, inhaltlich zu präzisieren, was unter Verteiltem Problemlösen verstanden werden soll. Unter diesem Definitionsmangel leidet z.B. auch das DFG-Schwerpunktprogramm "Verteilte DV-Systeme in der Betriebswirtschaft". In den programmatischen Ausführungen von KÖNIG (1992), S. 34ff., findet sich nirgends eine präzise Festlegung, wie sich "Verteilte DV-Systeme" von anderen Informationsverarbeitungssystemen unterscheiden. Allenfalls kann aus den Andeutungen auf S. 35 entnommen werden, Verteilte DV-Systeme gingen aus der räumlichen oder funktionalen Verteilung von Informationsverarbeitungsaufgaben auf verschiedene Informationsverarbeitungsanlagen hervor. Falls hierin die Eigenart Verteilter DV-Systeme gesehen werden sollte, dann ist deutlich hervorzuheben, daß dieses Verteilungsverständnis im hier vorgelegten Beitrag nicht vertreten wird. Denn es beruht auf einer rein *informationstechnisch* geprägten Perspektive, die sich ausschließlich mit der Implementierung von Informationsverarbeitungssystemen befaßt. Anhand des Spezialfalls der Client/Server-Konzepte wird später erläutert, warum es aus *betriebswirtschaftlichem* Blickwinkel uninteressant erscheint, sich auf solche implementierungstechnischen Aspekte zu kaprizieren. Um das hier bevorzugte, dezidiert betriebswirtschaftliche Verteilungsverständnis hervorzukehren, wird auch nicht von Verteilten *DV-Systemen*, sondern von Verteiltem *Problemlösen* gesprochen.

22) So stellen BOMARIUS, BURT und LUX mit Bezug auf Verteilte Künstliche Intelligenz (VKI) fest: "Nicht alles, was zur Zeit unter dem Label VKI läuft, gehört auch wirklich zu diesem Gebiet." (BOMARIUS (1992), S. 44). An anderer Stelle werfen sie die rhetorische Frage auf, ob es sich bei Multi-Agenten-Systemen vielleicht nur um einen "modischen Trend" handele (BOMARIUS (1992), S. 43)

23) Der Agentenbegriff wird beim Konzept des Verteilten Konzeptlösens mitunter in sehr unterschiedlicher Weise ausgelegt. Vgl. z.B. SUNDERMEYER (1990), S. 12f.; CONNAH (1990), S. 197; WOITASS (1991), S. 37; SYRING (1991), S. 547. Dieser Aspekt wird aber hier nicht weiter vertieft. Statt dessen wird ein Agent in einem schlichten, rein intuitiven Verständnis als eine Einheit aus einem Automatischen Informationsverarbeitungssystem aufgefaßt, die zur selbständigen Ausführung von informationsverarbeitenden Prozessen imstande ist. Detaillierte Erläuterungen des Agentenbegriffs finden sich im Kontext des Verteilten Problemlösens z.B. bei LIZOTTE (1990), S. 122.

24) Es mag hier angesichts der Thematik "Verteiltes Problemlösen" verwundern, daß von einer "Aufgabe" und nicht von einem "Problem" gesprochen wird. Diese sprachliche Nuancierung erfolgt aus zwei Gründen. Der erste stellt die normative und kommunikationserleichternde Kraft von etablierten Terminologien in Rechnung. So hat sich einerseits der Begriff des Verteilten Problemlösens im Bereich der KI-Forschung als "distributed problem solving" weithin verfestigt. Andererseits herrscht in betriebswirtschaftlichen Argumentationskontexten eine Sprechweise vor, die sich vornehmlich auf die Erfüllung, Übertragung, Zerlegung usw. von Aufgaben bezieht. Der Verfasser folgt hier der betriebswirtschaftlichen Diktion, hält jedoch am etablierten Terminus *technicus* des Verteilten Problemlösens fest. Zweitens droht sprachliche Konfusion, wenn von "Problemen" die Rede ist, die sich bei der Anwendung des Konzepts Verteilten Problemlösens einstellen können. Denn in diesem Fall liegen Probleme auf zwei unterschiedlichen Sprachebenen vor: Einerseits gilt es, auf der Objektebene jene Probleme zu erörtern, die mit Hilfe von Verteilten Problemlösungsprozessen bearbeitet werden sollen. Andererseits interessieren auf der Metaebene, auf der über das Konzept Verteilten Problemlösens verhandelt wird, die speziellen Probleme dieses Problemlösungskonzepts. Also müßte strenggenommen zwischen Problemen der Objektebene (Objektproblemen) und Problemen der Metaebene (Metaproblemen) unterschieden werden. Dies würde jedoch zu recht umständlichen Formulierungen führen. Würde darauf verzichtet, so drohte die Konfundierung von Objekt- und Metaproblemen zu sprachlicher Unübersichtlichkeit zu führen. Ein prägnantes Beispiel dafür liefert ein bemerkenswert vielschichtiges Zitat aus SMITH, R. (1981a), S. 69: "... one of the major *unsolved problems* in distributed *problem solving* ..." (kursive Hervorhebungen durch den Verfasser). Um Merkwürdigkeiten dieser Art zu vermeiden, hat sich der Verfasser entschlossen, die Probleme der Objektebene als Aufgaben zu benennen. Die Probleme der Metaebene werden dagegen weiterhin als Probleme thematisiert. Allerdings hat sich der Verfasser nicht zu der sprachlichen Konsequenz durchzuringen vermocht, vom Konzept des Verteilten Aufgabenlösens zu sprechen. Der zuerst angeführte Grund, den Anschluß an etablierte Terminologien zu wahren, sprach dagegen.

25) Ähnliche Charakterisierungen des Verteilten Problemlösens finden sich bei CORKILL (1983), S. 748 ("Cooperative distributed problem solving systems are distributed networks of semi-autonomous processing nodes that work together to solve a *single problem*."); LESSER (1983), S. 15 ("We broadly define distributed problem solving networks as distributed networks of semi-autonomous problem solving nodes ... that are capable of sophisticated problem solving and cooperatively interact with other nodes to solve a single problem."; kursive Hervorhebungen des Originals hier unterlassen); DECKER (1987), S. 729 ("The goal of distributed problem solving is to create a team of coarse-grained cooperating agents that act together to solve a single task ..."); NII (1988), S. 475 ("A concurrent problem-solving system is a network of ... semi-autonomous computing agents that solve a single problem."; kursive Hervorhebung des Originals hier unterlassen); DURFEE (1987b), S. 30 ("A network of ... problem solvers perform *distributed problem solving* by cooperating as a team to solve a single problem."); LESSER (1988a), S. 353 (siehe LESSER (1983)); BOND (1988b), S. 4 ("focused on how a collection of agents can interact to solve a single common 'global' problem"); DURFEE (1988d), S. VII ("Distributed problem-solving systems are ... defined as loosely-coupled, distributed networks of semi-autonomous problem-solving agents that perform sophisticated problem solving and cooperatively interact to solve problems."); KNIESEL (1990), S. 177 ("Distributed problem solving, regarded as the solution of problems by cooperation of autonomous problem solving agents ..."); DEMAZEAU (1990b), S. 3 ("Distributed ... Artificial Intelligence ... is concerned with the collaborative solution of global problems by a distributed group of entities."; kursive Hervorhebung des Originals hier unterlassen); KRALLMANN (1991b), S. 193; HEIN (1991), S. 684 ("Unter verteiltem Problemlösen wird das kooperative Lösen eines gemeinsamen Problems durch eine dezentrale Gruppe von individuell agierenden, intelligenten Agenten verstanden.").

Vgl. auch am Rande JABLONSKI (1990), S. 9. Er spricht - in Anschluß an ENSLOW - von einer "kooperativen Autonomie". Dabei stimmt der Kooperationsaspekt mit dem oben angeführten Zusammenwirken von Agenten überein. Allerdings bezieht sich JABLONSKI nicht auf Verteiltes Problemlösen, sondern auf verteilte Informationsverarbeitungssysteme. Auf ihre Abgrenzung wird später aus der Perspektive von Client/Server-Konzepten zurückgekommen. Ebenso am Rande liegt die Definition eines "distributed artificial intelligence system", die in KIOUNTOUZIS (1992), S. 321, vorgeschlagen wird. Sie stimmt mit der o.a. Festlegung für Verteiltes Problemlösen inhaltlich weitgehend überein, benutzt aber eine andere sprachliche Expressionsweise.

- ② *Déjà-vu*-These: Prima facie stellt Verteiltes Problemlösen kein neuartiges Konzept dar. Es scheint schon seit langem - lediglich unter anderem Namen - bei der arbeitsteiligen Organisation von betrieblichen Aufgaben Anwendung zu finden.
- ③ Abgrenzungs-These: Bei näherem Hinsehen zeigen sich jedoch gravierende Unterschiede gegenüber herkömmlichen Koordinierungskonzepten für arbeitsteilige Aufgabenerfüllung. Im wesentlichen handelt es sich um die Aspekte der *Expliztheit* und der *Nebenläufigkeit*²⁶⁾. Hinzu kommt, daß die Konfiguration der Agenten durch einen primär²⁷⁾ *flach* strukturierten Agentenzusammenhang geprägt wird. Schließlich soll es sich bei den Aufgaben, deren arbeitsteilige Erfüllung ansteht, um *betriebswirtschaftlich* relevante Aufgabenstellungen handeln.
- ④ Akzelerations-These: Das scheinbare Dilemma, zwischen der Güte und der Geschwindigkeit von Problemlösungen wählen zu müssen²⁸⁾, wird mittels Verteilten Problemlösens überwunden. Verteilte Problemlösungskonzepte bieten daher an, die Bearbeitung betriebswirtschaftlicher Aufgabenstellungen zu beschleunigen, ohne dabei Abstriche an der Qualität der Aufgabenerfüllung hinnehmen zu müssen²⁹⁾.

Zur Abrundung wird auch noch auf eine geringfügige terminologische Inkongruenz hingewiesen: Einerseits wird vom Verteilten *Problemlösen* gesprochen. Andererseits wird es auf die *Erfüllung von Aufgaben* zurückgeführt. Es könnte daher die Frage aufkommen, in welcher Weise Problemlösungen und Aufgabenerfüllungen miteinander zusammenhängen. Um Irritationen zu vorzukommen, wird die Antwort in trivialer Weise vorweggenommen. Problemlösungen und Aufgabenerfüllungen werden hier als synonyme Bezeichnungen verwendet. Gleiches gilt für die zu lösenden Problem und die zu erfüllenden Aufgaben sowie für die daraus ableitbaren Teilprobleme bzw. Teilaufgaben. Die unterschiedliche Verwendung der Bezeichnungen aus dem Wortfeld "Problem" und aus dem Wortfeld "Aufgabe" folgt lediglich daraus, daß "Probleme" und "Aufgaben" in verschiedenen Argumentationskontexten jeweils fest verankert sind. Beispielsweise gehört die Bezeichnung "Verteiltes Problemlösen" ("distributed problem solving") ebenso zu den etablierten Termini *technici* wie der betriebswirtschaftliche Bezug auf "Aufgaben" und deren arbeitsteilige Erfüllung.

26) Vgl. zur Nebenläufigkeit ("concurrency") als charakteristischer Eigenschaft des Konzepts Verteilten Problemlösens SMITH,R. (1981b), S. 13ff.; DAVIS,R. (1981), S. 15; KOBAYASHI (1987), S. 21; NII (1988), S. 475ff., insbesondere S. 477, 480 u. 482ff.; KAMEL (1988), S. 367ff.; BOND (1988b), S. 35; CHAUDHURY (1988), S. 270 (i.V.m. S. 268); HÄMMÄINEN (1990), S. 235; KIOUNTOUZIS (1992), S. 321 u. 324; BERKAU (1992), S. 20. Des öfteren wird auch auf die Möglichkeit hingewiesen, Informationsverarbeitungsprozesse bei Verteiltem Problemlösen parallel - oder: "asynchron" - auszuführen. Vgl. HEWITT (1977), S. 323; KOBAYASHI (1987), S. 21; GASSER (1988a), S. 445; CROMARTY (1988), S. 412; DURFEE (1988b), S. 288; DURFEE (1988d), S. 241; OW (1988), S. 49; HÄMMÄINEN (1990), S. 237; HAHN (1990), S. 10; WOITASS (1991), S. 21, 23, 28 u. 30; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 7; MAHLING (1991), S. 281; HEIN (1991), S. 683 u. 685; KIOUNTOUZIS (1992), S. 324; LEVI (1992), S. 56; BERKAU (1992), S. 24. Auf die Verwandtschaft von Nebenläufigkeit und parallele (asynchrone) Prozeßausführungen werden in Kürze näher eingegangen.

27) Später wird sich zeigen, daß dieser primären Fokussierung auf flache Konfigurationsformen eine sekundäre, vertikale Komponente überlagert sein kann.

28) Das scheinbare Dilemma, sich entweder zugunsten der Güte oder aber zugunsten der Geschwindigkeit einer Problemlösung entscheiden zu müssen, wird sehr deutlich von CORSTEN und REIB herausgearbeitet. Sie betrachten in CORSTEN (1992a), S. 39, speziell das Problem betriebswirtschaftlicher Innovationen. In dieser Hinsicht stellen sie zwei Positionen einander gegenüber: Entweder wird auf hohe Produktqualität geachtet, dafür aber eine hohe Entwicklungsdauer nach der Devise "keine Experimente" in Kauf genommen. Oder aber es wird eine "quick and dirty"-Strategie verfolgt. Treffender läßt sich das Dilemma wohl kaum veranschaulichen. Ähnliche Dilemmata finden sich auch bei HELBERG (1987), S. 152 ("Dilemma" zwischen leistungsfähigen [also qualitativ hochwertigen], aber rechenintensiven [also langsamen] PPS-Verfahren einerseits und einfachen [also qualitativ minderwertigen], aber schnellen] PPS-Verfahren andererseits); SOLARO (1991), S. 106 ("Grundprinzip ... 'Schnelligkeit vor Genauigkeit'..."); CORSTEN (1992a), S. 38 (Widerstreit zwischen Qualität und Produktivität); CORSTEN (1992b), S. 221f. (Gegenläufigkeit von Entwicklungsqualität und Entwicklungsdauer); LINGG (1992), S. 74.

Die zuletzt angeführte Akzelerations-These bildet aus anwendungsbezogener Perspektive eine der herausragenden Eigenschaften des Verteilten Problemlösens³⁰⁾. Sie verheißt dem Anwender von Verteilten Problemlösungsprozessen zunächst, "economies of speed"³¹⁾ realisieren zu können. Dadurch empfiehlt sich das Konzept des Verteilten Problemlösens als eines jener "time compression tools", die in jüngerer Zeit verstärkt Beachtung finden³²⁾.

Angesichts des vielfach vorherrschenden Zeitwettbewerbs³³⁾ auf ausgeprägten Käufermärkten³⁴⁾ gewinnt Verteiltes Problemlösen dank seiner Beschleunigungspotentiale eine herausragende betriebswirtschaftliche Qualität. Es gestattet, Wettbewerbsvorteile hinsichtlich des

Allerdings muß auch beachtet werden, daß sich CORSTEN und REIB keineswegs darauf festgelegt haben, es liege ein *echtes* Dilemma vor. Vielmehr lassen sich ihre vorsichtigen Formulierungen in CORSTEN (1992a), S. 38f., und CORSTEN (1992b), S. 221f., auch so deuten, daß sie nur eine *tendenzielle* Gegenläufigkeit ansprechen wollen, die gegenüber Ausnahmen offenbleibt. Daher widersprechen ihre Ausführungen keineswegs der hier eingenommenen Perspektive, die aufzeigt, wie das *scheinbare* Dilemma mittels Verteilten Problemlösens überwunden werden kann. Ein echtes Dilemma verneint ebenso LINGG (1992), S. 74.

29) Aus der Aufhebung des scheinbaren Qualitäts-/Geschwindigkeits-Dilemmas kann auch die umgekehrte Folgerung gezogen werden, daß sich bei unveränderter Dauer der Aufgabenerfüllung deren Qualität steigern läßt. Vgl. FERGUSON (1988), S. 128. Diese inverse Betrachtungsweise zeigt auf, daß Verteiltes Problemlösen ebenso Vorteile hinsichtlich des wettbewerbsstrategischen Ziels der Qualitätsführerschaft gestattet, ohne dabei Abstriche an Zeitzielen in Kauf nehmen zu müssen. So läßt sich vorstellen, zunächst gewonnene Zeiteinsparungen aus der verteilten Aufgabenerfüllung zu nutzen, um zusätzliche qualitätssichernde oder -erhöhende Aktionen in den Prozeß der Aufgabenerfüllung einzubeziehen. Beispielsweise können anstelle einer Planungsheuristik mehrere alternative Heuristiken nebeneinander eingesetzt werden. Der Vergleich ihrer unterschiedlichen Resultate gestattet, das qualitativ beste Planungsergebnis auszuwählen. Auf diese Weise ist es möglich, der situativ variierenden Planungsqualität von Heuristiken tendenziell zu begegnen. An diese Option mag DURFEE (1988d), S. 241, gedacht haben, als er für Verteiltes Problemlösen darauf hinwies, es erlaube durch das zeitgleiche Bearbeiten mehrerer Teilaufgaben eine Steigerung der Rate von erzeugten Teillösungen. Eine derart erweiterte Aufgabenstellung kann (*ceteris paribus*) in der gleichen Zeitdauer erfüllt werden, wie für die Erfüllung der ursprünglichen, noch nicht erweiterten Aufgabe ohne Verteiltes Problemlösen erforderlich gewesen wäre. Allerdings schließt die erweiterte Aufgabenstellung jetzt ein höheres Qualitätsniveau ein. Auf diese inverse Perspektive der Qualitätserhöhung mittels Verteilten Problemlösens wird im folgenden nicht weiter eingegangen. Ebenso wenig werden die vielfältigen Optionen erörtert, Verringerungen der Ausführungsdauer und Vergrößerungen der Ausführungsqualität von aufgabenerfüllenden Prozessen in unterschiedlichen Ausmaßen miteinander zu kombinieren.

30) Vgl. zum Beschleunigungspotential des Konzepts Verteilten Problemlösens DAVIS,R. (1983), S. 65; DAVIS,L. (1983), S. 218; ALBAYRAK (1990b), S. 80; BOLTE (1990), S. 6; BOLTE (1991), S. 40.

31) CHANDLER (1977), S. 281. Vgl. auch BÜHNER (1990), S. 29f. Die "economies of speed" werden des öfteren mittelbar angesprochen, indem die Nutzenstiftung oder die Kosteneinsparungen hervorgehoben werden, die sich durch Verkürzen oder Beschleunigen von Prozessen erzielen lassen. Vgl. PORTER (1986), S. 114f. u. 145; EVERSHEIM (1989a) S. 30; PANTELE (1989), S. 56; PFEIFFER (1990), S. 24; MILBERG (1991), S. 231; ZAHN (1991), S. 41; CORSTEN (1992b), S. 220ff.; KERN (1992a), S. 43; KERN (1992b), S. 22f.; MILBERG (1992), S. 20; HIRZEL (1992b), S. 25. Schließlich klingen die "economies of speed" ebenso an, wenn lediglich das Formalziel "Speed" in den Vordergrund gerückt wird. Vgl. CORSTEN (1992a), S. 33 u. 36ff.; CORSTEN (1992b), S. 220. Vgl. dazu auch die Ausführungen von LEDER (1992), S. 179ff., zum "Speed-Management" (S. 179 und *passim*).

32) Vgl. PFEIFFER (1990), S. 27; KERN (1992b), S. 23.

33) Vgl. DAVIS,J. (1988), S. 25f.; WARSCHAT (1991), S. 22; MILBERG (1992), S. 20; BÜRCEL (1992), S. 70 (neben einem Qualitätswettbewerb). Vgl. auch die Beiträge in dem Sammelwerk HIRZEL (1992a), die alle - mehr oder minder deutlich - das Thema "Zeitwettbewerb" zu beleuchten versuchen.

34) Vgl. EVERSHEIM (1989a) S. 26.

strategischen Ziels einer Zeitführerschaft³⁵⁾ zu erlangen. Hinzu kommt noch als besondere konzeptionelle Eigenart, daß sich die "economies of speed" erzielen lassen, *ohne* dabei Einbußen in bezug auf Qualitätsziele hinnehmen zu müssen. Daher lassen sich Verteilte Problemlösungsprozesse nutzen, um der vielfach diskutierten "Zeitfalle"³⁶⁾ zu entrinnen. Diese Zeitfalle öffnet sich, wenn einerseits immer weniger Zeit verbleibt, um vorgegebene Probleme zu bearbeiten, aber andererseits immer höhere Ansprüche an die Qualität der Problemlösungen gestellt werden³⁷⁾.

Darüber hinaus unterstreichen die "economies of speed" des Verteilten Problemlösens den gemeinsamen Gehalt von Abgrenzungs- und Déjà-vu-These, daß nur dem ersten Anschein nach eine große Ähnlichkeit mit altvertrauten Konzepten arbeitsteiliger Aufgabenerfüllung besteht. Denn alle konventionellen Ansätze der Arbeitsteilung gehen davon aus, *Produktivitätsgewinne* zu erzielen, indem *Spezialisierungsvorteile* ausgeschöpft werden. Das Konzept des Verteilten Problemlösens beruht hingegen auf der Zielvorstellung, durch das Realisieren von *Beschleunigungspotentialen* Zeitgewinne zu erlangen.

Die Beschleunigungspotentiale des Verteilten Problemlösens sind im Konzept der Nebenläufigkeit verwurzelt³⁸⁾. Bei grober Betrachtung entspricht die nebenläufige Koordinierung von aufgabenerfüllenden Prozessen der "Parallelität" von Prozeßausführungen. Allerdings gilt es dabei zu beachten, daß das Konzept der Nebenläufigkeit strenggenommen einen Denkansatz verfolgt, der sich von Aspekten der Prozeßparallelisierung deutlich unterscheidet: Nebenläufig-

35) Die Strategie der Zeitführerschaft wird im allgemeinen nicht als solche thematisiert. Statt dessen wird aber oftmals auf die herausragende wettbewerbsstrategische Bedeutung hingewiesen, die der Einflußgröße "Zeit" im allgemeinen oder einer Verkürzung von Zeitdauern im besonderen zukommt. Vgl. STALK (1988), S. 41ff., insbesondere S. 45ff.; SIMON (1989a), S. 119 ("Zeit als Wettbewerbsfaktor") u. 123ff.; SIMON (1989b), S. 71 ("Zeit als Wettbewerbsfaktor"), S. 72 u. 89 ("Zeit als Wettbewerbsvorteil"), S. 91 ("Zeit als strategischer Erfolgsfaktor") sowie vertiefend S. 79ff.; EVERSHEIM (1989b), S. 2; STOTKO (1989), S. 235; PANTELE (1989), S. 56; PFEIFFER (1990), S. 3 (Zeit als dominanter strategischer Faktor), S. 24 ("Überleben im Zeitwettbewerb") u. S. 31 ("Zeitstrategie"); BÜHNER (1990), S. 29f.; WILDEMANN (1990), S. 26; MILBERG (1991), S. 229 ("Wettbewerbsfaktor Zeit") sowie S. 231 u. 250 ("Zeitwettbewerb"); ZAHN (1991), S. 41f. (S. 41: "Zeitverkürzungen ... als Kern einer neuen Strategie" und "Zeit als strategischen Wettbewerbsfaktor einsetzen"); KERN (1992a), S. 44 (Zeit als Wettbewerbsfaktor); WILDEMANN (1992), S. 15ff. (S. 15: "Zeit als Wettbewerbsfaktor"); KERN (1992b), S. 22f. (Zeit als [strategischer] Wettbewerbsfaktor); BÜRCEL (1992), S. 70 (Prozeßbeschleunigung als kritischer Erfolgsfaktor); CORSTEN (1992b), S. 220f. (wettbewerbsrelevanter Zeitvorsprung); MILBERG (1992), S. 20 (Wettbewerbsvorteile durch einen schnellen Markteintritt, Zeiteinsparen als Instrument zur Erlangung wettbewerbsstrategischer Vorteile); HIRZEL (1992b), S. 23ff., insbesondere S. 25 ("Suche nach zeitorientierten Wettbewerbsvorteilen bei der Strategiebestimmung"); RHUMBLER (1992), S. 27 ("Faktor Zeit zum Wettbewerbsvorteil ... machen"); LEDER (1992), S. 181; LINGG (1992), S. 73ff. (Zeit als "Wettbewerbsfaktor"). Die Strategie der Zeitführerschaft klingt auch recht deutlich an, wenn Zeit als eine neuartige strategische Ressource betrachtet wird. Vgl. WEISS (1989), S. 29; PFEIFFER (1990), S. 24. Das gilt ebenso, wenn von "Zeit als (strategischer) Waffe" geredet wird. Vgl. PFEIFFER (1990), S. 32; WILDEMANN (1990), S. 26; ZAHN (1991), S. 41; WILDEMANN (1992), S. 16, 20 u. 22.

36) Vgl. zur metaphorischen Wendung der Zeitfalle MACKENZIE (1988), S. 13ff. u. 209ff. (allerdings in einem anderen Kontext, der sich auf das persönliche Zeitmanagement erstreckt); WEISS (1989), S. 29f.; PFEIFFER (1990), S. 3, 11ff. u. 21; WILDEMANN (1990), S. 26; WILDEMANN (1992), S. 15f.; KERN (1992a), S. 43; KERN (1992b), S. 21; CORSTEN (1992a), S. 34. Vgl. auch zur ähnlichen Formulierung der Zeitschere BLEICHER (1986a), S. 82; BLEICHER (1986b), S. 278; EVERSHEIM (1989a) S. 27 i.V.m. Bild 2 auf S. 26; EVERSHEIM (1989b), S. 5 i.V.m. Bild 3 auf S. 7; KERN (1992a), S. 43; KERN (1992b), S. 21.

37) Vgl. EVERSHEIM (1989a) S. 26; KERN (1992a), S. 43.

38) Vgl. zum Beschleunigungspotential von nebenläufigen (parallelen) Problemlösungs- und Informationsverarbeitungskonzepten SMITH,R. (1981a), S. 61; SMITH,R. (1981b), S. 6, 13 u. 15; DAVIS,R. (1981), S. 5; DAVIS,R. (1983), S. 65; NII (1986), S. 105; STEEB (1986), S. 396; DURFEE (1987b), S. 31; DURFEE (1988b), S. 288; BOND (1988b), S. 9; OW (1988), S. 44; FUJI (1988), S. 94f.; RICE (1989), S. 212 u. 214ff.; BOLTE (1989), S. 9; HERTZBERG (1989), S. 195; MEYER (1990), S. 70; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 9; HEIN (1991), S. 685 (indirekt durch Eigenschaftszuschreibung für Echtzeitbetrieb); VON MARTIAL (1992), S. 8; LIROV (1992), S. 2; BULLINGER (1992), S. 8.

keit³⁹⁾ bezeichnet die kausale Unabhängigkeit⁴⁰⁾ von Prozessen. Parallelität erstreckt sich dagegen auf die Zeitgleichheit oder zeitliche Überlappung von Prozessen⁴¹⁾. Nebenläufigkeit besitzt also eine originär *kausale*, Parallelität dagegen eine originär *temporale* Qualität⁴²⁾.

39) Das Wort "Nebenläufigkeit" mag auf den ersten Blick etwas "gestelzt" oder "unbeholfen" anmuten. Es handelt sich aber um das weithin etablierte deutschsprachige Pendant zum englischen *Terminus technicus* "concurrency". Vgl. zur Vertiefung des Nebenläufigkeitsbegriffs und seiner konzeptionellen Eigenarten ZELEWSKI (1986), S. 314ff., insbesondere S. 318; IBARAKI (1987), S. 540ff.; HERRTWICH (1989), S. 14ff., insbesondere S. 15; BRAUER (1990), S. 427.

40) Kausale Unabhängigkeit impliziert eine zweifache Negation kausaler Abhängigkeitsbeziehungen. Einerseits wird die Existenz von Präzedenzrelationen verneint, die zwischen den jeweils betroffenen Prozessen eine kausale Dependenz konstituieren würden. Andererseits existieren ebensowenig Relationen, die zwischen den involvierten Prozessen eine kausale Interdependenz hervorrufen würden. Die Begriffe der kausalen Dependenz und Interdependenz werden in diesem Beitrag jeweils im weit gefaßten Verständnis von *schwachen* Kausalbeziehungen verwendet.

Eine *schwache* kausale *Dependenz* zwischen zwei Prozessen liegt immer dann vor, wenn aufgrund kausaler Sachzusammenhänge mit der Ausführung des einen Prozesses nicht begonnen werden kann, falls die Ausführung des jeweils anderen Prozesses noch nicht abgeschlossen worden ist. Das Ausführungsende des erstgenannten Prozesses muß also im Falle einer schwachen kausalen Dependenz aufgrund von Kausalzusammenhängen eine *notwendige* Voraussetzung für den Ausführungsbeginn des letztgenannten Prozesses sein. Eine starke kausale Dependenz läge dagegen vor, wenn das Ausführungsende des erstgenannten Prozesses aufgrund von Kausalzusammenhängen eine hinreichende Voraussetzung für den Ausführungsbeginn des letztgenannten Prozesses wäre. Erst dann könnte von einer Ursache/Wirkungs-Beziehung zwischen den beiden involvierten Prozeßausführungen die Rede sein.

Eine *schwache* kausale *Interdependenz* stellt sich zwischen zwei Prozessen ein, falls sich die Ausführungen der beiden Prozesse aufgrund kausaler Sachzusammenhänge gegenseitig ausschließen. Dies ist regelmäßig dann der Fall, wenn zur gemeinsamen Ausführung beider Prozesse von mindestens einer Ressource mehr Einheiten benötigt würden, als tatsächlich zur Verfügung stehen. Eine starke kausale Interdependenz träte hingegen ein, wenn die Ausführungen der beiden Prozesse aufgrund kausaler Sachzusammenhänge nur entweder simultan oder aber überhaupt nicht möglich wären. Erst dann läge eine kausale Wechselwirkungs-Beziehung zwischen den beiden Prozessen vor.

41) Der Begriff der Parallelität wird im allgemeinen nicht mit letzter Konsequenz definiert. Denn parallele Prozesse werden zumeist mit zeitgleichen Prozessen identifiziert. Die parallelitätskonstituierende Zeitgleichheit kann sich aber strenggenommen nur auf die Ausführungszeiträume von Prozessen beziehen, die jeweils die *gleiche* Ausführungsdauer besitzen. Für Prozesse mit *unterschiedlichen* Ausführungsdauern ist dagegen nicht klar, was die *Zeitgleichheit* ihrer Ausführungen trotz notwendig *verschiedener* Ausführungszeiträume bedeuten könnte. Um dieser semantischen Schwierigkeit zu entgehen, wird hier "Zeitgleichheit" von Prozessen in einem sehr weit gefaßten Verständnis verwendet: Zwei Prozesse mit gleicher (ungleicher) Ausführungsdauer werden genau dann als zeitgleich bezeichnet, wenn ihre Ausführungszeiträume identisch sind (einander überlappen).

Am Rande wird darauf hingewiesen, daß der Begriff der Zeitgleichheit eine absolute Zeitmetrik impliziert. Dies läßt sich am einfachsten verdeutlichen, indem die Degeneration von zeitverbrauchenden Prozessen zu "Prozessen" mit der Ausführungsdauer Null ("Null-Prozesse") betrachtet wird. Die degenerierten Null-Prozesse besitzen die Qualität von zeitlich punktförmigen Ereignissen. Zwei zeitgleiche Null-Prozesse besitzen per definitionem die gleiche Ausführungsdauer Null. Daher müssen ihre Ausführungszeiträume wegen der vorausgesetzten Zeitgleichheit identisch sein: Es handelt sich um einen "Ausführungszeitraum", der zu einem Zeitintervall der Länge Null - also zu einem Zeitpunkt - degeneriert ist. Folglich müssen die beiden zeitgleichen Null-Prozesse (Ereignisse) zum selben Zeitpunkt ausgeführt werden (geschehen). Die Gleichzeitigkeit von Ereignisgeschehnissen kann aber nur mittels einer absoluten Zeitmetrik erfaßt werden.

In dieser Hinsicht offenbart sich die tiefere Bedeutung der originär kausalen Qualität des Nebenläufigkeitsbegriffs: Rein kausal fundierte Konzepte brauchen keine absolute Zeitmetrik vorauszusetzen. Statt dessen kommen sie mit einer relativ(istisch)en Zeitmetrik aus, wie sie in der Relativitätstheorie entfaltet wird. In der Tat weisen Konzepte, die sich auf das kausale Fundament der Nebenläufigkeit stützen, enge Bezüge zur Relativitätstheorie auf. Dies wird besonders deutlich anhand des Petrinetz-Konzepts. Vgl. zu dessen Verknüpfung mit relativitätstheoretischen Erkenntnissen BUDDE (1992), S. 23ff. Allerdings bedeutet eine Bevorzugung des relativistisch-kausalen Nebenläufigkeitsbegriffs auch, daß auf den Begriff der Gleichzeitigkeit von Ereignisgeschehnissen verzichtet werden muß.

42) Nachstehend wird sich aber zeigen, daß aus der originär kausalen Qualität der Nebenläufigkeit ein zeitlicher Spielraum für Prozeßausführungen resultiert. Er verleiht der Nebenläufigkeit ebenso eine temporale Qualität, die jetzt allerdings nur einen derivativen Charakter besitzt.

2.2 Verfeinerung durch Multi-Agenten-Systeme

Multi-Agenten-Systeme⁴³⁾ knüpfen unmittelbar an jenen Charakteristika des Verteilten Problemlösens an, die kurz zuvor mittels der Agenten-These hervorgehoben wurden: Ein Multi-Agenten-System ist eine Ansammlung von mehreren Informationsverarbeitungseinheiten⁴⁴⁾. Sie werden hier generell als "Agenten" bezeichnet⁴⁵⁾. Die Agenten wirken so zusammen, daß sie eine gemeinsam bearbeitete Aufgabe durch Verteiltes Problemlösen erfüllen.

Diese allgemeine Charakterisierung von Multi-Agenten-Systemen läßt sich durch eine Fülle von speziellen Systemausprägungen konkretisieren. Um die Spannweite von Multi-Agenten-Systemen zu verdeutlichen, werden einige exemplarische Alternativen kurz angesprochen. Dabei interessiert es hier nicht näher, ob diese Systeme bereits als implementierte Informationsverarbeitungssysteme verwirklicht sind - oder ob sie "nur" als gedankliche Konstruktionen existieren. Statt dessen ist lediglich von Bedeutung, die konzeptionelle Reichhaltigkeit von Multi-Agenten-Systemen vor Augen zu führen. In einer Reihenfolge zunehmender Konzeptkomplexität⁴⁶⁾ lassen sich beispielsweise⁴⁷⁾ nennen:

43) Vgl. zu Multi-Agenten-Systemen MUSCETTOLA (1987), S. 1063ff.; TRAYNER (1987), S. 113ff.; GASSER (1988a), S. 445ff.; GASSER (1988b), S. 1ff.; DURFEE (1988d), S. 19ff.; KAMEL (1988), S. 367ff.; CROMARTY (1988), S. 408f. u. 412ff.; CROFT (1988), S. 599ff. (mit starker Annäherung an Kontraktnetz-Systeme, auf die noch näher eingegangen wird); COELHO (1988), S. 717f.; BRONISZ (1989), S. 392ff.; LI (1989), S. 313ff.; SEEL (1989), S. 164ff.; COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1989), S. I-12; GALLIERS (1990), S. 33ff.; CASTELFRANCHI (1990), S. 49ff.; HÄMMÄINEN (1990), S. 235ff. (ein überaus ideenreicher Beitrag); LIZOTTE (1990), S. 121ff.; VON MARTIAL (1990), S. 106ff.; CONNAH (1990), S. 197ff.; MAES (1989), S. 991ff.; FISCHER (1991), S. 143ff. (mit der bemerkenswerten Modellierung einer Prozeßsteuerung für Flexible Fertigungssysteme auf S. 144ff.); SCHUPETA (1991), S. 42f.; SINGH (1991), S. 69ff. (mit einer recht weit gefaßten, sprachanalytischen Perspektive); FISCHER (1992), S. 22ff.; BERKAU (1992), S. 20ff.; BURMEISTER (1992b), S. 33ff.; BURMEISTER (1992c), S. 98; KIRN (1992a), S. 70f.; LEVI (1992), S. 56; MÜLLER (1992b), S. 57f. (Entwicklungen in Deutschland). Vgl. auch die bibliographischen Hinweise in BOND (1988c), S. 40 i.V.m. S. 42ff. zum Stichwort "Multiagent planning". Vgl. darüber hinaus die Quellen, die in einer nachfolgenden Anmerkung zur speziellen Ausprägung der Kontraktnetz-Architektur angeführt werden.

44) Die konkrete Implementierung dieser Informationsverarbeitungseinheiten braucht hier nicht festgelegt zu werden. Es muß lediglich gefordert werden, daß die Informationsverarbeitungseinheiten kausal unabhängig voneinander operieren können. Für diesen Zweck bieten sich z.B. zeitgleich ausführbare Co-Routinen aus einer nebenläufigen Programmiersprache an. Für jede Informationsverarbeitungseinheit wird eine eigenständige Co-Routine eingeführt. Den Co-Routinen braucht aber keineswegs von vornherein ("statisch") jeweils ein separater Prozessor zugeordnet zu werden. Vielmehr reicht es aus, während der Abarbeitung einer Informationsverarbeitungsaufgabe lediglich jenen Co-Routinen, die in der aktuellen Abarbeitungsphase zur Ausführung anstehen, eigene Prozessoren ("dynamisch") zuzuweisen. Ebenso ist es möglich, bereits auf der Hardware-Ebene für jede Informationsverarbeitungseinheit einen eigenständigen Prozessor zu reservieren. Dann müssen allerdings Multiprozessor-Systeme als Implementierungsumgebung vorausgesetzt werden. In dieser Hinsicht bieten sich vor allem Transputer-Systeme an. Ihre Prozessoren ("Transputer") sind mit lokalen Speichern ausgerüstet. Darüber hinaus sind die Prozessoren mit einem leistungsfähigen Kommunikationsnetzwerk für den wechselseitigen Nachrichtenaustausch miteinander verknüpft. Beide Eigenarten erlauben eine besonders einfache Implementierung einiger spezieller Architekturen von Multi-Agenten-Systemen, insbesondere von Kontraktnetz-Architekturen. Auf diese Architekturvariante wird in Kürze näher eingegangen.

45) Der Begriff "Agent" wird als Synonym für eine breite Palette von Begriffen verwendet, die in Abhängigkeit von der jeweils betrachteten Variante Verteilten Problemlösens und auch von Autor zu Autor differieren. Beispielsweise wird des öfteren von Aktoren gesprochen (in Anlehnung an eine frühe Arbeit von HEWITT).

46) Die Konzeptkomplexität wird hier nur in einem rudimentären, rein intuitiv empfundenen Verständnis gebraucht. Eine Präzisierung des konzeptionellen Komplexitätsbegriffs bleibt außerhalb des Erkenntnisinteresses des vorgelegten Beitrags. Daher sollte der nachfolgenden Komplexitätsabstufung keine größere Beachtung gewidmet werden. Sie dient lediglich dem Zweck, die Beispielaufzählung in einen plausibel anmutenden Argumentationsfluß einzubetten.

- *Verteilte Sensorsysteme*⁴⁸⁾: Es handelt sich um Netzwerke, deren Knoten mit Sensoren zur Umweltbeobachtung und eigenen Informationsverarbeitungs-fähigkeiten ausgestattet sind. Die Netzknoten sollen bei der Interpretation ihrer Einzelbeobachtungen so zusammenwirken, daß insgesamt ein konsistentes Bild der beobachteten Umwelt entsteht⁴⁹⁾. Zwei Ansätze in dieser Richtung stellen das DSN-System⁵⁰⁾ und das DVMT-Projekt⁵¹⁾ dar.
- *Verteilte Robotersysteme*⁵²⁾: Die passive Umweltbeobachtung und -interpretation durch Verteilte Sensorsysteme wird zu einer aktiven Umweltbeeinflussung erweitert. Dabei liegt das Konzept intelligenter Roboter⁵³⁾ zugrunde. Sie sind kraft eigener Beobachtungs-, Inferenz- und Aktionsfähigkeiten in der Lage, in unbekanntem oder veränderlichen Umwelten unvorhergesehene Probleme selbständig zu bewältigen. Verteilte Robotersysteme bestehen aus räumlich verteilten intelligenten Robotern, die jeweils ein eigenes Problembewältigungsvermögen besitzen und miteinander kommunizieren, um ihre Aktionen aufeinander abzustimmen. In diesem Zusammenhang wird auch in plakativer Weise von "disbots"⁵⁴⁾ und von "Teams of Robots"⁵⁵⁾ gesprochen.

47) Ein weiteres Beispiel, die Blackboard- und die Kontraktnetz-Systeme, werden hier bewußt noch nicht angeführt. Sie werden alsbald ausführlicher besprochen, weil sie derzeit zusammen mit Blackboard-Systemen die Diskussion über Multi-Agenten-Systeme bei weitem beherrschen.

48) Vgl. SMITH,R. (1978a), S. 14ff.; DAVIS,R. (1981), S. 21ff.; SMITH,R. (1981a), S. 63 u. 65f.; SMITH,R. (1981b), S. 9f. u. 34ff.; LESSER (1981), S. 81ff.; FOX (1981), S. 70; CORKILL (1983), S. 748ff.; DAVIS,R. (1983), S. 84ff.; ZELEWSKI (1986), S. 1224f.; SILVERMAN (1987), S. 230ff. (mit besonderer Hervorhebung der Aggregation - "Fusion" - von Informationen, die von externen Sensoren im weitesten Sinn eintreffen); VAN DYKE PARUNAK (1987), S. 287; LESSER (1988b), S. 120ff.; DURFEE (1988d), S. 196ff.; MEYER (1990), S. 181; VON MARTIAL (1992), S. 9f.; KIOUNTOUZIS (1992), S. 322f. Anwendungsmöglichkeiten des Konzepts Verteilten Problemlösens für die Realisierung von Verteilten Sensorsystemen haben auch bei der Gestaltung militärischer Aufklärungssysteme große Beachtung gefunden. Vgl. DAVIS,L. (1983), S. 216ff.; HARRIS (1987), S. 477f.; WILLIAMS (1988), S. 394ff., mit einem anschaulichen Beispiel auf S. 409ff. Dazu gehört auch das DSN-System, das in Kürze angesprochen wird (vgl. WESSON (1981), S. 6).

49) Die Intelligenz der Netzknoten soll in einigen Entwürfen später so weit angereichert werden, daß ein Netzwerk aus verteilten, miteinander zusammenarbeitenden Expertensystemen entsteht. In dieser Hinsicht spannen die Verteilten Sensorsysteme sogar einen Bogen, der bis hin zu den abschließend aufgeführten kooperierenden Expertensystemen reicht.

50) DSN steht für: Distributed Sensor Network. Vgl. WESSON (1981), S. 5ff., insbesondere S. 19ff.; GREEN (1987), S. 153ff.; NISHIYAMA (1991), S. 89ff.

51) DVMT steht für: Distributed Vehicle Monitoring Testbed. Vgl. LESSER (1983), S. 20ff.; CORKILL (1983), S. 749 u. 751ff.; DURFEE (1985), S. 1026ff.; DURFEE (1986), S. 59ff.; DURFEE (1987b), S. 36ff.; DECKER (1987), S. 737; LESSER (1988a), S. 356ff. und - insbesondere - S. 362ff.; DURFEE (1988a), S. 270ff.; DURFEE (1988b), S. 286ff.; DURFEE (1988c), S. 66ff.; DURFEE (1988d), S. 27ff.; CORKILL (1988), S. 671ff.; BOND (1988b), S. 6; LESSER (1989), S. 502; DECKER (1991), S. 18ff.

52) Vgl. SACERDOTI (1980), S. 9ff.; ZELEWSKI (1986), S. 148 u. 1225; KAMEL (1988), S. 375ff. (Generierung von Arbeitsplänen für ein Multi-Roboter System); KWA (1988), S. 165ff.; LEVI (1988), S. 32ff.; LEVI (1989), S. 193ff.; SHEN (1989), S. 477ff.; HERTZBERG (1989), S. 196ff. (allerdings in einer artifiziellen, gegenüber der Realität drastisch vereinfachten "Spielklötzchen-Welt"); HYNYNEN (1989a), S. 144; STEELS (1990), S. 175ff. (mit dem interessanten Beispiel einer interplanetarischen Mission, allerdings nur mit geringer Umsetzung des Konzepts Verteilten Problemlösens); FRAICHARD (1990), S. 137ff.; LIZOTTE (1990), S. 122; MEYER (1990), S. 181; VON MARTIAL (1992), S. 8 u. 10; BURMEISTER (1992a), S. 13ff.; BURMEISTER (1992b), S. 34; LEVI (1992), S. 56.

53) Der Verfasser hat das Konzept intelligenter Roboter ausführlicher behandelt. Vgl. ZELEWSKI (1986), S. 513ff.; vgl. auch die dort dokumentierten, einführenden oder vertiefenden Quellen (z.B. in Anmerkung 2 auf S. 513).

54) SACERDOTI (1980), S. 9.

55) SHEN (1989), S. 477.

- *Kooperierende Expertensysteme*⁵⁶⁾: Mehrere Expertensysteme⁵⁷⁾ wirken an der Bearbeitung einer Aufgabe zusammen, die allen Expertensystemen gemeinsam zur Bearbeitung übertragen wurde. Die Expertensysteme sind durch ein lokales Kommunikationsnetzwerk miteinander verbunden, über das sie Informationen austauschen können.

Allerdings läßt das letztgenannte Beispiel Zweifel aufkommen⁵⁸⁾. Es ist fraglich, ob kooperierende Expertensysteme tatsächlich die - derzeit - höchste Komplexitätsstufe von Multi-Agenten-Systemen darstellen. Zwar spricht für diese Komplexitätseinstufung, daß Expertensysteme wohl die anspruchsvollste Variante bieten, in der sich die "Informationsverarbeitungseinheiten" eines Multi-Agenten-Systems zur Zeit realisieren lassen. Jedoch ist davon nur die *interne* Komplexität der einzelnen Agenten betroffen. Die *externe* Komplexität des Agentenzusammenhangs wird durch die Festlegung auf Expertensysteme zunächst überhaupt nicht tangiert.

Bemerkenswerte Einsichten vermittelt eine nähere Beschäftigung mit der Mehrzahl jener Projekte, die sich in jüngster Zeit unter der zugkräftigen Plakette "Verteiltes Problemlösen" mit kooperierenden Expertensystemen befaßt haben. Es zeigt sich nämlich bei näherem Hinsehen fast immer⁵⁹⁾, daß der Zusammenhang zwischen den Expertensystem-Agenten lediglich auf der

56) Vgl. RAJARAM (1983), S. 135; ZEVIAI (1985), S. 102 u. 106ff.; DAVID (1987), S. 64ff.; WORDEN (1987), S. 511ff.; SILVERMAN (1987), S. 230; WILLIAMS (1988), S. 390ff.; CROMARTY (1988), S. 408f. u. 412ff.; ARRATIBEL (1988), S. 289ff.; SUDA (1988), S. 163f.; VERNADAT (1988), S. 263; BOND (1988b), S. 4; KING (1988a), S. 430f.; KING (1988b), S. 1013f.; MERTENS (1988b), S. 1f. u. 20f. (als programmatischer Anspruch); MERTENS (1988c), S. 29 (mit Abb. 11 auf S. 30 und Abb. 5 auf S. 22); BARTH (1988b), S. 44; ENGELMORE (1988), S. 570 (nur eine Andeutung hinsichtlich verknüpfter Blackboard-Systeme); MERTENS (1989a), S. 9f. (MERTENS hat anscheinend seine Ansichten bezüglich des Expertensystem-Komplexes KALHAS, den er auf S. 10 als kooperierende "Gruppe von XPS" anspricht, verändert: in MERTENS (1989c), S. 844, und MERTENS (1989d), S. 6f., behandelt er das Exemplar KALHAS aber als kompaktes Blackboard-System); MERTENS (1989b), S. 14f. u. 37f.; MERTENS (1989c), S. 842, 845f. u. 851f.; MERTENS (1989d), S. 5, 7ff. u. 15f.; ZINSER (1989), S. 449ff.; MEYER (1989), S. 688 u. 695ff., insbesondere Figure 10 auf S. 696; BOLTE (1989), S. 2; WITTIG (1989), S. 486 u. 489; o.V. (1989), S. 35; BELL (1990), S. 654ff.; JACOB (1990), S. 119ff.; HILDEBRAND (1990), S. 37ff.; MEYER (1990), S. 181; BOLTE (1990), S. 10f. u. 13f.; KIRN (1991), S. 216ff.; SUNDERMEYER (1991), S. 102ff.; WEIGELT (1991), S. 116ff.; MARIN (1991), S. 623 u. 625ff.; BOLTE (1991), S. 36ff.; ZIMMERMANN (1991), S. 103f.; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 24f. (auf S. 24 noch distanziert, auf S. 25 dagegen nicht mehr) u. S. 121ff. (i.V.m. S. 23); KIRN (1992a), S. 68 u. 70f.; VON MARTIAL (1992), S. 8 u. 10; MÜLLER (1992b), S. 57 (ein Hinweis auf ein Entwicklungsprojekt an der Fernuniversität Hagen).

57) Aufbau, Funktionsweise und Anwendungsbereiche von Expertensystemen werden hier als bekannt vorausgesetzt. Vgl. zu entsprechenden Überblicken z.B. HARMON (1987), S. 3ff.; SCHEER (1988b), S. 6ff.; HEILMANN (1989), S. 4ff.; ZELEWSKI (1989), S. 16ff. und - in einem weit gefaßten Verständnis - S. 105ff.; TANIMOTO (1990), S. 523ff.; MERTENS (1991), S. 11ff.

58) Die Zweifel lassen sich anhand des letztgenannten Beispiels besonders prägnant vortragen, weil kooperierende Expertensysteme derzeit zu den "Lieblingen der deutschen KI-Szene" zählen. Das schließt keineswegs aus, daß ähnliche Zweifel auch gegenüber den voranstehenden Exemplaren aufkommen könnten. Wegen der generell unbefriedigenden Dokumentation von Systemen, die sich als Multi-Agenten-Systeme ausgeben, ist es aber oftmals schwierig, solchen Zweifeln detailliert nachzugehen. Daher beschränkt sich der Verfasser hier darauf, seine Bedenken in den Anmerkungen 60) und 61) in exemplarischer Weise zu erläutern.

59) Auf eine wesentliche Ausnahme wird in Kürze eingegangen.

informationstechnischen Ebene durch ein Kommunikationsnetzwerk gestiftet wird⁶⁰). Auf diese Weise ist zwar technisch zuverlässig geregelt, wie die Expertensystem-Agenten irgendwelche Informationen miteinander austauschen können. Aber es erfolgt keine explizite, *betriebswirt-*

60) Vgl. KOTSCHENREUTHER (1991), S. 24 ("explizite Ausrichtung auf verteilte Datenhaltung und ein Local Area Network"). Aufschlußreich ist auch die Abb. 2/1 bei HILDEBRAND (1990), S. 39 (i.V.m. den Erläuterungen auf S. 38 u. 43ff.). Dort werden die Verbindungen aufgezeigt, die zwischen drei den kooperierenden Expertensystemen DIPSEX, PAREX und UMDEX bestehen. Es handelt sich um rein informationstechnische "Datenleitungen", mit denen die Expertensysteme auf Datenbanken aus dem PPS-System COPICS zugreifen. Besonders bemerkenswert ist, daß die Expertensysteme in überhaupt keiner direkten Kommunikationsverbindung stehen. Sie greifen lediglich auf gemeinsam geteilte Datenbanken zu. Da es sich bei diesen Datenbanken um Komponenten einer konventionellen PPS-Software handelt, läßt sich schwer vorstellen, daß dort irgendwelche Konzepte des Verteilten Problemlösens verwirklicht werden. Sie werden in der vorgenannten Quelle auch nirgends dokumentiert. Diese Vermutung wird durch die frühere Publikation MERTENS (1988b), S. 20, gestützt. Dort wird explizit eingeräumt, daß die drei vorgenannten kooperierenden Expertensysteme lediglich über einen "File-Transfer ..., eventuell ... auch gemeinsam genutzte Datenbanken" miteinander zusammenhängen (vgl. auch WEBER (1990), S. 59). Allerdings ist ebenso anzuerkennen, daß WEBER, KOTSCHENREUTHER und MERTENS kurz darauf ihre Position präzisiert haben. Darauf wird in der nächsten Anmerkung zurückgekommen. Die Dominanz von informationstechnischen Gesichtspunkten wird auch in weiteren Ausführungen über kooperierende Expertensysteme deutlich. Vgl. dazu ZINSER (1989), S. 452ff.; BOLTE (1990), S. 11ff., und BOLTE (1991), S. 39. Allerdings regt BOLTE an späterer Stelle eine konzeptionelle Fortentwicklung in der Gestalt eines "Kooperationsknotens" an. Vgl. BOLTE (1991), S. 39f. Zwar bleibt das Konzept des Kooperationsknotens in den vorgenannten Quellen noch auf eine reine Ideenskizze beschränkt, die weit von ihrer Operationalisierung oder gar Realisierung entfernt ist. Aber immerhin läßt die Autorin einige Aspekte des Konzepts Verteilten Problemlösens anklingen, die in erfreulicher Weise über die rein informationstechnische Verknüpfung zwischen Expertensystemen hinausweisen. Dazu gehört z.B. ihre Anregung, der Kooperationsknoten solle über eigenes Wissen verfügen, aufgrund dessen er selbständig erkennen kann, an welche der kooperierenden Expertensysteme er welche Informationen weiterverschicken sollte, um sie bei ihren Bearbeitungen von Teilaufgaben aktiv zu unterstützen.

Die rein informationstechnische Sicht wird ebenso bei EICKER (1992), S. 139, deutlich: Dort definieren EICKER, KURBEL, PIETSCH und RAUTENSTRAUCH "kooperierende Systeme" als Anwendungssysteme, deren informationsverarbeitenden Aktivitäten über "eine zentrale Instanz" miteinander gekoppelt oder integriert werden. (Vgl. EICKER (1992), S. 139, zur Differenzierung zwischen Systemkopplung und -integration.) Als Zentralinstanzen werden dabei Schnittstellensysteme, die zu einem sternförmigen Kommunikationsnetzwerk gehören, und zentrale Datenbank-Server in Betracht gezogen. An dieser Definition *kooperierender* Systeme irritiert nicht so sehr, daß sie sich - ohne nähere Rechtfertigung - auf eine sternförmige Kommunikationstopologie kapriziert. Denn die Autoren bieten unmittelbar nachfolgend eine Definition verteilter Systeme an, bei denen Anwendungssysteme durch ein Kommunikationsnetzwerk mit beliebiger Topologie gekoppelt bzw. integriert werden. Bei großzügiger Auslegung ließen sich diese verteilten Systeme noch als eine "erweiterte" oder "verallgemeinerte" Form von kooperierenden Systemen auffassen. Es stört jedoch aus *betriebswirtschaftlicher* Perspektive, daß in die Definition(en) kooperierender Systeme ausschließlich die *informationstechnische* Realisierung der Kopplung oder Integration von Anwendungssystemen einfließt. Von einer expliziten, betriebswirtschaftlich ausgerichteten Modellierung derjenigen Aufgaben, die von den kooperierenden Anwendungssystemen (Expertensystemen) gemeinsam erfüllt werden wollen, ist an keiner Stelle die Rede. Gleiches gilt für die Modellierung der involvierten Agenten und Prozesse. Dies unterstreicht die oben aufgestellte These, die Arbeiten über kooperierende (Experten-)Systeme seien einseitig informationstechnisch fokussiert. Nur am Rande wird auf die Schwierigkeit aufmerksam gemacht, die EICKER, KURBEL, PIETSCH und RAUTENSTRAUCH für Anhänger der kooperierenden Expertensysteme - vermutlich ungewollt - aufwerfen: Einerseits werden kooperierende Expertensysteme seitens ihrer Proponenten oftmals als Paradebeispiele für Verteiltes Problemlösen präsentiert. Andererseits definieren die vorgenannten Autoren kooperierende Systeme gerade so, daß sie *nicht* zu den verteilten Systemen gehören. Aus diesem offensichtlichen Widerspruch sieht der Verfasser nur zwei Auswege. Entweder wird der Begriff "kooperierendes System" so weit gefaßt, daß er die verteilten Systeme umschließt. Dies entspricht der soeben erwähnten "großzügigen" Auslegung, "vergewaltigt" aber auch die scharfe Grenzziehung der vier genannten Autoren. Oder die Proponenten kooperierender Expertensysteme erklären, daß "ihre" Systemen nicht zu den kooperierenden Systemen im zuvor definierten Verständnis gehören. Dies wäre dann aber näher auszuführen. Einen Ansatz in der letztgenannten Richtung verfolgen vor allem WEBER, KOTSCHENREUTHER und MERTENS. Vgl. dazu die nachstehende Anmerkung.

schaftlich ausgerichtete Modellierung der involvierten Aufgaben, Agenten und Prozesse⁶¹). Daher reichen die Vorschläge für kooperierende Expertensysteme, die bislang vorwiegend

61) Den terminologischen Differenzierungsvorschlag von EICKER, KURBEL, PIETSCH und RAUTENSTRAUCH, der in der voranstehenden Anmerkung erwähnt wurde, haben WEBER, KOTSCHENREUTHER und MERTENS in WEBER (1990), S. 59f., anscheinend schon vorweggenommen. Denn sie unterscheiden zwischen kooperierenden Expertensystemen einerseits und Verteilten (Experten-)Systemen andererseits. Dabei schränken sie den Begriff kooperierender Expertensysteme auf solche Fälle ein, in denen Expertensysteme lediglich durch Datei-Transfer oder über eine gemeinsame Datenbank miteinander verbunden sind. Von Verteilten Expertensystemen wollen sie dagegen erst dann sprechen, wenn eine "problemabhängige ... Kommunikation" zwischen den Systemen hinzukommt (S. 60). Diese begriffliche Neuorientierung ist aus zwei Gründen zu begrüßen. Erstens stellt sie durch ihre Differenzierung klar, daß kooperierende Expertensysteme noch keine Umsetzung des Konzepts Verteilten Problemlösens darstellen, solange sie nur auf rein informationstechnische Weise durch Dateiaustausch oder Datenbanken miteinander verknüpft sind. Zweitens wird ebenso unterstrichen, daß zu einer Verwirklichung des Verteilten Problemlösungskonzepts Koordinierungsmechanismen erforderlich werden, die auf dem "task level" unmittelbar an denjenigen *Problemen* anknüpfen, die verteilt bearbeitet werden sollen. Als Beispiel einer derart problemabhängigen Koordinierungsweise führen WEBER, KOTSCHENREUTHER und MERTENS das Verhandlungskonzept an (vgl. WEBER (1990), S. 60ff.). Verhandlungen liegen auch den Kontraktnetz-Systemen zugrunde, auf die im folgenden zurückgekommen wird. Schon früher wurde dieses Verhandlungskonzept bei MERTENS (1988b), S. 20, in Aussicht gestellt. Aber es gelang nicht, in dem dort vorgestellten Vorläuferprojekt die drei Expertensysteme DIPSEX, PAREX und UPPEX in die avisierte Kontraktnetz-Architektur einzubetten. Zwischenzeitlich wurde das Projekt neustrukturiert. Seine drei Expertensysteme treten jetzt unter den Bezeichnungen DIPROMOD, PAMOD bzw. UMMOD auf. Auf diese drei letztgenannten Systemvarianten beziehen WEBER, KOTSCHENREUTHER und MERTENS ihre neue Konzeption der Verteilten (Experten-)Systeme.

Allerdings hegt der Verfasser auch gravierende Bedenken, an welche Art des Verteilten Problemlösens WEBER, KOTSCHENREUTHER und MERTENS bei ihrer begrifflichen Neuorientierung wirklich gedacht haben mögen. Einerseits suggeriert ihre Terminologie, die um Bezeichnungen wie "Verhandlungskonzept" und "Verhandlungsvorschriften" kreist, daß in der Tat das Koordinierungskonzept der Kontraktnetz-Systeme gemeint ist (vgl. WEBER (1990), S. 60ff.). Andererseits findet sich in der zitierten Literatur aber überhaupt keine originäre Quelle zur Kontraktnetz-Architektur (vgl. S. 70). Noch stärkere Zweifel am Kontraktnetzbezug kommen auf, wenn die "Verhandlungsvorschriften" auf S. 61f. näher betrachtet werden. Dort wird nämlich in den Punkten 5 und 6 festgelegt, daß ein Agent (Expertensystem), der eine Anfrage von einem anderen Agenten erhält, seine eigenen Operationen sofort unterbrechen und zunächst die Anfrage des aufrufenden Agenten bearbeiten *muß* (vgl. auch den Auslösemechanismus auf S. 65). Dieser fremdbestimmte Unterbrechungs- und Bearbeitungszwang entspricht zwar dem Master/Slave-Konzept verteilter Informationsverarbeitung. (Vgl. WERNER (1989), S. 17; ZIMMERMANN (1991), S. 20.) Aber mit den Verhandlungsprotokollen der Kontraktnetz-Architektur (Näheres dazu später) haben sie kaum etwas gemeinsam. Besonders deutlich wird dies von DAVIS und SMITH, zwei herausragenden Vertretern des Kontraktnetz-Lagers, ausgesprochen: "Standard subroutine ... invocation represents, by our standard, a degenerate case [of contract nets]. All the selection of routines to be invoked is done beforehand by the programmer and is hardwired into the code. The possible respondents are thus named explicitly in the source code, leaving no opportunity for choice or nondeterminism at runtime." (DAVIS, R. (1983), S. 95; Ergänzung [...] durch den Verfasser).

Daher liegt der Schluß nahe, daß WEBER, KOTSCHENREUTHER und MERTENS zwar von einem Verhandlungskonzept sprechen, aber inhaltlich doch keine Kontraktnetz-Systeme gemeint haben können. Darüber hinaus wird der Leser ohnehin zum Grübeln gezwungen, wenn immer von "Verhandlungen" gesprochen wird, aber der jeweils aufgerufene Agent überhaupt keinen Verhandlungsspielraum besitzt. Der Verfasser vermag inhaltlich nicht nachzuvollziehen, welches *Verhandlungskonzept* überhaupt intendiert sein mag. Noch stärkere Zweifel kommen auf, sobald ein Blick auf die Erläuterung von Implementierungsaspekten (S. 66ff.) geworfen wird. Dort wird wiederum - in der bereits mehrfach angesprochenen Manier - der informationstechnische Aspekt in den Vordergrund gerückt: Es wird hervorgehoben, das die "Interprozeßkommunikation" (S. 66) auf der Basis eines Client/Server-Konzepts realisiert worden ist (S. 67f.). Der zugehörige Nachrichtenaufbau wird ebenso vorgestellt (S. 67f.). Was dies alles mit einer *problemabhängigen* Kommunikation gemeinsam haben soll, die den Ausgangspunkt der Neuorientierung von WEBER, KOTSCHENREUTHER und MERTENS bildete, vermag der Verfasser nicht nachzuvollziehen. Daher hegt er doch erhebliche Bedenken, ob über die begrüßenswerte begriffliche Präzisierung hinaus wirklich ein Beitrag zum Konzept des Verteilten Problemlösens erfolgt ist. Zumindest fügt er sich nicht in das Konzeptverständnis ein, das in diesem Beitrag entfaltet wird und z.B. auch von der breiten Autorenschaft der Kontraktnetz-Systeme geteilt wird.

präsentiert wurden, über das informationstechnisch fixierte Niveau der konventionellen Client/Server-Konzepte nicht hinaus⁶²).

Die Vorbehalte, die hier geäußert wurden, gelten aber nicht ohne Ausnahme. Insbesondere erstrecken sie sich nicht auf das FRESCO-Projekt⁶³). Dort wird studiert, wie sich das kooperative Zusammenwirken von Expertensystemen nutzen läßt, um typische Aufgabenstellungen aus dem Bankbereich zu bearbeiten. Die konzeptionelle Grundlage bildet ein Multi-Agenten-System mit einer Kontraktnetz-Architektur⁶⁴). Auf solche Kontraktnetz-Systeme wird im folgenden näher eingegangen.

62) Diese Einschätzung wird von ZIMMERMANN (1991), S. 103f., bestätigt. Er ordnet die kooperierenden Expertensysteme, die von MERTENS und Mitarbeitern studiert wurden, ohne jeden Vorbehalt in das Konzept der Client/Server-Systeme ein (und zwar zur besonders einfachen Variante der Single-Client/Single-Server Systeme; vgl. S. 104). Das Konzept des Verteilten Problemlösens wird von ZIMMERMANN dagegen noch nicht einmal erwähnt. Dieser Einschätzung hat der Verfasser angesichts der Erläuterungen in der voranstehenden Anmerkung nichts mehr hinzuzufügen.

63) Vgl. KIRN (1991), S. 216ff.; KIRN (1992a), S. 68ff.

64) Leider gehen die Ausführungen der beiden Quellen, die in der voranstehenden Anmerkung angeführt wurden, nicht über Konzeptskizzen hinaus. Daher vermochte ihnen der Verfasser nicht klar zu entnehmen, in welchem Ausmaß es tatsächlich gelungen ist, ein Kontraktnetz-System mit kooperierenden Expertensystemen als Agenten zu implementieren.

3 Kontraktnetz-Systeme für die Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen

3.1 Überblick

Kontraktnetz-Systeme⁶⁵⁾ lassen sich konzeptionell auf die Klasse der Aktor-Systeme⁶⁶⁾ zurückführen. Aktor-Systeme beruhen auf der Idee des "actors"⁶⁷⁾. Sie wurde ursprünglich von HEWITT im Rahmen der KI-Forschung eingebracht, um intelligente informationsverarbeitende Systeme mit der Hilfe einer *prozeduralen* Wissensrepräsentation zu gestalten. Den Kern eines Aktor-Systems bilden prozedurale Programmodule, die als "actors" bezeichnet werden. Sie kommunizieren durch den Austausch von Botschaften miteinander, um sich untereinander abzustimmen.

65) Vgl. zu Kontraktnetz-Systemen SMITH,R. (1977), S. 472; SMITH,R. (1978a), S. 12ff.; SMITH,R. (1978b), S. 278ff.; SMITH,R. (1980), S. 1104ff.; DAVIS,R. (1981), S. 1, 5, 10f. u. 14ff.; SMITH,R. (1981a), S. 64ff.; SMITH,R. (1981b), S. 5ff., 27ff., 60ff., 83ff. u. 106ff.; FOX (1981), S. 73f. u. 78; DAVIS,R. (1983), S. 63f., 71 u. 76ff.; SHAW (1984), S. 36f. u. 147ff.; RAMAMRITHAM (1984), S. 69ff.; VAN DYKE PARUNAK (1987), S. 285ff.; BOETTCHER (1987), S. 1421ff.; GASSER (1987), S. 319f. (eine Kontraktnetzimplementierung in einem verteilten Blackboard-System); DECKER (1987), S. 733 u. 737f.; BAKER (1988), S. 101ff.; VAN DYKE PARUNAK (1988), S. 233ff.; SHAW (1988b), S. 87ff.; DURFEE (1988d), S. 13f(f). u. 18f.; BOND (1988b), S. 7; WERNER (1989), S. 24ff. (ein bemerkenswerter Beitrag zur durchgängigen Formalisierung des Kontraktnetz-Konzepts); BOLTE (1989), S. 21ff.; ALBAYRAK (1990b), S. 82 u. 85f.; HEIN (1991), S. 706ff.; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 11ff.; WOITASS (1991), S. 22f., 29f. u. 33ff.; KIOUNTOUZIS (1992), S. 322f. Vgl. auch die bibliographischen Hinweise in BOND (1988c), S. 38, 39 u. 40 i.V.m. S. 42ff. zu den Stichworten "Contract net", "Markets" bzw. "Negotiation".

Neuerdings werden Kontraktnetz-Systeme auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht thematisiert. Dabei steht die Gestaltung von Produktionsplanungs- und -steuerungssystemen im Vordergrund. Vgl. SHAW (1984), S. 2f. u. 147ff.; SHAW (1985), S. 184ff.; SHAW (1987a), S. 17ff.; SHAW (1987b), S. 1289ff.; VAN DYKE PARUNAK (1987), S. 285 u. 288ff.; KRALLMANN (1987), S. 131; BAKER (1988), S. 100ff. (ein exzellenter Beitrag); SHAW (1988a), S. 138ff.; SHAW (1988b), S. 87 u. 90ff.; SHAW (1988c), S. 85ff.; OW (1988), S. 45ff., insbesondere S. 47ff.; VAN DYKE PARUNAK (1988), S. 233ff.; MALONE (1988), S. 181ff.; MALEY (1988), S. 527ff.; MERTENS (1988c), S. 28f. (i.V.m. Abb. 9 auf S. 27); MERTENS (1989a), S. 9; MERTENS (1989c), S. 840f., 846f. u. 850f.; MERTENS (1989d), S. 2f., 10 u. 14f.; ADELSBERGER (1989), S. 8; VAN DYKE PARUNAK (1990), S. 83f.; WEBER (1990), S. 60ff. (allerdings nur unter massiven Vorbehalten; sie wurden schon im Zusammenhang mit kooperierenden Expertensystemen vorgebracht); MEYER (1990), S. 183; PALLISCHECK (1990), S. 162ff.; ZELEWSKI (1990), S. 61; KRALLMANN (1991b), S. 197ff.; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 26ff., 29f. u. 121ff. (zuletzt etwas undeutlicher, aber z.B. auf S. 124 offensichtlich); ZELEWSKI (1991), S. 261. Darüber hinaus wurden Petrinetze herangezogen, um den Verhandlungsablauf zwischen den Agenten eines Kontraktnetzes explizit zu modellieren. Vgl. SHAW (1984), S. 152f. u. 155ff.; SHAW (1985), S. 186f. u. 188; SHAW (1987a), S. 18ff.; SHAW (1987b), S. 1294ff.; SHAW (1988b), S. 94ff. Dieser Ansatz verdient hier besondere Aufmerksamkeit. Denn das Konzept der Kontraktnetze wurde ursprünglich im Rahmen der Erforschung Künstlicher Intelligenz (KI) entfaltet. Das Petrinetz-Konzept wurde hingegen im Projekt PEMOPS (Näheres dazu in Kürze) benutzt, um Maschinenbelegungsplanungen in Flexiblen Fertigungssystemen so zu modellieren, daß sie sich u.a. mit Hilfe des Verteilten Problemlösens vornehmen lassen. Daher spielen hier Petrinetze die bemerkenswerte Rolle einer konzeptionellen "Schnittstelle". An ihr werden Erkenntnisse der KI-Forschung, die Kontraktnetze, mit produktionswirtschaftlichen Koordinierungsbedürfnissen, den Maschinenbelegungsplanungen, zu einem Gesamtkonzept zusammengeführt. Vgl. schließlich auch noch zu betriebswirtschaftlich orientierten, jedoch nicht mehr produktionswirtschaftlichen Kontraktnetz-Anwendungen FIKES (1982), S. 333ff.; JARKE (1987), S. 658ff.; HAHN (1988), S. 103 u. 111ff.; HAHN (1991a), S. 89.

66) Vgl. HEWITT (1977), S. 325ff.; HEWITT (1978a), S. 1ff.; HEWITT (1978b), S. 367ff.; LIEBERMAN (1981a), S. 2ff.; LIEBERMAN (1981b), S. 2ff.; FAUSER (1981), S. 29; MCARTHUR (1982), S. 181ff.; CORKILL (1983), S. 748ff.; CAMMARATA (1983), S. 767; HEWITT (1984), S. 152f. u. 156f.; AGHA (1986), S. 21ff.; ZELEWSKI (1986), S. 1225; HOLDEN (1987), S. 29; AGHA (1988), S. 398ff.; SCHIRRA (1988a), S. 1ff.; SCHIRRA (1988b), S. 4ff.; SCHIRRA (1988c), S. 4ff.; FERBER (1988), S. 756ff.; ROCHE (1988), S. 5 u. 11ff.; BOND (1988b), S. 7f.; DURFEE (1988d), S. 17f.; SUDA (1988), S. 168f.; BARTH (1988a), S. 417; MATTERN (1988), S. 546ff.; HERDEN (1990), S. 59 i.V.m. S. 46; WOITASS (1991), S. 23, 30 u. 43; WITT (1992), S. 141ff.

67) Vgl. zu diesem "actor"-Ansatz HEWITT (1973), S. 235ff., sowie HEWITT (1977), S. 325f. u. 350f. Vgl. auch die Hinweise darauf bei ZELEWSKI (1986), S. 214f.; DECKER (1987), S. 732f.; BOND (1988b), S. 7; CHAUDHURY (1988), S. 271; unmittelbare; DEMAZEAU (1990b), S. 11; HEIN (1991), S. 683; VON MARTIAL (1992), S. 6.

Es liegt nahe, diesen Ansatz aus der Perspektive des Verteilten Problemlösens auf das Vernetzungskonzept interagierender, intelligenter Knoten zu übertragen⁶⁸): Die "actors" werden zu Agenten, die in ein gemeinsames Kommunikationsnetzwerk eingebettet sind und darin nebenläufig operieren können. Sie koordinieren ihre Operationen, indem sie Informationen über Operationsvoraussetzungen oder -ergebnisse wechselseitig versenden und empfangen. Daher überrascht es nicht, daß die "actors" des öfteren als konzeptioneller Ursprung der Agenten aus heute diskutierten Multi-Agenten-Systemen betrachtet werden⁶⁹). Allerdings erfolgt gegenüber dem Aktor-Konzept sowohl eine Erweiterung als auch eine charakteristische Einengung.

Einerseits bleiben die Agenten eines Kontraktnetz-Systems keineswegs auf die einfachen prozeduralen Programmmodule beschränkt, wie sie noch für Aktor-Systeme typisch waren. Statt dessen können die Agenten eines Kontraktnetz-Systems im Prinzip beliebig komplex strukturiert sein. Insbesondere lassen sich softwaretechnische Fortschritte nutzen, um die Agenten als leistungsfähige aktive Einheiten zu implementieren. Z.B. kann auf die reichhaltigen Gestaltungsmittel der objektorientierten Programmierung zurückgegriffen werden. Andererseits wird nicht mehr jeder beliebige Botschaftenaustausch zwischen den Agenten zugelassen. Vielmehr werden nur solche Botschaften gestattet, die einem bestimmten Zweck dienen: dem Abschluß von Bearbeitungskontrakten zwischen den Agenten.

3.2 Konkretisierung für Aufgaben der Prozeßkoordinierung

3.2.1 Grobkonzept

Die allgemeine Architektur von Kontraktnetz-Systemen muß jeweils auf jenen Aufgabenbereich zugeschnitten werden, dessen Probleme "verteilt" gelöst werden sollen. Hier wird nur die Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen betrachtet, wie sie etwa bei Werkstattfertigung oder in Flexiblen Fertigungssystemen erforderlich ist⁷⁰).

Zunächst wird die Kontraktnetz-Architektur um eine Agenda erweitert. Die Agenda enthält alle Informationen über diejenige Aufgabe, die durch das Zusammenwirken der Agenten bearbeitet wird. Für dezentrale PPS-Systeme umfaßt die Aufgabenbeschreibung zwei Hauptkomponenten. Es handelt sich einerseits um das Modell des jeweils zugrundeliegenden, realen Produktionssystems. Hinzu kommt andererseits die Spezifizierung von Aufträgen, die in diesem Produktionssystem abgewickelt werden sollen. Die Gesamtheit aller Informationen über Produktionssystemmodell und Auftragspezifizierung werden in der Agenda vorgehalten. Sie steht dort den Agenten eines Kontraktnetz-Systems gemeinsam zur Verfügung, damit sie sich über die jeweils aktuelle Produktionssituation informieren können. Aus der aktuellen Situationsbeschreibung entnehmen die Agenten, welche Teilaufgaben von ihnen übernommen und bearbeitet werden können. Nachdem ein Agent eine Teilaufgabe erfüllt hat, aktualisiert er die Situationsbeschreibung. Zu diesem Zweck übermittelt er das Resultat seiner Teilaufgabenbearbeitung an die Agenda. Dort geht das Produktionssystemmodell in einen neuen Zustand über. Zugleich wird der Abwicklungszustand desjenigen Auftrags, zu dem die gerade erfüllte Teilaufgabe gehört, entsprechend aktualisiert.

68) Vgl. die Quellen, die bereits in der vorletzten Anmerkung zu Actor-Systemen aufgeführt wurden.

69) Vgl. VON MARTIAL (1992), S. 6.

70) Die Ausführungen beruhen auf Erkenntnissen aus dem Forschungsprojekt PEMOPS (Petrietzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme), das vom Verfasser am Industrieseminar der Universität zu Köln durchgeführt wurde. Ein abschließender Projektbericht wird zur Zeit erstellt.

Des weiteren bedarf es einer Konkretisierung der Art und Weise, in der sich die Agenten untereinander abstimmen. Ein Verweis auf unmittelbaren Botschaftenaustausch zwischen den Agenten reicht dazu nicht aus. Insbesondere gewährt er überhaupt keinen Aufschluß darüber, in welcher Beziehung die wechselseitige Agentenkoordinierung zu den namensprägenden "Kontrakten" stehen mag. Diese Konkretisierungslücke wird nun geschlossen. Den Ausgangspunkt bilden die Botschaften, die in den Kommunikationskanälen zwischen den Agenten hin- und herfließen können. Aus syntaktischer Sicht handelt es sich bei den Botschaften schlicht um Informationen. In semantischer Hinsicht besitzen diese Informationen jedoch eine besondere Qualität, die für Kontraktnetz-Systeme von zentraler Bedeutung ist:

- Entweder fragt ein Agent durch das Aussenden einer Botschaft bei anderen Agenten nach, ob sie die Bearbeitung einer Teilaufgabe übernehmen möchten.
- Oder ein Agent bietet durch das Absenden einer Botschaft seinerseits an, die Bearbeitung einer Teilaufgabe für einen anderen Agenten zu übernehmen.

Zu einem *Kontrakt* zwischen zwei Agenten kann es kommen, falls sie einerseits eine Bearbeitungsnachfrage und andererseits ein Bearbeitungsangebot abgesandt haben, die sich gegenseitig entsprechen. Allerdings muß in diesem Fall keineswegs zwangsläufig ein Bearbeitungskontrakt abgeschlossen werden. Denn es kann durchaus der Fall sein, daß z.B. die Bearbeitungsnachfrage eines Agenten von mehreren entsprechenden Bearbeitungsangeboten anderer Agenten beantwortet wird. Ebenso ist es möglich, daß dasselbe Bearbeitungsangebot eines Agenten mit Bearbeitungsnachfragen von mehreren anderen Agenten korrespondiert. In solchen Konfliktfällen ist ein Auswahlmechanismus erforderlich, der festlegt, welche von den konkurrierenden Agentenpaaren jeweils im Sinne eines Kontraktabschlusses zum Zuge kommen.

Abb. 1 skizziert in einer ersten, noch groben Annäherung die Architektur eines Kontraktnetz-Systems, das für die Prozeßkoordinierung in Produktionssystemen ausgelegt ist. Es beruht auf der Annahme, daß die Agenten "1", "2" usw. jeweils nur Bearbeitungsnachfragen aussenden und entsprechende Bearbeitungsangebote empfangen können. Der Agent "N" besitzt dagegen die komplementäre Charakteristik, lediglich Bearbeitungsangebote aussenden und Bearbeitungsnachfragen empfangen zu können. Darüber hinaus erfolgt eine Verfeinerung der Kommunikationskanäle, die jeweils zwei Agenten miteinander verknüpfen. Sie werden durch lokale Agenten erweitert. Mit ihrer Hilfe kann ein Kommunikationskanal eine Botschaft, die von einem Agenten abgesandt wurde, so lange zwischenspeichern, bis sie vom jeweils adressierten Agenten entgegengenommen wird. Auf diese Weise läßt sich z.B. berücksichtigen, daß ein Agent während der Ausführung seiner internen Informationsverarbeitungsprozesse daran gehindert sein kann, außen vorliegende Botschaften zur Kenntnis zu nehmen. Entsprechend wurde das aufgabenbeschreibende Produktionssystemmodell in eine Restagenda umbenannt.

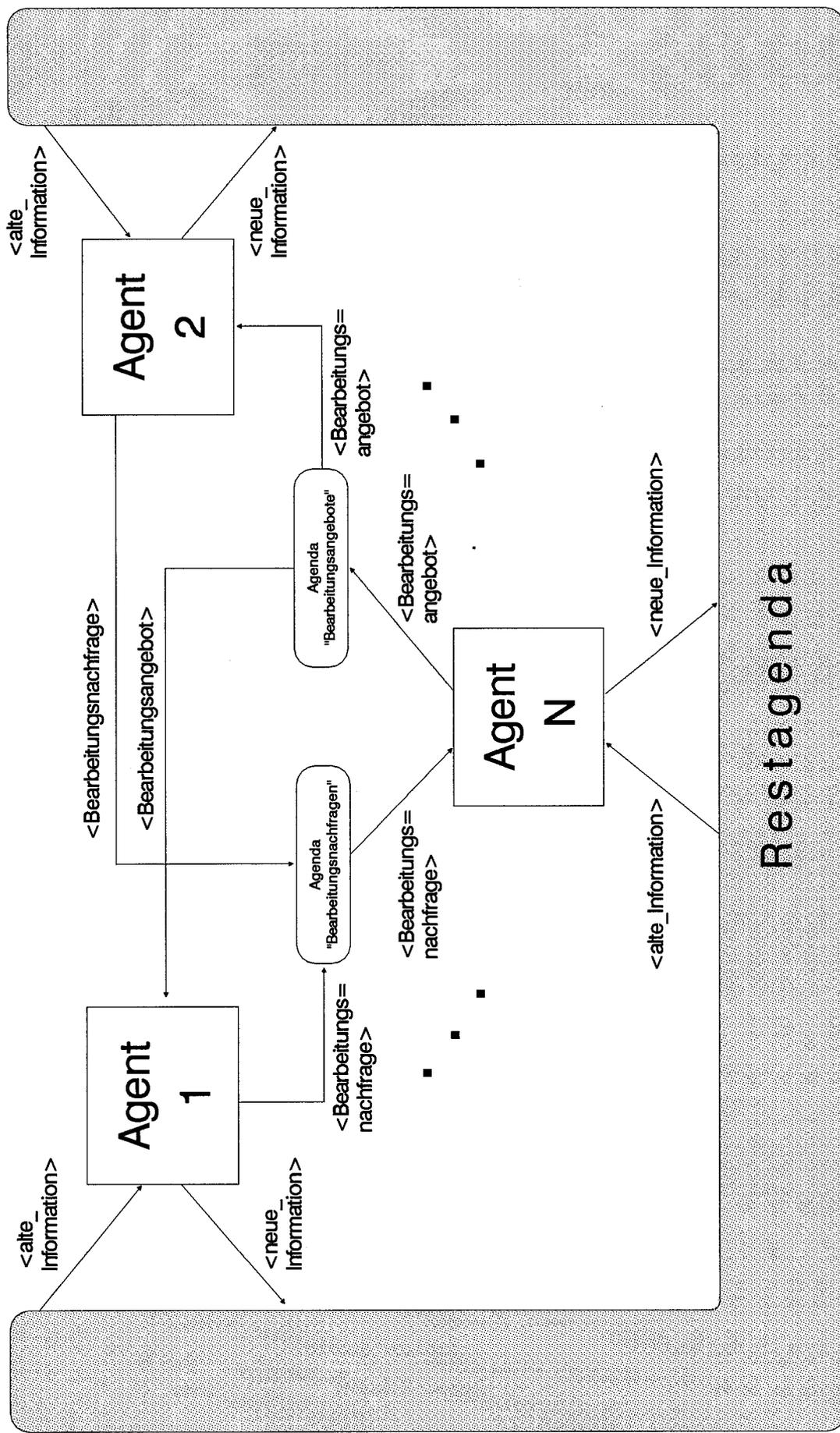


Abb. 1: Grobdarstellung einer Kontraktnetz-Architektur

3.2.2 Verfeinerung durch Verhandlungsprotokolle

Die Gesamtheit aller Mechanismen, mit denen die kontraktbasierte wechselseitige Abstimmung unter den Agenten gesteuert wird, faßt ein Verhandlungsprotokoll⁷¹⁾ zusammen. Es bildet den konzeptionellen Kern der Kontraktnetz-Architektur. Das Verhandlungsprotokoll bestimmt, auf welche Weise die Agenten eines Kontraktnetz-Systems über ihre Nachfragen und Angebote von Teilaufgabenbearbeitungen verhandeln können. Dadurch wird der Kontraktnetz-Architektur aus ökonomischer Sicht ein besonderer Reiz verliehen. Denn zu den wichtigsten Koordinierungsmechanismen für arbeitsteiliges Wirtschaften zählen Kontrakte, die von (teil)autonomen Agenten wechselseitig ausgehandelt werden⁷²⁾. Wegen dieser dezidiert ökonomischen Ausrichtung wird auch des öfteren davon gesprochen, die Architektur von Kontraktnetz-Systemen konstituierte für das Verteilte Problemlösen ein "Markt-Paradigma" ("market metaphor")⁷³⁾. Mitunter wird sogar ein Bezug zu SCHMALENBACH's Konzept pretialer Lenkung hergestellt⁷⁴⁾.

71) Vgl. zu solchen Verhandlungsprotokollen, die oftmals auch als Problemlösungsprotokolle, als Verhandlungsparadigmen oder ähnlich bezeichnet werden, SMITH,R. (1978a), S. 12f.; SMITH,R. (1980), S. 1106ff. u. 1111f.; SMITH,R. (1981b), S. 58ff., 63ff. u. 89ff.; DAVIS,R. (1981), S. 10 u. 15ff.; DAVIS,R. (1983), S. 70f. u. 77ff.; DECKER (1987), S. 733; KOO (1988), S. 291ff., insbesondere S. 294f.; CONRY (1988), S. 375ff.; BAKER (1988), S. 104f. (mit einer besonders gehaltvollen Protokollardarstellung); BOND (1988b), S. 32; WERNER (1989), S. 25ff. (eine streng formalisierte Rekonstruktion der Verhandlungsprotokolle); HÄMMÄINEN (1990), S. 243ff. (dort als "negotiation models"); DEMAZEAU (1990b), S. 8; HEIN (1991), S. 707f.; BURMEISTER (1992a), S. 15.

Eine bemerkenswerte konzeptionelle Fortentwicklung der Verhandlungsprotokolle von Kontraktnetz-Systemen beschreibt DURFEE (1988d), S. 189ff., 205f. u. 244, im Rahmen seines "partial global planning"-Konzepts. Vgl. ebenso HAHN (1990), S. 7f. u. 11ff., sowie HAHN (1991b), S. 472f. u. 476f. Dort werden Protokolle angeführt, die sich auf eine Verhandlung zwischen einem Auftraggeber und einem Auftragnehmer beschränken. Dadurch bleibt der Versteigerungsaspekt ausgeklammert, der im folgenden noch eine größere Rolle spielen wird. Statt dessen erfolgt aber eine umfangreiche Gestaltung des Verhandlungsablaufs. Sie reicht über das Ausmaß hinaus, das für Kontraktnetz-Systeme üblich ist. Dazu gehört z.B. der Sachverhalt, daß ein Auftragnehmer noch einmal ein Auftragserefüllungsversprechen (Commitment) an seinen Auftraggeber zurücksendet, nachdem der Auftragnehmer eine Bearbeitungsaufgabe übertragen erhalten hat (vgl. HAHN (1990), S. 7). Aufgrund solcher Erweiterungen bietet es sich an, zur Verfeinerung der Verhandlungsprotokolle von Kontraktnetz-Systemen auf den vorgenannten Beitrag zurückzugreifen. Vgl. am Rande auch die Verallgemeinerung von Verhandlungsprotokollen zu generellen Wissensaustauschprotokollen bei CAMPBELL (1990), S. 63ff. Allerdings ist mit dieser Verallgemeinerung auch eine Einbuße an inhaltlicher Präzision und Operationalität einhergegangen. Bei DURFEE (1990), S. 86ff., verblaßt schließlich der Verhandlungscharakter nahezu völlig. Dort wird ein Protokoll diskutiert, das "nur" noch ein Problemlösungsprotokoll darstellt. Es bezieht sich auch nicht mehr auf Kontraktnetz-Systeme. Gleiches gilt für "wissensbasierte Protokolle", auf die sich SUDA (1988), S. 181, bezieht.

Verhandlungs- und Problemlösungsprotokolle sind von den Kommunikationsprotokollen, die etwa im Zusammenhang mit Client/Server-Konzepten eine herausragende Rolle spielen, deutlich zu unterscheiden. Denn Kommunikationsprotokolle steuern lediglich den Austausch von Informationen in verteilten Informationsverarbeitungssystemen. Dabei orientieren sie sich ausschließlich an rein informationstechnischen Gestaltungsaspekten. Die Kommunikationsprotokolle bestimmen weder den Inhalt der ausgetauschten Informationen noch die Art der Informationsverarbeitung bei ihren Sendern und Empfängern. Insbesondere nehmen sie keinen Bezug auf die betriebswirtschaftlich interessanten Fragestellungen, wie Bearbeitungsnachfragen und -angebote jeweils erzeugt sowie in Kontrakten miteinander zur Deckung gebracht werden. Genau diese Spezifizierungen von Informationsinhalt und -verarbeitung leistet dagegen das Verhandlungsprotokoll eines Kontraktnetz-Systems.

72) Vgl. z.B. WILLIAMSON (1990), *passim*, z.B. S. 19f., 22ff. u. 34ff.

73) Vgl. zu dieser ausgeprägt marktwirtschaftlichen Facette der Kontraktnetz-Architektur CHANDRASEKARAN (1981), S. 4; MALONE (1988), S. 181; BOND (1988b), S. 15 u. 20; MERTENS (1989c), S. 846f.; MERTENS (1989d), S. 10; ADELSBERGER (1989), S. 8; HÄMMÄINEN (1990), S. 245; WOITASS (1991), S. 33.

74) Vgl. MERTENS (1989c), S. 847; MERTENS (1989d), S. 10.

Zumeist nimmt das Verhandlungsprotokoll eines Kontraktnetz-Systems die Gestalt eines Auktionsverfahrens ("task bidding")⁷⁵⁾ an. Mit seiner Hilfe werden die nachgefragten Bearbeitungen von Teilaufgaben an die jeweils bestbietenden Agenten "versteigert". Damit wird derjenige Auswahlmechanismus präzisiert, der im Falle konkurrierender Agentenpaare darüber bestimmt, welches von ihnen im Sinne eines Kontraktabschlusses zum Zuge kommt. Allerdings ist der Auswahlmechanismus auf diese Weise noch keineswegs eindeutig spezifiziert. Statt dessen steht weiterhin eine Vielzahl von Gestaltungsoptionen offen. Grundsätzlich können zwei verschiedenartige Freiheitsgrade unterschieden werden:

- Der eine Freiheitsgrad erstreckt sich auf die Frage, welche Agentenpaare zur Teilnahme an einer Auktion - und damit als potentielle Kontraktpartner - überhaupt zugelassen werden.
- Der andere Freiheitsgrad betrifft die Art und Weise, in der aus dem Kreis der Auktionsteilnehmer diejenigen Agentenpaare ausgewählt werden, die jeweils eine Kombination aus einer Bearbeitungsnachfrage und einem besten Bearbeitungsangebot darstellen.

Um den letztgenannten Freiheitsgrad auszuschöpfen, müssen einerseits diejenigen Kriterien inhaltlich festgelegt werden, die für Bearbeitungsnachfragen jeweils beste Bearbeitungsangebote auszeichnen. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, die entscheidungsrelevanten Formalziele und die Ausmaße ihrer intendierten Erfüllung zu fixieren. Andererseits muß das konkrete Procedere angegeben werden, das in der Lage sein soll, die - nunmehr inhaltlich bestimmten - besten Bearbeitungsangebote für jede Bearbeitungsnachfrage zu ermitteln. Es bedarf also einer algorithmischen Präzisierung des Auswahlmechanismus.

Die Gestaltungsmaßnahmen, die sich mit der Ausschöpfung des zweiten Freiheitsgrades befassen, werden hier nicht weiter vertieft. Statt dessen wird nur noch der erstgenannte Freiheitsgrad betrachtet, der die "Paarung" von Agenten bei einer Versteigerung von Bearbeitungsaufgaben betrifft.

3.2.3 Rollenverteilung der Agenten

3.2.3.1 Manager/Kontraktor-Variante

Die Standardvariante⁷⁶⁾ der Kontraktnetz-Architektur besitzt einen asymmetrischen Charakter. Den Ausgangspunkt bildet *genau ein* Agent, der als *Nachfrager* nach einer Bearbeitungsleistung auftritt. Dafür kommt angesichts der hier interessierenden Thematik, Produktionsprozesse zu koordinieren, nur ein Auftragsagent in Betracht. Er sendet an alle anderen Agenten seines Kontraktnetz-Systems Aufforderungen, ihm ein entsprechendes Bearbeitungsangebot zu unterbreiten.

75) Vgl. z.B. SMITH,R. (1978a), S. 12f.; SMITH,R. (1980), S. 1107f.; SMITH,R. (1981b), S. 97ff. (mit einem detailliert dokumentierten, protokollgesteuerten Auktionsablauf auf S. 133ff.); DAVIS,R. (1981), S. 15ff.; DAVIS,R. (1983), S. 77ff.; BAKER (1988), S. 100 u. 102; ADELSBERGER (1989), S. 8. Ähnliche Auktionsverfahren finden auch außerhalb der Kontraktnetz-Systeme zunehmend Beachtung. Vgl. z.B. BARR (1989), S. 26ff. (mit einer bemerkenswerten Implementierung auf S. 28ff., die sowohl den objektorientierten Gestaltungsansatz befolgt als auch eine nebenläufige Mechanismusausführung ermöglicht); BERTSEKAS (1989), S. 364ff.; BERTSEKAS (1990), S. 134ff.

76) Vgl. zu dieser Standardvariante, die im folgenden als Manager/Kontraktor-Variante herausgearbeitet wird, SMITH,R. (1978a), S. 12f.; SMITH,R. (1981b), S. 60ff. u. 95ff.; DAVIS,R. (1981), S. 15ff.; SMITH,R. (1981a), S. 64f.; DAVIS,R. (1983), S. 76ff.; Hämmäinen (1990), S. 245f.; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 12f. u. 124.

Jeder andere Agent, der eine Aufforderung zur Abgabe eines Bearbeitungsangebots empfängt, überprüft zunächst, ob er ein entsprechendes Bearbeitungsangebot aussprechen kann. Dafür kommen nur Agenten in Betracht, die eine eigene Bearbeitungsstation verwalten. Jeder dieser Bearbeitungsagenten vergleicht die Spezifizierung der erhaltenen Angebotsaufforderung mit den Bearbeitungsfähigkeiten seiner verwalteten Bearbeitungsstation und mit ihrer aktuellen Kapazitätsauslastung. Falls er dabei zu dem Ergebnis gelangt, daß er die nachgefragte Bearbeitungsleistung in der aktuellen Produktionssituation zu erbringen vermag, arbeitet der Bearbeitungsagent ein entsprechendes Bearbeitungsangebot aus. Dieses Bearbeitungsangebot kann z.B. Angaben über die Bearbeitungsgeschwindigkeit und die anfallenden Bearbeitungskosten umfassen. Schließlich sendet jeder Bearbeitungsagent, der ein eigenes Bearbeitungsangebot aufgestellt hat, eine Botschaft mit der Angebotsbeschreibung an den nachfragenden Auftragsagenten zurück.

Der nachfragende Auftragsagent sammelt alle Bearbeitungsangebote, die auf seine Anforderungen hin von Bearbeitungsagenten zurückgesandt worden sind⁷⁷⁾. Aus diesen Bearbeitungsangeboten wählt der Auftragsagent ein⁷⁸⁾ bestes Angebot aus. Dabei greift er auf diejenigen Formalziele und intendierten Ausmaße der Formalzielerfüllung zurück, die bereits kurz zuvor angesprochen wurden. Schließlich sendet der Auftragsagent eine Botschaft an den einen ausgewählten Bearbeitungsagenten, in der die Annahme seines Bearbeitungsangebots bestätigt wird. In diesem Moment ist ein Bearbeitungsvertrag zustande gekommen. Er besteht zwischen dem einen Auftragsagenten, der ursprünglich eine Nachfrage nach einer Bearbeitungsleistung bekundet hatte, und dem einen Bearbeitungsagenten, dessen bestes Bearbeitungsangebot ausgewählt wurde. Zusätzlich können alle anderen Bearbeitungsagenten, deren Bearbeitungsangebote nicht angenommen wurden, darüber ebenso informiert werden⁷⁹⁾. Diese Option wird in der nachfolgenden Abb. 2 wahrgenommen.

77) Ein besonderes Problem besteht darin, diejenige Zeitspanne festzulegen, die der nachfragende Auftragsagent für das Einsammeln von Bearbeitungsangeboten aufbringt. Denn der Auftragsagent kennt weder die Geschwindigkeiten, mit denen die einzelnen Bearbeitungsagenten ihre Bearbeitungsangebote erstellen, noch die Geschwindigkeiten, mit denen die Botschaften über die Angebote von den Kommunikationskanälen weitergeleitet werden. Daher kann es durchaus dazu kommen, daß der Auftragsagent sein Einsammeln von Bearbeitungsangeboten beendet, noch bevor alle tatsächlich ausgesprochenen Bearbeitungsangebote bei ihm eingetroffen sind. Von solchen Feinheiten, die durchaus zum Verfehlen intendierter Formalzielerfüllungen führen können, wird hier abgesehen.

78) Es können mehrere beste Bearbeitungsangebote vorliegen. Wenn dies der Fall ist, wählt der Auftragsagent daraus irgendeines nach einer beliebigen eindeutigkeitstiftenden Regel ("tie breaking rule") aus.

79) Solche Ablehnungsbotschaften werden in den Quellen, die in einer der voranstehenden Anmerkungen zur Standardvariante der Kontraktnetz-Architektur angeführt wurden, nicht erwähnt. Daher drohen Komplikationen besonderer Art. Sie können immer dann eintreten, wenn ein Bearbeitungsagent ein erstes Bearbeitungsangebot an einen Auftragsagenten abgesandt, aber keine Bestätigungsbotschaft erhalten hat. Empfängt dieser Bearbeitungsagent nun von einem anderen Auftragsagenten erneut eine Aufforderung, ein zweites Bearbeitungsangebot zu unterbreiten, so weiß der Bearbeitungsagent nicht, ob er die bereits angebotene Bearbeitungskapazität erneut anbieten kann oder nicht. Erstes wäre der Fall, wenn sein erstes Bearbeitungsangebot abgelehnt worden wäre. Zweites wäre bei einer Annahme seines Bearbeitungsangebots der Fall. Da weder eine Ablehnungs- noch eine Bestätigungsbotschaft eingetreten ist, bleibt offen, welcher Fall tatsächlich vorliegt. Wenn der eine Auftragsagent das erste Bearbeitungsangebot abgelehnt hat, wird der Bearbeitungsagent sogar unendlich lange in seinem Nichtwissen verfangen bleiben. Denn qua Voraussetzung erhält er keine Ablehnungsbotschaft. Allerdings wird die zuvor skizzierte Komplikation bei der Standardvariante der Kontraktnetz-Architektur dadurch vermieden, daß immer nur genau ein Auftragsagent als Nachfrager von Bearbeitungsleistungen auftritt. Ein zweiter Auftragsagent wird erst dann betrachtet, wenn die Versteigerung einer Bearbeitungsnachfrage vollständig abgewickelt ist. Es darf vermutet werden, daß beim Versteigerungsabschluß alle Bearbeitungsagenten von einer übergeordneten Systemkontrolle in einen Ausgangszustand "zurückgesetzt" werden, in denen keine unbeantworteten Bearbeitungsangebote mehr vorliegen. Diese Zurücksetzungsoperation entspricht einer Ablehnungsbotschaft für alle Bearbeitungsagenten, deren Bearbeitungsangebote nicht angenommen wurden. Leider wird in den vorgenannten Quellen darüber keine nähere Auskunft erteilt.

Nach einem Kontraktabschluß kann derselbe oder ein anderer Auftragsagent mit einer neuen Nachfrage für eine Bearbeitungsleistung in Erscheinung treten. Das zuvor skizzierte Procedere wird dann für die Versteigerung der zweiten Nachfrage wiederholt. Auf diese Weise wird solange fortgeschritten, bis die Bearbeitungsnachfragen aller Auftragsagenten an jeweils bestbietende Bearbeitungsagenten versteigert worden sind.

Die Standardvariante der Kontraktnetz-Architektur setzt voraus, daß die Suche nach Kontrakten zwischen dem nachfragenden Auftragsagenten und einem bestbietenden Bearbeitungsagenten immer durch die Initiative eines Auftragsagenten eingeleitet wird. Nur der nachfragende Auftragsagent ist in der Lage, durch das Aussenden von Aufforderungen zur Abgabe eines Angebots einen kontraktherbeiführenden Versteigerungsprozeß auszulösen. Wegen seiner dominanten Position bei der Versteigerung von Bearbeitungsleistungen wird der eine nachfragende Auftragsagent oftmals als "Manager" bezeichnet⁸⁰). Die Bearbeitungsagenten, die auf der Angebotsaufforderungen des Managers mit entsprechenden Bearbeitungsangeboten reagieren, werden dann als (potentielle⁸¹) "Kontraktoren" angesprochen⁸²). Daher läßt sich die Standardvariante der Kontraktnetz-Architektur als Manager/Kontraktor-Variante benennen⁸³). Ihre charakteristische Versteigerungsart wird anhand der schematischen Darstellung der Abb. 2 noch einmal zusammengefaßt⁸⁴).

80) Vgl. SMITH,R. (1978a), S. 13; SMITH,R. (1981a), S. 65 u. 69; SMITH,R. (1981b), S. 60; DAVIS,R. (1981), S. 15; DAVIS,R. (1983), S. 76f.; HÄMMÄINEN (1990), S. 245f.

81) Auf dieses präzisierende Attribut wird in der einschlägigen Literatur gemeinhin verzichtet. Zu den seltenen Ausnahmen, in denen es explizit erwähnt wird, zählt HÄMMÄINEN (1990), S. 245.

82) Vgl. SMITH,R. (1978a), S. 13; SMITH,R. (1981a), S. 65; SMITH,R. (1981b), S. 60; DAVIS,R. (1981), S. 15; DAVIS,R. (1983), S. 76f.; HÄMMÄINEN (1990), S. 245f.

83) Vgl. HÄMMÄINEN (1990), S. 246, Figure 4; HAHN (1990), S. 11.

84) Ähnliche schematische Abbildungen finden sich auch bei HÄMMÄINEN (1990), S. 246; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 12. Allerdings wird dort zumeist eine weiterreichende Vergabe von Subkontrakten unterstellt (z.B. bei KOTSCHENREUTHER). Dies würde für die Koordinierung von Produktionsprozessen, die hier interessiert, folgendes bedeuten: Ein Bearbeitungsagent, dessen Bearbeitungsangebot von einem nachfragenden Auftragsagenten angenommen wurde, fragt seinerseits nach weiteren Bearbeitungs(teil)leistungen nach, die ihm dabei helfen, seine angebotene und auch angenommene Bearbeitungsleistung zu erbringen. Dadurch schlüpft der Bearbeitungsagent, der zuvor noch bei der Versteigerung einer Bearbeitungsnachfrage als "Kontraktor" auftrat, jetzt selbst in die Rolle eines "Managers". Diese Sichtweise wird hier jedoch nicht geteilt. Sie würde nämlich dazu führen, daß der Bearbeitungsagent einer Bearbeitungsstation nach untergeordneten "Bearbeitungs(teil)leistungen" nachfragt. Dies läßt sich zwar in Sonderfällen durchaus vorstellen. Sie liegen z.B. dann vor, wenn ein Bearbeitungsagent eine Station verwaltet, die ihrerseits aus mehreren Substationen zusammengesetzt ist. Es kann sich etwa um eine Maschinengruppe handeln. Solche Fälle werden in dieser Arbeit jedoch nicht näher betrachtet. Statt dessen stellen alle Bearbeitungsstationen atomare Einheiten dar. Daher muß jeder Bearbeitungsagent seine angebotene Bearbeitungsleistung vollständig auf seiner eigenen Bearbeitungsstation erbringen lassen. Die Vergabe von Subkontrakten scheidet daher aus. Vgl. dazu die Abb. 9 bei MERTENS (1988c), S. 27. Auch dort unterbleibt die Subkontraktvergabe.

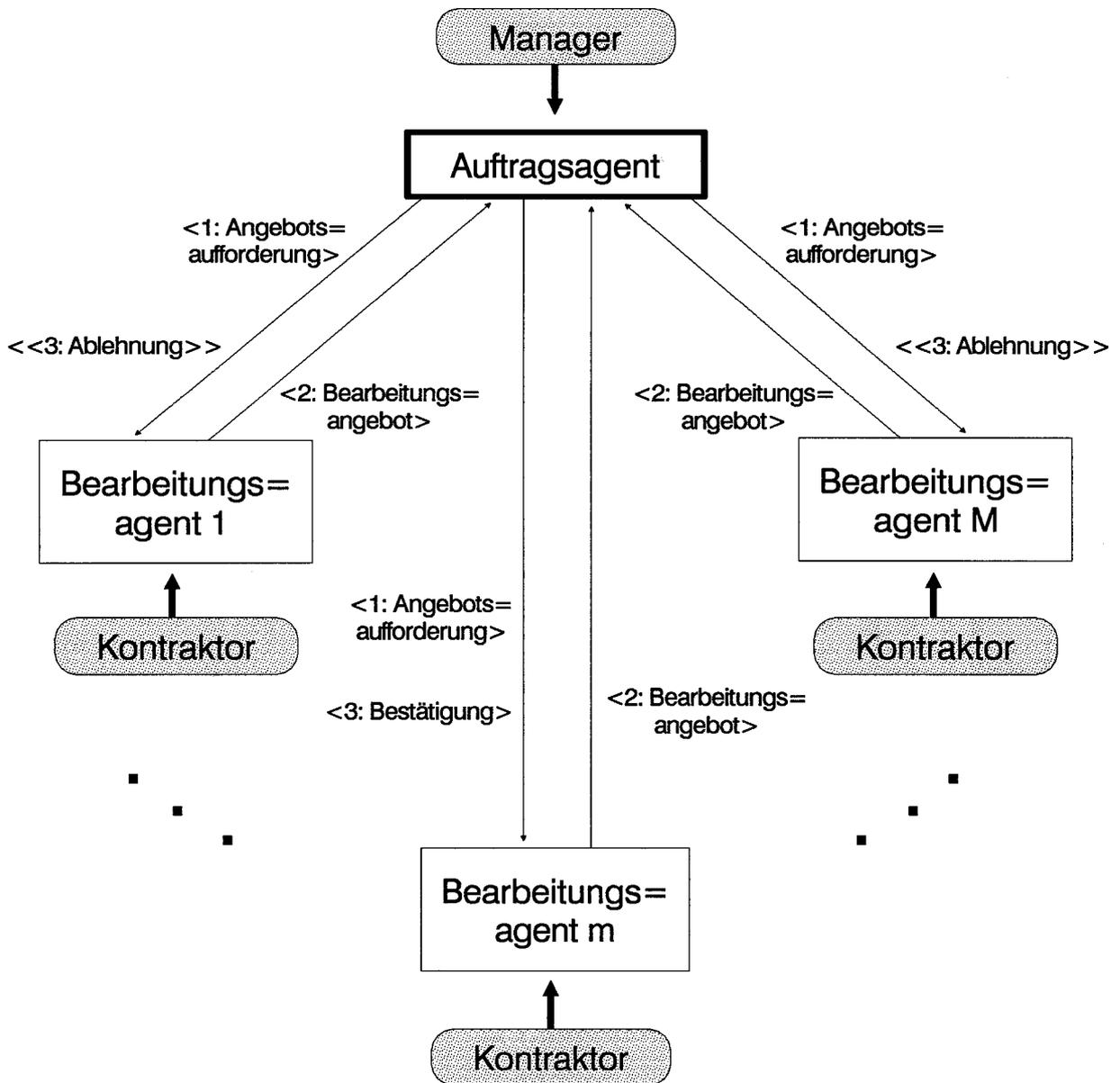


Abb. 2: Versteigerungsschema für die Manager/Kontraktor-Variante der Kontraktnetz-Architektur

Die Manager/Kontraktor-Variante leidet jedoch unter einer gravierenden Einschränkung. Sie gestattet nur solche Versteigerungen, in denen jeweils für *genau eine* Bearbeitungsnachfrage nach einem bestbietenden Bearbeitungsagenten gesucht wird. Dadurch wird einerseits ausgeschlossen, daß mehrere Bearbeitungsnachfragen desselben Auftragsagenten zugleich versteigert werden. Sie könnten aber durchaus in derselben Produktionssituation vorliegen. Denn des öfteren tritt bei der Abwicklung eines Auftrags der Fall ein, daß mehrere unterschiedliche Arbeitsgänge zur selben Zeit ausgeführt werden können, weil sie sich auf verschiedene Werkstücke erstrecken. Andererseits wird ebensowenig zugelassen, daß mehrere Bearbeitungsnachfragen zugleich versteigert werden, die von unterschiedlichen Auftragsagenten bekundet worden sind.

3.2.3.2 Koordinator-Variante

Die Koordinierungsmängel der Manager/Kontraktor-Variante lassen sich überwinden. Zu diesem Zweck wird die Koordinator-Variante der Kontraktnetz-Architektur eingeführt. Sie zeichnet sich durch ihre symmetrische Versteigerungsart aus. In ihr dominieren weder die Auftragsagenten, die Bearbeitungsleistungen für die Ausführungen von Arbeitsgängen nachfragen, noch die Bearbeitungsagenten, die Bearbeitungsleistungen ihrer verwalteten Bearbeitungsstationen anbieten. Statt dessen kommen alle Auftrags- und Bearbeitungsagenten, deren Bearbeitungsnachfragen bzw. -angebote in derselben Produktionssituation bestehen, als gleichberechtigte Partner von Bearbeitungskontrakten in Betracht. Um diese Symmetrie zu verwirklichen, muß der frühere Ansatz aufgegeben werden, der von vorliegenden Bearbeitungsnachfragen ausging und daraus Aufforderungen zur Abgabe entsprechender Bearbeitungsangebote ableitete. An seine Stelle tritt ein Mechanismus, der auf das bereits eingeführte Instrument der Agenden zurückgreift.

Die Bearbeitungsagenten warten bei der Koordinator-Variante nicht mehr passiv ab, bis sie eine Aufforderung zur Abgabe eines Bearbeitungsangebots empfangen. Vielmehr wird ein Bearbeitungsagent von sich aus aktiv, sobald er festgestellt hat, daß seine Bearbeitungsstation in der aktuellen Produktionssituation über freie Bearbeitungskapazität verfügt. Dann sendet der Bearbeitungsagent ein entsprechendes Bearbeitungsangebot an den Koordinationsagenten. Der Koordinationsagent sammelt auf einer Agenda alle Bearbeitungsangebote, die ihm von Bearbeitungsagenten zugesandt werden. Davon unabhängig sammelt er auf einer zweiten Agenda ebenso alle Bearbeitungsnachfragen, die von Auftragsagenten bekundet wurden.

Die Versteigerungsaktivität des Koordinationsagenten erstreckt sich lediglich auf zwei Teilaufgaben. Erstens überwacht er fortlaufend, ob sich auf seinen beiden Agenden Bearbeitungsangebote und Bearbeitungsnachfragen befinden, die zueinander passen. Dies ist genau dann der Fall, wenn die Ausführung eines Arbeitsgangs auf derselben Bearbeitungsstation sowohl angeboten als auch nachgefragt wird. Jedes Paar aus einem Bearbeitungs- und einem Auftragsagenten, deren Bearbeitungsangebot bzw. -nachfrage derart zusammenpassen, kommt für einen Bearbeitungskontrakt in Betracht. Falls sich auf den beiden Agenden des Koordinationsagenten in derselben Produktionssituation Botschaften über mehrere zulässige Agentenpaare befinden, besteht seine zweite Teilaufgabe darin, ein Agentenpaar so auszuwählen, daß zu seinem Auftragsagenten ein bestbietender Bearbeitungsagent gehört.

Ein Bearbeitungskontrakt kommt abermals dadurch zustande, daß einem Auftragsagenten ein bestbietender Bearbeitungsagent tatsächlich zugeordnet wird. Danach werden zwei Bestätigungsbotschaften abgesandt, die den betroffenen Auftragsagenten und den ebenso involvierten Bearbeitungsagenten über ihre wechselseitige Zuordnung informieren. Die Botschaften werden auf zwei weiteren Agenden abgelegt. Auf der einen werden Bearbeitungs-

agenten über die Annahme ihrer Bearbeitungsangebote informiert; auf der anderen erhalten Auftragsagenten Auskunft über die Befriedigung ihrer Bearbeitungsnachfragen.

Dagegen werden diesmal keine Ablehnungsbotschaften an die übrigen Auftrags- und Bearbeitungsagenten verschickt, deren Bearbeitungsnachfragen bzw. -angebote in dem soeben abgeschlossenen Bearbeitungsvertrag nicht zusammengeführt wurden. Denn der Koordinationsagent kann unmittelbar nach dem Abschluß seiner Versteigerungsaktivität die Möglichkeit eines neuen Bearbeitungsvertrags überprüfen. Zu diesem Zweck braucht er lediglich auf die Bearbeitungsangebote und -nachfragen zuzugreifen, die auf seinen beiden anderen Agenten bereits vorliegen, aber bislang noch nicht in einem Vertrag zum Zuge kamen. Auf diese Weise wird eine neue Versteigerungsaktivität eingeleitet. Der Koordinationsagent setzt seine Versteigerungsaktivitäten so lange fort, wie er zueinander passende Bearbeitungsangebote und -nachfragen auf seinen beiden Agenten vorfindet. Abb. 3 gibt das zugrundeliegende Versteigerungsschema wieder.

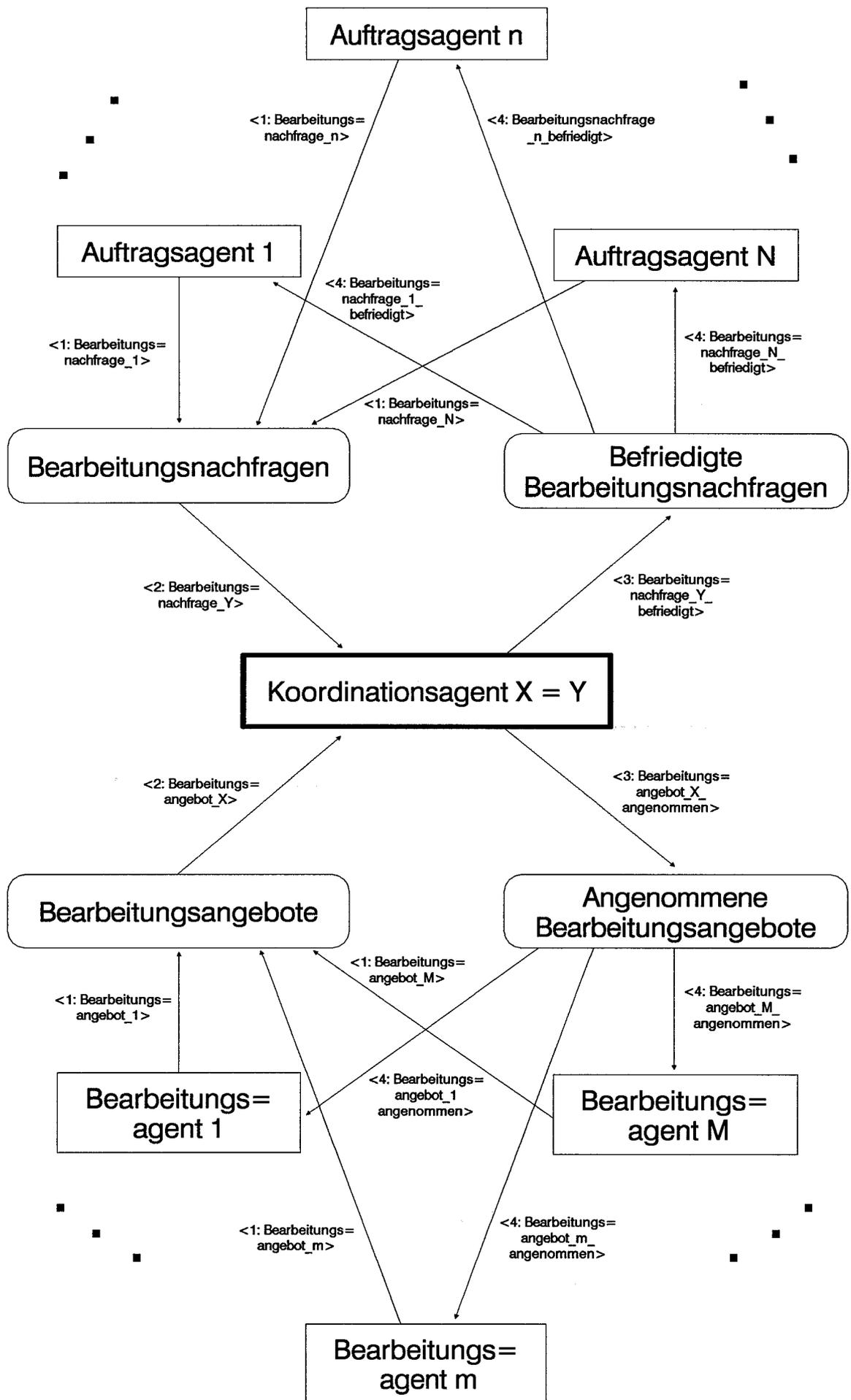


Abb. 3: Versteigerungsschema für die Koordinator-Variante der Kontraktnetz-Architektur

3.2.4 Agentenopportunismus und -kooperation

In einem Multi-Agenten-System vertritt jeder Agent aufgrund seiner Teilautonomie zunächst nur seine "eigenen"⁸⁵⁾ Interessen⁸⁶⁾. Er verhält sich in diesem Sinne "opportunistisch"⁸⁷⁾. Beispielsweise kann ein Auftragsagent darauf abzielen, seinen Auftrag so schnell⁸⁸⁾ oder so kostengünstig⁸⁹⁾ wie möglich abzuwickeln. Ein Bearbeitungsagent mag dagegen bemüht sein, für seine Bearbeitungsstation eine möglichst gleichmäßige oder eine möglichst hohe Auslastung ihrer Bearbeitungskapazität zu erreichen⁹⁰⁾. Oder er zielt darauf ab, die reihenfolgeabhängigen Rüstkosten an seiner Bearbeitungsstation möglichst gering zu halten⁹¹⁾.

Auftragsagenten verhalten sich tendenziell "defektiv"⁹²⁾: Sie kooperieren im allgemeinen nicht miteinander⁹³⁾. Jeder von ihnen muß mit allen anderen Auftragsagenten um die knappen Ressourcen des modellierten Produktionssystems konkurrieren, um "seinen" Auftrag so abzuwickeln, daß die agentenspezifischen Eigeninteressen bestmöglich erfüllt werden. Ein anschauliches Beispiel für die Agentenkonkurrenz liegt vor, wenn einem Agenten die Aufgabe über-

85) Es handelt sich strenggenommen nicht um die Interessen des Agenten selbst. Vielmehr sind die Interessen des Systemgestalters gemeint, die er bei seiner Auslegung eines Multi-Agenten-Systems den Agenten zugeordnet hat.

86) Vgl. zum Eigeninteresse von Agenten DAVIS, R. (1983), S. 77 ("Contract net ... nodes ... evaluate their own level of interest in each task ..."); DURFEE (1987b), S. 30 ("cooperating agents ... only cooperate to improve their own self-interests"; kursive Hervorhebung des Originals hier unterlassen), S. 32ff. (S. 32: "Each problem solver is ... *self-interested* because it attempts to maximize its local rewards") u. S. 54f.; DURFEE (1988d), S. 6 (dort als "self-awareness"); OW (1988), S. 46f., 53 u. 55; VAN DYKE PARUNAK (1988), S. 239; HYNYNEN (1989a), S. 144 ("nodes are ... self-interested"); HYNYNEN (1989b), S. 260 ("self-interested agents"); HÄMMÄINEN (1990), S. 244; SUNDERMEYER (1990), S. 11 u. 13f.; FRAICHARD (1990), S. 137 (in bezug auf Transportroboter: "Each vehicle has its own goal ..."); DEMAZEAU (1990b), S. 4 ("agent ... intentionally with respect to its own goals"); WERNER (1990), S. 17ff., 25 u. 27, insbesondere S. 19; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 26ff. u. 122ff.; LEVI (1992), S. 56.

87) Parallelen zum Opportunismusverständnis der Neuen Institutionenökonomik sind hier offensichtlich. Vgl. zur institutionenökonomischen Charakterisierung opportunistischer Verhaltensweisen FOX (1981), S. 77f.; PETERSEN (1989), S. 39f.; WILLIAMSON (1990), S. 34ff., 54ff., 58 u. 73ff. (S. 34, 54 u. 74: "Verfolgung des Eigeninteresses unter Zuhilfenahme von List"); HANKER (1990), S. 334f.; HAX (1991), S. 56; SCHAUBENBERG (1991), S. 330f.; LENZ, H. (1991), S. 15ff., insbesondere S. 17; GAHL (1991), S. 62ff. Vgl. am Rande auch den unmittelbaren Bezug auf WILLIAMSON's Werk bei FOX (1981), S. 77.

88) Vgl. OW (1988), S. 46 u. 54; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 26 u. 28.

89) Vgl. KOTSCHENREUTHER (1991), S. 124.

90) Diese Zielsetzung wird mitunter indirekt dadurch angesprochen, daß die Maschinenwartezeiten innerhalb einer Bearbeitungsstation gering gehalten werden sollen. Vgl. OW (1988), S. 46; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 26.

91) Vgl. OW (1988), S. 54. Vgl. dazu auch das umfassendere Ziel, mit möglichst geringen Produktionskosten zu arbeiten, bei OW (1988), S. 46 u. 54; KOTSCHENREUTHER (1991), S. 26 (auf S. 122 noch allgemeiner mit dem Ziel, ein monetäres Budget zu mehren oder zu mindern).

92) Diese Bezeichnung lehnt sich an die spieltheoretisch übliche Unterscheidung an, der zufolge Agenten in strategischen Spielen zwischen den Verhaltensweisen "Defektieren" und "Kooperieren" wählen können. Vgl. z.B. SCHAUBENBERG (1991), S. 334 u. 337. Anhänger des Konzepts Verteilten Problemlösens sprechen mitunter auch von antagonistischem Agentenverhalten. Vgl. DECKER (1987), S. 730. MERTENS (1989c), S. 844, redet dagegen in der schlichteren Negatform lediglich davon, daß sich die Auftragsagenten "nicht-kooperativ verhalten".

93) Vgl. FOX (1986), S. 410; KRALLMANN (1987), S. 131. In dieser Hinsicht offenbart sich ein weiterer Unterschied zwischen Multi-Agenten-Systemen und konventionellen verteilten Informationsverarbeitungssystemen. Denn verteilte Informationsverarbeitungssysteme zeichnen sich aus konventioneller Perspektive dadurch aus, daß ihre aktiven Systemkomponenten stets miteinander kooperieren. Vgl. JABLONSKI (1990), S. 9. Für Multi-Agenten-Systeme wird diese universelle Kooperationsvorstellung nicht mehr vertreten. Statt dessen wird dort die Teilautonomie der Agenten so weit in den Vordergrund gerückt, daß sie infolge ihres eigennützigen, "opportunistischen" Gebarens auch in offene Konkurrenz zueinander treten können.

tragen wird, einen Eilauftrag mit besonderem Nachdruck - und damit zu Lasten anderer Agenten - durch das Produktionssystem zu schleusen⁹⁴).

Bei Bearbeitungsagenten läßt sich hingegen - je nach der eingenommenen Betrachtungsperspektive - sowohl eine defektive als auch eine kooperative⁹⁵) Verhaltensweise feststellen. Zunächst defektieren die Bearbeitungsagenten aus demselben Grund, aus dem auch die Auftragsagenten nicht miteinander kooperieren. Denn die Bearbeitungsagenten verfolgen ebenso ihre eigenen, agentenspezifischen Interessen. Beispielsweise kann jeder Bearbeitungsagent darauf abzielen, möglichst viele Arbeitsgänge auszuführen, um die Kapazität seiner Bearbeitungsstation hochgradig auszulasten. Die Bearbeitungsagenten konkurrieren dann untereinander um die Zuordnung von Arbeitsgangausführungen, die nur in begrenztem Umfang von den Auftragsagenten nachgefragt werden. Im einem sehr weit gefaßten Sinn bilden auch diese Arbeitsgangausführungen eine knappe "Ressource", um deren Zuteilung die Bearbeitungsagenten wetteifern.

Es läßt sich aber auch ein anderer Blickwinkel wählen. Er geht von einem Auftrag aus, der innerhalb eines Produktionssystems abgewickelt werden soll. Aus dieser Perspektive müssen die Bearbeitungsagenten bei der Erfüllung ihrer Bearbeitungsaufgaben so zusammenzuwirken, daß der gemeinsam vorgegebene Auftrag insgesamt abgearbeitet wird. Die Bearbeitungsagenten verhalten sich also kooperativ, sobald eine auftragsorientierte Betrachtungsweise vorgezogen wird⁹⁶).

94) Vgl. KRALLMANN (1987), S. 131.

95) Kooperatives Verhalten wird hier im Sinne *voller Kooperation* verstanden. Vgl. dazu DECKER (1987), S. 730.

96) Auf ähnliche Weise kann sogar für Auftragsagenten ein Standpunkt gewonnen werden, der eine kooperative Verhaltensweise hervorbringt. Es muß dann allerdings von der Betrachtung eines einzelnen Auftrags zur Abwicklung eines Pakets aus mehreren Aufträgen übergegangen werden. Dann läßt sich durchaus die Ansicht vertreten, für die erfolgreiche Abwicklung des *gesamten* Auftragspakets müßten die Auftragsagenten letztlich doch miteinander kooperieren. Dieser Sichtweise wird hier aber nicht weiter gefolgt. Denn das Zusammenwirken der Auftragsagenten, die an der gemeinsamen Abwicklung eines Auftragspakets teilnehmen, unterliegt wesentlich schwächeren Kopplungen, als es bei Bearbeitungsagenten der Fall ist, die einen einzelnen Auftrag gemeinsam abwickeln: Zwischen den Aufträgen eines Auftragspakets bestehen keine Präzedenz- oder Alternativbeziehungen. Es kommen ausschließlich Konkurrenzbeziehungen in Betracht. Sie treten immer dann auf, wenn Teilaufgaben aus verschiedenen Aufträgen zu ihrer Erfüllung jeweils die gleiche Ressource benötigen, die so knapp ist, daß nicht alle Teilaufgaben zugleich erfüllt werden können. Zwischen den Teilaufgaben, die zur Abwicklung eines selben Auftrags erfüllt werden müssen, können hingegen nicht nur Konkurrenz-, sondern ebenso auch Präzedenz- und Alternativbeziehungen existieren. Daher müssen Bearbeitungsagenten bei der Abwicklung eines einzelnen Auftrags im allgemeinen wesentlich enger zusammenwirken, als es für Auftragsagenten bei der Abwicklung eines Pakets aus mehreren Aufträgen der Fall ist.

4 Ein verdeutlichendes Beispiel

4.1 Einführung

Ein einfaches, aber infolgedessen instruktives Beispiel zielt darauf ab, die besondere Bedeutung herauszustreichen, die den Koordinierungsmechanismen beim Verteilten Problemlösen in Multi-Agenten-Systemen zukommt. Es erstreckt sich auf die Einplanung einer Arbeitsgangausführung bei der Maschinenbelegung in einem Flexiblen Fertigungssystem. Derselbe Arbeitsgang lässt sich im Prinzip auf zwei alternativen Bearbeitungsstationen ausführen. Um die immanente Flexibilität des Fertigungssystems voll ausnutzen zu können, wurde im Arbeitsplan des betroffenen Auftrags ex ante nicht festgelegt, welche der beiden Bearbeitungsstationen tatsächlich in Anspruch genommen werden soll. Daher verbleibt der Spielraum zu entscheiden, auf welcher Bearbeitungsstation die Arbeitsgangausführung letztlich einzuplanen ist.

Die Zuordnung einer Arbeitsgangausführung zu einer Bearbeitungsstation ist allerdings nur dann zulässig, wenn die Bearbeitungsstation in der aktuellen Produktionssituation dafür tatsächlich zur Verfügung steht. Eine entsprechende Auskunft können die beiden Bearbeitungsagenten erteilen, denen die Verwaltung der zwei alternativen Bearbeitungsstationen obliegt. Jeder von ihnen vermag zu überprüfen, ob seine Bearbeitungsstation angesichts ihrer aktuellen Betriebsbereitschaft und Auslastung genügend freie Bearbeitungskapazität besitzt, um den fraglichen Arbeitsgang auszuführen. Sofern die freie Kapazität einer Bearbeitungsstation für die Arbeitsgangausführung ausreicht, kann die Arbeitsgangausführung dort eingeplant werden.

Den Anknüpfungspunkt für den Einsatz von Kontraktnetz-Systemen bilden die Bearbeitungsangebote und -nachfragen, die von den Bearbeitungs- und Auftragsagenten des betrachteten Produktionssystems erzeugt wurden. Es liegt geradezu auf der Hand, solche Angebote und Nachfragen innerhalb eines Kontraktnetzes aufeinander abzustimmen. Der Übersichtlichkeit halber wird von vornherein nur ein Kontraktnetz-Systemausschnitt betrachtet. Er erstreckt sich lediglich auf zwei Bearbeitungsagenten und einen Auftragsagenten. Aus diesen Vorgaben resultiert die partielle Darstellung eines Kontraktnetz-Systems, das in der Abb. 4 wiedergegeben ist.

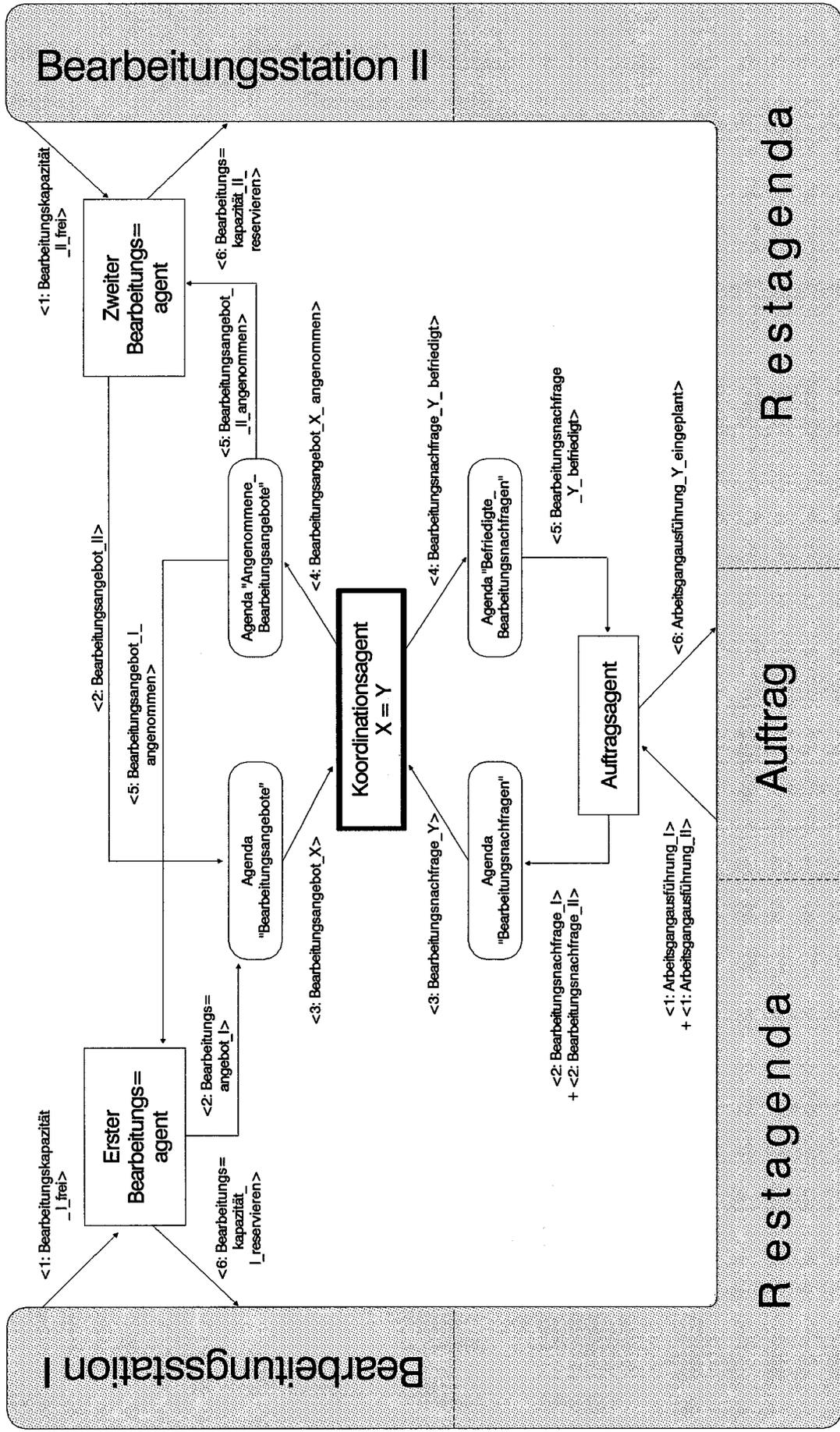


Abb. 4: Ausschnitt aus einem Kontraktnetz-System für die Koordinierung von Maschinenbelegungen in einem Flexiblen Fertigungssystem

4.2 Koordinierung durch Prioritätsregeln

Für die tatsächliche Implementierung eines belegungskoordinierenden Kontraktnetz-Systems ist noch erhebliche Detailarbeit erforderlich. Sie erstreckt sich insbesondere auf die konkrete Spezifizierung desjenigen Algorithmus, der die wechselseitige Zuordnung zwischen Bearbeitungsangeboten und -nachfragen realisiert⁹⁷⁾. Um das Spektrum denkmöglicher algorithmischer Konkretisierungen erahnen zu lassen, werden zwei verdeutlichende Beispiele vorgestellt. Der erste exemplarische Zuordnungsalgorithmus beruht auf der Anwendung einfacher Prioritätsregeln⁹⁸⁾. Sie sind in einer vierfach geschichteten Komplexregel miteinander verwoben⁹⁹⁾:

- ❶ Von allen Arbeitsgängen, die um betriebsbereite Bearbeitungsstationen mit jeweils noch freier Bearbeitungskapazität konkurrieren, werden diejenigen vorläufig ausgewählt, die zu Aufträgen mit den jeweils höchsten Abwicklungsprioritäten gehören. Beispielsweise kann Eilaufträgen eine besonders hohe Prioritätsstufe zugeordnet sein.

97) Der Zuordnungsalgorithmus stellt eine wesentliche Komponente des kontraktnetzspezifischen Verhandlungsprotokolls dar. Denn mit der Hilfe des Algorithmus wird festgelegt, zu welchem Resultat die Verhandlungen zwischen Bearbeitungs- und Auftragsagenten über die wechselseitigen Zuordnungen ihrer Bearbeitungsangebote bzw. -nachfragen führen. Dabei ist jedoch die Besonderheit zu beachten, daß im Gegensatz zu "normalen" Kontraktnetz-Systemen die Bearbeitungs- und Auftragsagenten nicht mehr unmittelbar miteinander verhandeln. Vielmehr werden ihre Verhandlungen jetzt über den einen Koordinationsagenten vermittelt, der die jeweils miteinander übereinstimmenden Bearbeitungsangebote und -nachfragen zusammenbringt. Diese Abweichung von der Normalkonfiguration eines Kontraktnetz-Systems könnte zum Anlaß genommen werden, um das hier betrachtete Multi-Agenten-System grundsätzlich aus dem Bereich der Kontraktnetz-Systeme auszugrenzen. Diese Einstellung läßt sich einerseits durchaus vertreten. Andererseits kehrt das Multi-Agenten-System aber auch einen speziellen Aspekt von Kontraktnetz-Systemen heraus, der bei "normalen" Systemvarianten weitgehend verborgen bleibt. Er betrifft die Dezentralität von Kontraktnetz-Systemen: Auf den ersten Blick scheint es so, als ob Kontraktnetze mit ihrer unmittelbaren Inter-Agenten-Kommunikation das Dezentralisierungsprinzip in "Reinstform" zur Geltung bringen würden. Bei näherem Hinsehen zeigt sich jedoch, daß auch Kontraktnetzen eine zentrale Komponente innewohnt. Es handelt sich um *das eine gemeinsame* Verhandlungsprotokoll, durch das alle netzzugehörige Agenten zentral miteinander koordiniert werden. Dieses zentrale Verhandlungsprotokoll manifestiert sich in dem Multi-Agenten-System, das hier präsentiert wird, zu einem entscheidenden Anteil in der Gestalt des einen Koordinationsagenten. Denn seine interne Operationsweise wird von demjenigen Zuordnungsalgorithmus geprägt, dessen Ausführung die "Verhandlungen" zwischen den involvierten Bearbeitungs- und Auftragsagenten vermittelt.

Am Rande wird vermerkt, daß es ohne eine derart zentrale Komponente - ein Verhandlungsprotokoll oder einen Koordinationsagenten - nur schwer vorzustellen wäre, wie Kontraktnetz-Systeme überhaupt in der Lage sein sollten, globale Satisfizierungs- oder Optimierungsziele zu erfüllen. Andernfalls bestünde eine konzeptionelle Lücke zwischen dem *globalen* Zielerfüllungsanspruch einerseits und den rein *lokalen* Verhandlungsprozessen zwischen je zwei "benachbarten" Agenten andererseits. Erst die Vermittlung durch ein Verhandlungsprotokoll oder durch einen Koordinationsagenten bringt jenes zentrale Moment ins Spiel, das erforderlich ist, um die konzeptionelle Lücke zwischen lokaler Prozeßausführung und globaler Zielerfüllung zu schließen. Aus diesem besonderen Blickwinkel erscheint dem Verfasser das Multi-Agenten-System, das hier diskutiert wird, keineswegs als ein "anomalies" Kontraktnetz-System. Vielmehr handelt es sich lediglich um eine Systemvariante, die eine überaus wichtige, aber zumeist nicht offensichtliche Facette von Kontraktnetz-Systemen hervorhebt. Diese Ansicht spiegelt sich auch bei WOITASS (1991) wider. Er charakterisiert seinen Mediatoragenten, der ein funktionales Äquivalent zum hier benutzten Koordinationsagenten darstellt, durch die Bemerkung: "Der Mediator-Agent übt bei der Synthese einer Gesamtlösung eine zentrale Kontrollfunktion aus, er hat eine *globale* Sicht auf das Problem" (S. 42; kursive Hervorhebung wie im Original).

98) Sie wurden bereits im Projekt PEMOPS verwendet und dort auch formalsprachlich präzisiert. An dieser Stelle begnügt sich der Verfasser mit einer knappen natürlichsprachlichen Beschreibung der prioritätsregelgestützten Koordinierungsweise.

99) Zunächst erfolgt auf den ersten drei Ebenen eine "auftragsorientierte" Zuordnung: Es wird der bevorzugte Auftrag ermittelt. Erst auf der letzten - vierten - Ebene schließt sich die "kapazitätsorientierte" Zuordnung einer präferierten Bearbeitungsstation an. Vgl. zur Differenzierung zwischen "auftrags-" und "kapazitätsorientierten" Maschinenbelegungsplanungen ALDINGER (1985), S. 71.

- ② Falls mehrere Arbeitsgänge von Aufträgen mit der gleichen maximalen Priorität verbleiben, werden jene Arbeitsgänge bevorzugt, die - in bezug auf die verbliebenen, noch zur Auswahl anstehenden Arbeitsgänge - minimale Schlupfzeiten aufweisen.
- ③ Wenn mehrere Arbeitsgänge vorliegen, denen dieselbe höchste Auftragspriorität und dieselbe minimale Schlupfzeit zukommen, werden diejenigen Arbeitsgänge präferiert, deren zugehörigen Aufträge zeitlich am frühesten in das Produktionssystem eingelastet wurden. Auf diese Weise läßt sich die durchschnittliche Abwicklungsdauer von Aufträgen tendenziell gering halten.
- ④ Sofern sich mehrere Arbeitsgänge mit höchster Auftragspriorität, minimaler Schlupfzeit und frühestem Einlastungszeitpunkt zuordnen lassen, wird derjenige Arbeitsgang ausgewählt, der auf der Bearbeitungsstation mit dem geringsten Bearbeitungskostensatz ausgeführt werden kann. Kommen hierfür mehrere Arbeitsgänge in Betracht, so erfolgt eine willkürliche Auswahl durch den Koordinierungsagenten.

4.3 Marktähnliche Koordinierung

Ein alternativer, konzeptionell wesentlich anspruchsvollerer Ansatz führt den Zuordnungsalgorithmus des Koordinationsagenten auf einen Aspekt zurück, der schon an früherer Stelle als eine Besonderheit der Kontraktnetz-Architektur für Multi-Agenten-Systeme herausgestellt wurde. Es handelt sich um die Simulation eines Marktmechanismus. Er wird in der Gestalt einer "Bearbeitungs-Auktion" realisiert, die der Koordinationsagent veranstaltet. Dabei führt er die Bearbeitungsangebote und -nachfragen der Bearbeitungs- bzw. Auftragsagenten im Sinne einer "Markträumung" zusammen¹⁰⁰). Der relevante Markt, den der Koordinationsagent mittels seiner Auktionsveranstaltung abdeckt, besteht aus den beiden bereits bekannten Agenden "Bearbeitungsangebote" und "Bearbeitungsnachfragen" (siehe Abb. 4). Um einen Ausgleich zwischen Bearbeitungsangeboten und -nachfragen herbeizuführen, verfährt der Koordinationsagent nach folgendem Auktionsmuster:

- Zunächst greift der Koordinationsagent auf die Botschaften zu, die auf seiner Eingangsagenda "Bearbeitungsnachfragen" von Auftragsagenten abgelegt worden sind. Für diese Bearbeitungsnachfragen bestimmt der Koordinationsagent die Reihenfolge, in der er sie zwecks Befriedigung durch Bearbeitungsagenten in die Auktion einbringt¹⁰¹). Um diese Reihenfolge zu fixieren, kann der Koordinationsagent z.B. auf die ersten drei von den voranstehenden vier Prioritätsregeln zurückgreifen.

100) Die Markträumung kann allerdings partiellen Charakter tragen. Denn es läßt sich nicht ausschließen, daß von Bearbeitungsagenten mehr Bearbeitungsangebote unterbreitet werden, als zur Befriedigung der Bearbeitungsnachfragen der Auftragsagenten erforderlich sind (vice versa). Ebenso ist es möglich, daß infolge wechselseitiger Inkompatibilitäten sowohl nicht angenommene Bearbeitungsangebote als auch nicht befriedigte Bearbeitungsangebote übrigbleiben. Die vorgenannten Räumungsdefekte können aber auch für gewöhnliche ökonomische Marktprozesse eintreten. Sie stellen daher keine Idiosynkrasie des auktionenbasierten Marktmechanismus' dar, der hier skizziert wird.

101) Die Reihenfolge der Bearbeitungsnachfragen liegt im allgemeinen nicht unveränderlich fest. Vielmehr bedeutet jede Botschaft, die auf der Agenda "Bearbeitungsnachfragen" neu abgelegt wird, daß die zuletzt aufgestellte Reihenfolge der Bearbeitungsnachfragen eventuell veraltet ist. Daher liegt es nahe, den Koordinationsagenten so zu verfeinern, daß er seine Auktionsreihenfolge stets von neuem ermittelt, sobald auf seiner Eingangsagenda "Bearbeitungsnachfragen" eine Veränderung der aktuellen Botschaftenmenge eingetreten ist. Dies betrifft zunächst den naheliegenden Fall, daß von einem Auftragsagenten auf der Agenda "Bearbeitungsnachfragen" eine neue Botschaft deponiert wurde. Des weiteren wird aber ebenso berücksichtigt, daß der Koordinationsagent bei einer erfolgreichen Zuordnung zwischen einer Arbeitsgangausführung und einer Bearbeitungsstation die Botschaft der jeweils befriedigten Bearbeitungsnachfrage von seiner Eingangsagenda "Bearbeitungsnachfragen" abzieht. Dadurch wird die

- ❑ Danach wählt der Koordinationsagent aus der Reihenfolge der zu befriedigenden Bearbeitungsnachfragen die erste aus. Diese Bearbeitungsnachfrage wird vom Koordinationsagent in der ersten Auktionsrunde zur Versteigerung freigegeben.
- ❑ An der Versteigerung nehmen alle Bearbeitungsagenten teil, die Bearbeitungskapazität auf Bearbeitungsstationen derjenigen Art anbieten, die in der freigegebenen Bearbeitungsnachfrage zur Ausführung eines Arbeitsgangs nachgefragt wird¹⁰²). Welche Bearbeitungsagenten diese Anforderung erfüllen, erkennt der Koordinationsagent anhand derjenigen Botschaften, die von Bearbeitungsagenten auf seiner Eingangsgenda "Bearbeitungsangebote" deponiert wurden.
- ❑ Falls kein Bearbeitungsagent für die Befriedigung der zunächst ausgewählten Bearbeitungsnachfrage ein entsprechendes Bearbeitungsangebot abgesandt hat, bricht der Koordinationsagent seine erste Auktionsrunde ab und stellt die unbefriedigte Bearbeitungsnachfrage an das Ende der Warteschlange aller noch zu befriedigenden Bearbeitungsnachfragen.
- ❑ Andernfalls, wenn mindestens ein Bearbeitungsagent ein Bearbeitungsangebot unterbreitet hat, das die zunächst ausgewählte Bearbeitungsnachfrage zu befriedigen vermag, versteigert der Koordinationsagent die Befriedigung der Bearbeitungsnachfrage an den "bestbietenden" der jeweils passenden Bearbeitungsagenten¹⁰³). Die Angebote der Bearbeitungsagenten werden dabei mit Hilfe derjenigen Botschaften spezifiziert, die sie auf ihrer gemeinsamen Ausgangsgenda "Bearbeitungsangebote" abgelegt haben. Die Botschaften geben dann nicht nur über die jeweils offerierte Bearbeitungsstation Auskunft. Vielmehr enthalten sie auch zusätzliche koordinierungsrelevante Angaben, wie z.B. über stationspezifische Bearbeitungskostensätze oder Umrüst dauern.
- ❑ Die Bewertung der Angebote aller passenden Bearbeitungsagenten richtet sich nach dem formalen Koordinierungsziel, das der Koordinationsagent zu realisieren versucht¹⁰⁴). Beispielsweise kann der Koordinationsagent das Formalziel verfolgen, die gesamten Bearbeitungskosten aller abzuwickelnden Aufträge möglichst gering zu halten. In diesem Fall wählt er denjenigen Bearbeitungsagenten als "bestbietend" aus, dessen Bearbeitungsangebot für die Arbeitsgangausführung der gerade versteigerten Bearbeitungsnachfrage zu den geringsten Bearbeitungskosten führt.
- ❑ Der Koordinationsagent ordnet denjenigen Arbeitsgang, um dessen Ausführung die versteigerte Bearbeitungsnachfrage ersuchte, der Bearbeitungsstation des ausgewählten bestbietenden Bearbeitungsagenten zu.

aktuelle Botschaftenmenge auf der Agenda "Bearbeitungsnachfragen" verändert. Die erneute Ermittlung der Auktionsreihenfolge durch den Koordinationsagenten bedeutet in diesem letztgenannten Fall, daß die befriedigte Bearbeitungsnachfrage aus der Reihenfolge der noch zu befriedigenden Bearbeitungsnachfragen automatisch herausfällt.

102) Die Bearbeitungsagenten, die dieser Anforderung genügen, werden im folgenden kurz als "passende" Bearbeitungsagenten angesprochen. Ihre Angebote heißen entsprechend "passende" Bearbeitungsangebote.

103) Falls nur genau ein Bearbeitungsagent ein Bearbeitungsangebot unterbreitet hat, das zur versteigerten Bearbeitungsnachfrage paßt, erhält der Bearbeitungsagent unmittelbar den Zuschlag. Falls mehrere Bearbeitungsagenten mit passenden Bearbeitungsangeboten jeweils das gleiche Höchstgebot vorlegen, kann der Koordinationsagent unter ihnen eine Zufallsauswahl treffen.

104) Dabei wird vorausgesetzt, daß das Modell der Koordinierungsaufgabe auf das formale Koordinierungsziel abgestimmt ist. Zu diesem Zweck reicht es aus, in den Botschaften, die von den Bearbeitungsagenten auf der Eingangsgenda "Bearbeitungsangebote" abgelegt werden, zusätzliche Informationsfelder einzurichten. Ihre Ausprägungen geben jeweils an, in welchem Ausmaß die Realisierung des formalen Koordinierungsziels vergrößert oder verringert würde, wenn der Koordinationsagent das Bearbeitungsangebot der jeweils betrachteten Botschaft zur gerade versteigerten Bearbeitungsnachfrage zuordnete.

- ❑ Die Botschaft, die auf der Agenda "Bearbeitungsangebote" über das Angebot des ausgewählten Bearbeitungsagenten informierte, wird von dort abgezogen. Ebenso wird die Botschaft von der Agenda "Bearbeitungsnachfragen" abgezogen, die dort über die gerade versteigerte Bearbeitungsnachfrage informierte¹⁰⁵).
- ❑ Zugleich werden zwei neue Botschaften erzeugt, die von der erfolgreichen Zuordnung zwischen Bearbeitungsstation und Arbeitsgangausführung berichten. Die eine wird an den ausgewählten Bearbeitungsagenten gerichtet und auf der Agenda "Angenommene_Bearbeitungsangebote" deponiert. Die andere wird als komplementäre Botschaft an denjenigen Auftragsagenten adressiert, von dem die versteigerte Bearbeitungsnachfrage abgesandt worden war, und auf der Agenda "Befriedigte_Bearbeitungsnachfragen" niedergelegt.
- ❑ Der Koordinationsagent gibt aus der Warteschlange aller noch zu befriedigenden Bearbeitungsnachfragen die nächste zur Versteigerung frei. Das Auktionsprocedere wird für die neue Bearbeitungsnachfrage in der bereits erläuterten Weise wiederholt.
- ❑ Der Koordinationsagent fährt mit seinen Versteigerungsversuchen so lange fort, wie sich auf seiner Eingangsagenda "Bearbeitungsnachfragen" noch mindestens eine Botschaft befindet und dadurch eine noch nicht befriedigte Bearbeitungsnachfrage anzeigt.
- ❑ Der Koordinationsagent geht in eine Ruhephase über, sobald auf seiner Eingangsagenda "Bearbeitungsnachfragen" überhaupt keine Botschaft mehr vorliegt.
- ❑ Diese Ruhephase kann jedoch von bloß vorübergehender Natur sein. Denn der Koordinationsagent wird wieder aktiv, sobald von irgendeinem Auftragsagenten eine neue Botschaft über eine Bearbeitungsnachfrage erzeugt wurde und auf der Eingangsagenda "Bearbeitungsnachfragen" eingetroffen ist.

4.4 Koordinierung mit strategischem Agentenverhalten

Das voranstehend skizzierte Auktionsmuster läßt sich noch weiter verfeinern. Beispielsweise können eigenständige Interessen der Bearbeitungsagenten in Betracht gezogen werden. Es ist möglich, diese Interessen in die Auswahlentscheidungen des Koordinationsagenten einfließen zu lassen, indem die Bearbeitungsagenten die Informationen über ihre Bearbeitungsangebote entsprechend "manipulieren".

Eine "strategische", auf die Eigeninteressen eines Bearbeitungsagenten zugeschnittene Informationsmanipulation liegt etwa dann vor, wenn der Bearbeitungsagent in der Botschaft seines Bearbeitungsangebots einen "zweckdienlichen" Bearbeitungskostensatz übermittelt¹⁰⁶). Als Referenzgröße dient dabei der verursachungsgerechte Bearbeitungskostensatz. Er betrifft diejenigen Kosten, die in der Bearbeitungsstation des Bearbeitungsagenten zusätzlich anfallen

105) Dadurch wird eine Aktualisierung der Reihenfolge aller noch zu befriedigenden Bearbeitungsnachfragen angestoßen. Aus dieser Reihenfolge fällt die gerade versteigerte und somit befriedigte Bearbeitungsnachfrage automatisch heraus. Das wurde bereits in einer der voranstehenden Anmerkungen kurz erläutert.

106) Der strategische Charakter solcher Kostenbotschaften wird auch bei KOTSCHENREUTHER (1991), S. 124, deutlich. Er erwägt dort, daß ein Agent "seine Konkurrenten durch ein Sonderangebot" unterbietet. Vgl. ebenso MERTENS (1989c), S. 847 (steht "es jedem Problemlöser frei, die Preise, zu denen er seine Leistungen anbietet, nach seinen eigenen Kriterien festzusetzen."). Vgl. am Rande auch VAN DYKE PARUNAK (1987), S. 303, der sich allerdings nicht speziell auf Kostenaspekte bezieht. Vielmehr befaßt er sich in allgemeiner Weise mit der Option, daß Agenten eines Kontraktnetz-Systems das Bietverhalten ihrer konkurrierenden Agenten beobachten, um daraus Schlüsse für das eigene Angebotsverhalten zu ziehen.

würden, wenn das Bearbeitungsangebot des Bearbeitungsagenten vom Koordinationsagenten tatsächlich angenommen würde¹⁰⁷⁾. Der Bearbeitungsagent kann z.B.¹⁰⁸⁾ das Eigeninteresse verfolgen, für seine Bearbeitungsstation eine möglichst gleichmäßige Auslastung auf hohem Niveau zu erreichen. In diesem Fall wird er seinen Bearbeitungskostensatz nicht so festlegen, daß er den verursachungsgerecht ermittelten Bearbeitungskosten je offerierter Einheit seiner Bearbeitungsleistung entspricht. Vielmehr wird er bei niedriger aktueller Auslastung seiner Bearbeitungsstation seinen Bearbeitungskostensatz senken, und zwar um so stärker, je länger die niedrige Auslastung schon anhält und je tiefer ihr absolutes Niveau liegt¹⁰⁹⁾.

Der Bearbeitungsagent bewirkt durch die "strategische" Anpassung seines Bearbeitungskostensatzes, daß seine Chance, vom Koordinationsagenten als "bestbietender" Agent mit den geringsten Bearbeitungskosten ausgewählt zu werden, um so größer ausfällt, je geringer sein Eigeninteresse an einer möglichst gleichmäßigen Stationsauslastung auf hohem Niveau bisher befriedigt worden ist. Tendenziell wird dadurch erreicht, daß der Koordinationsagent mit seinen Zuordnungsentscheidungen in der Tat dem Eigeninteresse des Bearbeitungsagenten entgegenkommt. Allerdings "weiß" der Koordinationsagent nichts davon. Statt dessen resultiert seine "entgegenkommende" Koordinierungsweise lediglich auf indirekte Weise daraus, daß der Bearbeitungsagent Bearbeitungskostensätze in strategischer Absicht manipuliert¹¹⁰⁾.

Es ist aber auch möglich, den Koordinationsagenten seinerseits in die Lage zu versetzen, strategischen Informationsmanipulationen der Bearbeitungsagenten von vornherein entgegenzuwirken. Zu diesem Zweck muß allerdings das Auktionsmuster modifiziert werden. Im folgenden wird davon ausgegangen, daß die Bearbeitungsagenten für das Erbringen ihrer Bearbeitungsleistungen von denjenigen Auftragsagenten entgolten werden, deren Bearbeitungsnachfragen jeweils befriedigt werden. Darüber hinaus wird unterstellt, daß jeder Bearbeitungsagent das Eigeninteresse verfolgt, seine kumulierten Bearbeitungsentgelte im Zeitablauf zu maximieren.

Unter diesen Voraussetzungen liegt es zunächst nahe, daß die Bearbeitungsagenten versuchen, ihre offenbaren Bearbeitungskosten auf strategische Weise festzulegen. Dabei müssen sie einerseits bestrebt sein, die offenbaren Bearbeitungskosten möglichst gering anzusetzen, um vom Koordinationsagenten einen Zuschlag zu erlangen. Andererseits müssen sie zwecks Entgeltmaximierung ebenso darauf abzielen, möglichst hohe Bearbeitungskosten in Rechnung zu stellen. Es mag dahingestellt bleiben, wie die Bearbeitungsagenten dieses Optimierungsproblem strategischer Kostenoffenbarungen "im Prinzip" lösen würden. Denn es existiert ein Auktionsmuster für den Zuordnungsalgorithmus des Koordinationsagenten, das die Bearbeitungsagenten bei rationalem Entscheidungsverhalten dazu veranlaßt, von selbst aus ihre tatsächlich verursachten zusätzlichen Bearbeitungskosten zu offenbaren. Es handelt sich um das Zuordnungsverfahren der VICKREY-Auktion¹¹¹⁾.

107) Es wird hier keineswegs verkannt, daß über die Höhe dieser verursachungsgerechten Bearbeitungskosten durchaus gestritten werden kann. Aber das spielt an dieser Stelle keine Rolle. Vielmehr interessieren nur solche Bearbeitungskosten, bezüglich derer allgemein anerkannt ist, daß sie mit einer (streng) verursachungsgerechten Kostenermittlung nicht vereinbart werden können.

108) Ein anderes Beispiel für eine analoge strategische Kostenfestlegung durch einen Bearbeitungsagenten ("resource broker") findet sich bei OW (1988), S. 54.

109) Die Option, die Bearbeitungskosten an das Auslastungsniveau einer Bearbeitungsstation zu koppeln, findet sich auch bei ADELSBERGER (1989), S. 8 (allerdings durch einen entscheidungstheoretisch wohlbegründeten Bezug auf Schattenpreise [Opportunitätskosten]), und KOTSCHENREUTHER (1991), S. 123f.

110) Vgl. die analoge Argumentation bei OW (1988), S. 54.

111) Vgl. zu dieser Auktionsform VICKREY (1961), S. 20ff.; GÜTH (1979), S. 79ff.; MILGROM (1982), S. 1100ff.; GÜTH (1982), S. 10ff. (dort aber nicht unmittelbar als VICKREY-Auktion angesprochen); GÜTH (1983), S. 269ff.; SCHWARZE (1983), S. 71ff.; FINSINGER (1984), S. 18ff.; LENZ, U. (1986), S. 509ff.; ZELEWSKI (1988), S. 408ff.

Die VICKREY-Auktion zeichnet sich durch eine gespaltene Zuschlags- und Entgeltungsregel aus: Einerseits erhält weiterhin derjenige Bearbeitungsagent den Zuschlag für die Befriedigung einer Bearbeitungsnachfrage, der seine Bearbeitungsleistung zu den niedrigsten Kosten anbietet. Andererseits zahlt der Koordinationsagent dem ausgewählten Bearbeitungsagenten nicht das Entgelt in der Höhe seiner selbst offenbarten Bearbeitungskosten. Statt dessen wird der ausgewählte Bearbeitungsagent mit den - in der Regel höheren¹¹²⁾ - offenbarten Bearbeitungskosten desjenigen Bearbeitungsagenten entgolten, der das zweitniedrigste Angebot abgegeben hat. Die Differenz der offenbarten Bearbeitungskosten fließt dem ausgewählten Bearbeitungsagenten als besondere Prämie für seine Bereitschaft zu, das jeweils kostengünstigste Bearbeitungsangebot zu unterbreiten. Es läßt sich der strenge Nachweis führen¹¹³⁾, daß es auf diese Weise für alle Bearbeitungsagenten rational ist, Bearbeitungsleistungen zu genau denjenigen Bearbeitungskosten anzubieten, die den Bearbeitungsagenten bei der Annahme ihrer Bearbeitungsangebote tatsächlich zusätzlich entstehen würden. Daher sorgt die gespaltene Zuschlags- und Entgeltungsregel der VICKREY-Auktion dafür, daß die Bearbeitungsagenten im wohlverstandenen Eigeninteresse auf strategische Informationsmanipulationen verzichten. Denn sie würden die Realisierung ihres Entgeltmaximums gefährden, sobald sie andere als ihre verursachungsgerecht ermittelten Bearbeitungskosten offenbarten.

112) Eine Ausnahme tritt nur dann ein, wenn mindestens zwei Bearbeitungsagenten übereinstimmende Angebote mit jeweils denselben niedrigsten Bearbeitungskosten unterbreiten. Dann erfolgt eine zufällige Agentenauswahl. Die Entgeltdifferenz, die nachstehend angesprochen wird, degeneriert dann zum Wert Null.

113) Vgl. dazu den Beweis der "Anreizkompatibilität" oder "Betrugssicherheit" von VICKREY-Auktionen bei GÜTH (1982), S. 12f.; GÜTH (1983), S. 271f.; ZELEWSKI (1988), S. 411ff., insbesondere S. 413ff.

5 Literatur

ADELSBERGER (1989)

Adelsberger, H.H.; Hruschka, H.; Lennels, G.: Verbindung von klassischen OR-Verfahren und AI-Techniken bei Scheduling-Problemen; in: Pressmar, D.; Jäger, K.E.; Krallmann, H.; Schellhaas, H.; Streitferdt, L. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1988 - DGOR, Vorträge der 17. Jahrestagung, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 8.

AGHA (1986)

Agha, G.A.: ACTORS: A Model of Concurrent Computation in Distributed Systems, Cambridge (Massachusetts) - London 1986.

AGHA (1988)

Agha, G.; Hewitt, C.: Concurrent Programming Using Actors: Exploiting Large-Scale Parallelism; in: Bond, A.H.; Gasser, L. (Hrsg.): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo 1988, S. 398-407.

ALBAYRAK (1990a)

Albayrak, S.; Bamberg, B.; Unbehend, C.: Wissensbasierter Fertigungsleitstand auf der Basis einer Blackboardarchitektur; in: Krallmann, H. (Hrsg.): Innovative Anwendungen der Informations- und Kommunikationstechnologien in den 90er Jahren, München - Wien 1990, S. 169-196.

ALBAYRAK (1990b)

Albayrak, S.: Verteilte wissensbasierte Systeme in der Fertigung; in: Ehrenberg, D.; Krallmann, H.; Rieger, B. (Hrsg.): Wissensbasierte Systeme in der Betriebswirtschaft - Grundlagen, Entwicklung, Anwendung, Berlin 1990, S. 73-94.

ALBAYRAK (1992)

Albayrak, S.: TUBKOM-Projekt: Blackboard-DEC - Verteilte kooperierende wissensbasierte Systeme zu der Fertigungssteuerung; in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 64-68.

ALDINGER (1985)

Aldinger, L.: Leitstandunterstützte kurzfristige Fertigungssteuerung bei Einzel- und Kleinserienfertigung, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1985.

AMAN (1992)

Aman, A.; Balakrishnan, A.; Chandru, V.: Dynamic Task Assignment in Distributed Manufacturing Systems; in: Fandel, G.; Gullledge, T.; Jones, A. (Hrsg.): New Directions for Operations Research in Manufacturing, Proceedings of a Joint US/German Conference, 30.-31.07.1992 in Gaithersburg, Berlin - Heidelberg - New York ... 1992, S. 249-262.

ANZAI (1988)

Anzai, Y.: Artificial Intelligence and Neural Computing; in: o.V.: FGCS'88 - Fifth Generation Computer Systems 1988, Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1988, 28.11.-02.12.1988 in Tokyo, Vol. 3, Tokyo - Berlin - Heidelberg ... 1988, S. 1025-1030.

AYEL (1991)

Ayel, J.; Laurent, J.-P.: A multi-agents cooperating system for on-line supervision of Production Management activities; in: Brauer, W.; Hernandez, D. (Hrsg.): Verteilte Künstliche Intelligenz und kooperatives Arbeiten, 4. Internationaler GI-Kongreß Wissensbasierte Systeme, 23.-24.10.1991 in München, Proceedings, Informatik-Fachberichte 291, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 30-41.

BAKER (1988)

Baker, A.D.: Complete Manufacturing Control Using a Contract Net: A Simulation Study; in: o.V.: 1988 International Conference on Computer Integrated Manufacturing, 23.-25.05.1988 in Troy, Washington 1988, S. 100-109.

BARR (1989)

Barr, R.S.; Christiansen, M.G.: A Parallel Auction Algorithm: A Case Study in the Use of Parallel Object-Oriented Programming; in: Sharda, R.; Golden, B.L.; Wasil, E.; Balci, O.; Stewart, W. (Hrsg.): Impacts of Recent Computer Advances on Operations Research, New York - Amsterdam - London 1989, S. 23-32.

BARTH (1988a)

Barth,G.; Welsch,C.: Objektorientierte Programmierung; in: Informationstechnik, 30. Jg. (1988), S. 404-421.

BARTH (1988b)

Barth,G.: Allgemeinwissen als zentrale Herausforderung; in: computer magazin, 17. Jg. (1988), Heft 9, S. 44.

BELL (1990)

Bell,D.A.; Zhang,C.: Description and Treatment of Deadlocks in the Hecodes Distributed Expert System; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 20 (1990), S. 654-664.

BERKAU (1992)

Berkau,C.: Konzept eines controllingbasierten Prozeßmanagers als intelligentes Multi-Agent-System, Heft 91, Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität des Saarlandes, Saarbrücken o.J. (1992).

BERTSEKAS (1989)

Bertsekas,D.P.; Tsitsiklis,J.N.: Parallel and Distributed Computation - Numerical Methods, London - Sydney - Toronto ... 1989.

BERTSEKAS (1990)

Bertsekas,D.P.: The Auction Algorithm for Assignment and Other Network Flow Problems: A Tutorial; in: Interfaces, Vol. 20 (1990), No. 4, S. 133-149.

BLEICHER (1986a)

Bleicher,K.: Zeitkonzeption der Gestaltung und Entwicklung von Unternehmungen; in: Gaugler, E.; Meissner,H.G.; Thom,N. (Hrsg.): Zukunftsaspekte der anwendungsorientierten Betriebswirtschaftslehre, Erwin Grochla zum 65. Geburtstag gewidmet, Stuttgart 1986, S. 75-90.

BLEICHER (1986b)

Bleicher,K.: Zum zeitlichen in Unternehmungskulturen; in: Die Unternehmung, 40. Jg. (1996), S. 259-288.

BOCIONEK (1992)

Bocionek,S.; Eisinger,N.; Teege,G.: 4. Internationaler GI-Kongreß Wissensbasierte Systeme (Tagungsbericht); in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 40-42.

BOETTCHER (1987)

Boettcher,K.; Perschbacher,D.; Wessel,C.: Coordination of Distributed Agents in Tactical Situations; in: o.V.: IEEE 1987 National Aerospace and Electronics Conference, NAECON, Proceedings, New York 1987, S. 1421-1426.

BOLTE (1989)

Bolte,C.: Verteilte Künstliche Intelligenz, Arbeitsbericht Nr. 24, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Universität Dortmund, Dortmund 1989.

BOLTE (1990)

Bolte,C.: Koordination heterogener Expertensysteme - Relevanz für die Praxis?, Arbeitspapier, Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität Münster, Münster 1990.

BOLTE (1991)

Bolte,C.: Koordination heterogener Expertensysteme; in: Information Management, 6. Jg. (1991), Heft 3, S. 36-41.

BOMARIUS (1992)

Bomarius,F.; Burt,A.; Lux,A.: 4. Internationaler GI-Kongreß Wissensbasierte Systeme, Verteilte Künstliche Intelligenz und kooperatives Arbeiten (Tagungsbericht); in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 43-44.

BOND (1988a)

Bond,A.H.; Gasser,L. (Hrsg.): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo 1988.

BOND (1988b)

Bond,A.; Gasser,L.: An Analysis of Problems and Research in DAI; in: Bond,A.H.; Gasser,L. (Hrsg.): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo 1988, S. 3-35.

BOND (1988c)

Bond,A.; Gasser,L.: A Subject-Indexed Bibliography of Distributed Artificial Intelligence; in: Bond,A.H.; Gasser,L. (Hrsg.): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo 1988, S. 37-56.

BRAUER (1990)

Brauer,W.: Nebenläufigkeit; in: Krückeberg,F.; Spaniol,O. (Hrsg.): Lexikon Informatik und Kommunikationstechnik, Düsseldorf 1990, S. 427.

BRAUER (1991)

BRAUER,W.; HERNANDEZ,D. (Hrsg.): Verteilte Künstliche Intelligenz und kooperatives Arbeiten, 4. Internationaler GI-Kongreß Wissensbasierte Systeme, 23.-24.10.1991 in München, Proceedings, Informatik-Fachberichte 291, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991.

BRODE (1988)

Brode,J.: A Research Programming Support Environment for the Design and Study of Distributed Control Systems; in: VICHNEVETSKY,R.; BORNE,P.; VIGNES,J. (Hrsg.): 12th IMACS World Congress, 12.-22.07.1988 in Paris, Vol. 3: Technical Papers, o.O. 1988, S. 543-545.

BRONISZ (1989)

Bronisz,D.; Grossi,T.; Jean-Marie,F.: Advice-Giving Dialogue: An Integrated System; in: Commission of the European Communities (Hrsg.): ESPRIT'89, Proceedings of the 6th Annual ESPRIT Conference, 27.11.-01.12.1989 in Brussels, Dordrecht - Boston - London 1989, S. 288-301.

BUDDE (1992)

Budde,R.; Nieters,H.: Einführung in die Netztheorie (Theorie der Petri-Netze); in: Schnieder,E. (Hrsg.): Petrinetze in der Automatisierungstechnik, München - Wien 1992, S. 23-41.

BÜHNER (1990)

Bühner,R.: Economies of Speed - Beschleunigung der Abläufe im Unternehmen zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit; in: Bleicher,K.; Gomez,P. (Hrsg.): Zukunftsperspektiven der Organisation, Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr. Robert Staerke, Bern 1990, S. 29-43.

BÜRCEL (1992)

Bürgel,H.D.; Gentner,A.: Phasenübergreifende Integration zur Steuerung der Entwicklungs- und Anlaufphasen bei Serienprodukten - Prozeßmanagement und Überleitungsphasen als wirkungsvolle Integrationsmechanismen; in: Hanssen,R.A.; Kern,W. (Hrsg.): Integrationsmanagement für neue Produkte, Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Sonderheft 30/92, Düsseldorf - Frankfurt 1992, S. 69-83.

BULLINGER (1992)

Bullinger,H.-J.; Reim,F.; Rothkopf,B.: Verteilte Informationssysteme für das Produktionsmanagement; in: CIM Management, 8. Jg. (1992), Heft 1, S. 4-9.

BUNGERS (1985)

Bungers,D.; Brewka,G.: Knowledge Engineering: BABYLON - Ein Softwarewerkzeug für den Wissensingenieur; in: computer magazin, 14. Jg. (1985), Heft 9, S. 48-53.

BURGARD (1987)

Burgard,E.; Nissing,T.: Dezentrale Produktionsplanung- und -steuerung; in: CIM Management, 3. Jg. (1987), Nr. 1, S. 26-34. (Anmk. der Verf.: Druckfehler in "Produktionsplanung-"; gemeint ist wohl: "Produktionsplanung".)

BURMEISTER (1992a)

Burmeister,B.; Sundermeyer,K.: Domänen-unabhängiges Kooperatives Problemlösen; in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 12-16.

BURMEISTER (1992b)

Burmeister,B.: MAAMAW'91 (Tagungsbericht über den European Workshop on Modeling Autonomous Agents in Multi-Agents Worlds); in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 33-35.

BURMEISTER (1992c)

Burmeister,B.; Sundermeyer,K.: Verteilte Künstliche Intelligenz; in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 98.

CAMMARATA (1983)

Cammarata,S.; McArthur,D.; Steeb,R.: Strategies of Cooperation in Distributed Problem Solving; in: Bundy,A. (Hrsg.): IJCAI-83, Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 08.-12.08.1983 in Karlsruhe, o.O. (Los Altos) 1983, Vol. 2, S. 767-770.

CAMPBELL (1990)

Campbell,J.A.; D'Inverno,M.P.: Knowledge Interchange Protocols; in: Demazeau,Y.; Müller,J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 63-80.

CARDOZO (1988)

Cardozo,E.; Talukdar,S.N.: A Distributed Expert System for Fault Diagnosis; in: Pham,D.T. (Hrsg.): Artificial Intelligence in Industry - Expert Systems in Engineering, Berlin - Heidelberg - New York 1988, S. 235-247.

CASTELFRANCHI (1990)

Castelfranchi,C.: Social Power - A Point Missed in Multi-Agent World, DAI and HCI; in: Demazeau,Y.; Müller,J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 49-62.

CHANDLER (1977)

Chandler,A.C.: The Visible Hand - The Managerial Revolution in American Business, Harvard - Cambridge (Massachusetts) - London 1977.

CHANDRASEKARAN (1981)

Chandrasekaran,B.: Natural and Social System Metaphors for Distributed Problem Solving: Introduction to the Issue; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11 (1981), S. 1-5.

CHANG (1987)

Chang,E.: Participant Systems for Cooperative Work; in: Huhns,M.N. (Hrsg.): Distributed Artificial Intelligence, London - Los Altos 1987, S. 311-339.

CHAUDHURY (1988)

Chaudhury,A.; Rao,H.R.: Conceptual Modeling in Computer Integrated Manufacturing Systems; in: Oliff,M.D. (Hrsg.): Expert Systems and Intelligent Manufacturing, Proceedings of the Second International Conference on Expert Systems and the Leading Edge in Production Planning and Control, 03.-05.05.1988 in Charleston, New York - Amsterdam - London 1988, S. 265-276.

COELHO (1988)

Coelho,H.; Ganascia,J.-G.; Guida,G.; Kiss,G.; Werner,E.: Interaction Among Intelligent Agents; in: Radig,B.; Kodratoff,Y.; Ueberreiter,B.; Wimmer,K.-P. (Hrsg.): ECAI 88, Proceedings of the 8th European Conference on Artificial Intelligence, 01.-05.08.1988 in München, London 1988, S. 717-718.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1989)

Commission of the European Communities: 1989 ESPRIT Workprogramme (European Strategic Programme for R&D in Information Technology), Brüssel 1989.

CONNAH (1990)

Connah,D.; Wavish,P.: An Experiment in Cooperation; in: Demazeau,Y.; Müller,J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 197-212.

CONRY (1988)

Conry,S.E.; Meyer,R.A.; Lesser,V.R.: Multistage Negotiation in Distributed Planning; in: Bond,A.H.; Gasser,L. (Hrsg.): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo 1988, S. 367-384.

CONRY (1990)

Conry,S.E.; MacIntosh,D.J.; Meyer,R.A.: DARES: A Distributed Automated Reasoning System; in: o.V.: AAAI-90, Proceedings Eighth National Conference on Artificial Intelligence, 29.07.-02.08.1990 in Boston, Vol. 1, Menlo Park - Cambridge - London 1990, S. 78-85.

CORKILL (1979)

Corkill,D.D.: Hierarchical Planning in a Distributed Environment; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 1, S. 168-175.

CORKILL (1983)

Corkill,D.D.; Lesser,V.R.: The Use of Meta-Level Control for Coordination in a Distributed Problem Solving Network; in: Bundy,A. (Hrsg.): IJCAI-83, Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 08.-12.08.1983 in Karlsruhe, o.O. (Los Altos) 1983, Vol. 2, S. 748-756.

CORKILL (1988)

Corkill,D.D.; Gallagher,K.Q.: Tuning a Blackboard-based Application: A case study using GBB; in: o.V.: Proceedings AAAI-88, Seventh National Conference on Artificial Intelligence, 21.-26.08.1988 in St. Paul, Vol. 2, San Mateo 1988, S. 671-676.

CORSTEN (1992a)

Corsten,H.; Reiß,M.: Integrationsbedarfe im Produktentstehungsprozeß; in: Hanssen,R.A.; Kern,W. (Hrsg.): Integrationsmanagement für neue Produkte, Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Sonderheft 30/92, Düsseldorf - Frankfurt 1992, S. 31-51.

CORSTEN (1992b)

Corsten,H.; Reiß,M.: Systemische Integrationsansätze im Produktentstehungsprozeß; in: Hanssen,R.A.; Kern,W. (Hrsg.): Integrationsmanagement für neue Produkte, Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Sonderheft 30/92, Düsseldorf - Frankfurt 1992, S. 214-231.

CREMERS (1992)

Cremers,A.B.; Kniesel,G.; Lemke,T.; Plümer,L.: Intelligent Databases and Interoperability; in: Belli,F.; Radermacher,F.J. (Hrsg.): Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, 5th International Conference, IEA/AIE-92, 09.-12.06.1992 in Paderborn, Proceedings, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Berlin - Heidelberg - New York ... 1992, S. 15-24.

CROFT (1988)

Croft,W.B.; Lefkowitz,L.S.: Knowledge-Based Support of Cooperative Activities; in: Bond,A.H.; Gasser,L. (Hrsg.): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo 1988, S. 599-605.

CROMARTY (1988)

Cromarty,A.S.: Control of Processes by Communication over Ports as a Paradigm for Distributed Knowledge-Based System Design; in: Bond,A.H.; Gasser,L. (Hrsg.): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo 1988, S. 408-420.

CULLINGFORD (1981)

Cullingford,R.E.: Integrating Knowledge Sources for Computer "Understanding" Tasks; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11 (1981), S. 52-60.

DAVID (1987)

David,B.T.: Multi-Expert Systems for CAD; in: ten Hagen,P.J.W.; Tomiyama,T. (Hrsg.): Intelligent CAD Systems I - Theoretical and Methodological Aspects, Record of the First European Workshop on "Intelligent CAD Systems", 21.-24.04.1987 in Noordwijkerhout, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987, S. 57-67.

DAVIS,J. (1988)

Davis,J.; Oliff,M.D.: Requirements For The Integration of Manufacturing Planning Islands Using Knowledge Based Technology; in: Oliff,M.D. (Hrsg.): Expert Systems and Intelligent Manufacturing, Proceedings of the Second International Conference on Expert Systems and the Leading Edge in Production Planning and Control, 03.-05.05.1988 in Charleston, New York - Amsterdam - London 1988, S. 25-42.

DAVIS,L. (1983)

Davis,L.C.; Aldrich,J.R.: A Knowledge-Based Approach to Naval Multisensor Information Integration; in: o.V.: Proceedings Trends & Applications 1983 - Automating Intelligent Behavior - Applications and Frontiers, Silver Spring 1983, S. 216-224.

DAVIS,R. (1981)

Davis,R.; Smith,R.G.: Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving, A.I. Memo No. 624, Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts) 1981.

DAVIS,R. (1983)

Davis,R.; Smith,R.G.: Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving; in: Artificial Intelligence, Vol. 20 (1983), S. 63-109. (Anmk. des Verf.: geringfügig überarbeitete Version von Davis,R. (1981).)

DE (1985)

De,S.: Decision-Making in Manufacturing: An Information Processing Approach, Dissertation, Purdue University 1984, Ann Arbor 1985.

DECKER (1987)

Decker,K.S.: Distributed Problem-Solving Techniques: A Survey; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-17 (1987), S. 729-740.

DECKER (1991)

Decker,K.; Garvey,A.; Humphrey,M.; Lesser,V.: Effects of Parallelism on Blackboard System Scheduling; in: Mylopoulos,J.; Reiter,R. (Hrsg.): IJCAI-91, Proceedings of the Twelfth International Conference on Artificial Intelligence, 24.-30.08.1991 in Sydney, Vol. 1, San Mateo 1991, S. 15-21.

DEMAZEAU (1990a)

Demazeau,Y.; Müller,J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990.

DEMAZEAU (1990b)

Demazeau,Y.; Müller,J.-P.: Decentralized Artificial Intelligence; in: Demazeau,Y.; Müller,J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 3-13.

DURFEE (1985)

Durfee,E.M.; Lesser,V.R.; Corkill,D.D.: Increasing Coherence in a Distributed Problem Solving Network; in: o.V.: Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 19.-23.08.1985 in Los Angeles, Los Altos 1985, Vol. 2, S. 1025-1030.

DURFEE (1986)

Durfee,E.H.; Lesser,V.R.: Incremental Planning to Control a Blackboard-Based Problem Solver; in: o.V.: proceedings aaai-86, fifth national conference on artificial intelligence, 11.-15.08.1986 in Philadelphia, Vol. 1: science, Los Altos 1986, S. 58-64.

DURFEE (1987a)

Durfee,E.H.; Lesser,V.R.: Using Partial Global Plans to Coordinate Distributed Problem Solvers; in: o.V. IJCAI 87, Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 23.-28.08.1987 in Mailand, o.O. (Los Altos) 1987, Vol. 2, S. 875-883.

DURFEE (1987b)

Durfee,E.H.; Lesser,V.R.; Corkill,D.D.: Cooperation Through Communication in a Distributed Problem Solving Network; in: Huhns,M.N. (Hrsg.): Distributed Artificial Intelligence, London - Los Altos 1987, S. 29-58.

DURFEE (1988a)

Durfee,E.H.; Lesser,V.R.; Corkill,D.D.: Coherent Cooperation Among Communicating Problem Solvers; in: Bond,A.H.; Gasser,L. (Hrsg.): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo 1988, S. 268-284.

DURFEE (1988b)

Durfee,E.H.; Lesser,V.R.: Using Partial Global Plans to Coordinate Distributed Problem Solvers; in: Bond,A.H.; Gasser,L. (Hrsg.): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo 1988, S. 285-293.

DURFEE (1988c)

Durfee,E.H.; Lesser,V.R.: Predictability Versus Responsiveness: Coordinating Problem Solvers in Dynamic Domains; in: o.V.: Proceedings AAAI-88, Seventh National Conference on Artificial Intelligence, 21.-26.08.1988 in St. Paul, Vol. 1, San Mateo 1988, S. 66-71.

DURFEE (1988d)

Durfee,E.H.: Coordination of Distributed Problem Solvers, überarbeitete Version der Dissertation (unter dem Titel "U Unified Approach to Dynamic Coordination: Planning Actions and Interactions in a Distributed Problem Solving Network"), University of Massachusetts, Amherst 1987, Boston - Dordrecht - London 1988.

DURFEE (1990)

Durfee,E.H.; Montgomery,T.A.: A Hierarchical Protocol for Coordinating Multiagent Behaviors; in: o.V.: AAAI-90, Proceedings Eighth National Conference on Artificial Intelligence, 29.07.-02.08.1990 in Boston, Vol. 1, Menlo Park - Cambridge - London 1990, S. 86-93.

EICKER (1992)

Eicker,S.; Kurbel,K.; Pietsch,W.; Rautenstrauch,C.: Einbindung von Software-Altlasten durch integrationsorientiertes Reengineering; in: Wirtschaftsinformatik, 34. Jg. (1992), S. 137-145.

EIDENMÜLLER (1986)

Eidenmüller,B.: Neue Planungs- und Steuerungskonzepte bei flexibler Serienfertigung - dargestellt an Beispielen aus der Elektroindustrie; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 38. Jg. (1986), S. 618-634.

ELORANTA (1985a)

Eloranta,E.; Hynynen,J.; Hämmäinen,H.; Jakhola,J.: Models and Design of Distributed Production Management Systems - A Framework for Future Development; in: Falster,P.; Mazumder,R.B. (Hrsg.): Modelling Production Management Systems, Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference on Modelling Production Management Systems, 29.-31.08.1984 in Kopenhagen, Amsterdam - New York - Tokyo 1985, S. 107-122 (incl. Discussion).

ELORANTA (1985b)

Eloranta,E.; Hynynen,J.; Hämmäinen,H.; Jakhola,J.; Kyhälä,A.; Räisänen,J.: A Workbench for Distributed Production Management Systems; in: Augustin,S.; Gündling,R.; Ohanian,J. (Hrsg.): Decentralized Production Management Systems, Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference on Decentralized Production Management Systems, 28.-29.03.1985 in München, Amsterdam - New York - Oxford - Tokyo 1985, S. 413-425.

ENGELMORE (1988)

Engelmore,R.S.; Morgan,A.J.: Conclusion; in: Engelmore,R.; Morgan,T. (Hrsg.): Blackboard Systems, Wokingham - Reading - Menlo Park ... 1988, S. 561-574.

EVERSHEIM (1989a)

Eversheim,W.; Sossenheimer,K.H.; Saretz,B.: Entwicklungsstrategie für Produkte und Produktionseinrichtungen: Simultaneous Engineering; in: Industrie-Anzeiger, 111. Jg. (1989), Nr. 64, S. 26-30.

EVERSHEIM (1989b)

Eversheim,W.: Simultaneous Engineering - eine organisatorische Chance!; in: o.V. (VDI-Gesellschaft Produktionstechnik / ADB): Simultaneous Engineering - Neue Wege des Projektmanagements, Tagung, 18.-19.04.1989 in Frankfurt, Düsseldorf 1989, S. 1-26.

FAUSER (1981)

Fausser,A.; Rathke,C.: Studie zum Stand der Forschung über natürlichsprachliche Frage/Antwort-Systeme, Forschungsbericht ID 81-006 - Information und Dokumentation - für das Bundesministerium für Forschung und Technologie, Stuttgart 1981.

FERBER (1988)

Ferber,J.; Briot,J.-P.: Design of a Concurrent Language for Distributed Artificial Language; in: o.V.: FGCS'88 - Fifth Generation Computer Systems 1988, Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1988, 28.11.-02.12.1988 in Tokyo, Vol. 2, Tokyo - Berlin - Heidelberg ... 1988, S. 755-762.

FERGUSON (1988)

Ferguson,C.; Korf,R.E.: Distributed Tree Search and its Application to Alpha-Beta Pruning; in: o.V.: Proceedings AAAI-88, Seventh National Conference on Artificial Intelligence, 21.-26.08.1988 in St. Paul, Vol. 1, San Mateo 1988, S. 128-132.

FIKES (1982)

Fikes,R.E.: A Commitment-Based Framework for Describing Informal Cooperative Work; in: Cognitive Science, Vol. 6 (1982), S. 331-347.

FINSINGER (1984)

Finsinger,J.: Die Ausschreibung, Arbeitspapier, Universität Bern, Bern 1984. (Anmk. des Verf.: auch veröffentlicht in: Jahrbuch für Sozialwissenschaft, Bd. 36 (1985), S. 302-321.)

FISCHER (1991)

Fischer,K.: Ein Agentensystem für eine flexible Fertigungssteuerung; in: Hommel,G. (Hrsg.): Prozeßrechnungssysteme'91 - Automatisierungs- und Leitsysteme in den neunziger Jahren, 25.-27.02.1991 in Berlin, Proceedings, Informatik-Fachberichte 269, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 140-149.

FISCHER (1992)

Fischer,K.; Windisch,H.-M.: MAGSY: Ein regelbasiertes Multiagentensystem; in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 22-26.

FOX (1981)

Fox,M.S.: An Organizational View of Distributed Systems; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11 (1981), S. 70-80.

FOX (1986)

Fox,M.S.; McDermott,J.: The Role of Databases in Knowledge-Based Systems; in: Brodie,M.L.; Mylopoulos,J. (Hrsg.): On Knowledge Base Management Systems - Integrating Artificial Intelligence and Database Technology, Berlin - Heidelberg - New York ... 1986, S. 407-430.

FRAICHARD (1990)

Fraichard,T.; Demazeau,Y.: Motion Planning in a Multi-Agent World; in: Demazeau,Y.; Müller, J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 137-153.

FRANCK (1985)

Franck,H.: Design Conditions for Decentralized Production management Systems in a CIM-Oriented Environment - Some Experiences from the Automotive Industry; in: Augustin,S.; Gründling,R.; Ohanian,J. (Hrsg.): Decentralized Production Management Systems, Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference on Decentralized Production Management Systems, 28.-29.03.1985 in München, Amsterdam - New York - Oxford - Tokyo 1985, S. 489-493.

FUJI (1988)

Fuji,Y.; Taki,H. et al.: Experimental Knowledge Processing System; in: o.V.: FGCS'88 - Fifth Generation Computer Systems 1988, Proceedings of the International Conference on Fifth Generation Computer Systems 1988, 28.11.-02.12.1988 in Tokyo, Vol. 1, Tokyo - Berlin - Heidelberg ... 1988, S. 85-108.

FUM (1987)

Fum,D.; Guida,G.; Tasso,C.: Variable-Depth Text Understanding: Integrating Importance Evaluation into the Comprehension Process; in: Plander,I. (Hrsg.): Artificial Intelligence and Information-Control Systems of Robots - 87, Proceedings of the Fourth Conference on Artificial Intelligence and Information-Control Systems of Robots, 19.-23.10.1987 in Smolenice, Amsterdam - New York - Oxford ... 1987, S. 31-39.

FUTO (1984)

Futo,I.; Gergely,T.: Cooperative Problem Solving by Intelligent Actors; in: Ponomaryov,V.M. (Hrsg.): Artificial Intelligence, Proceedings of the IFAC Symposium, 04.-06.10.1983 in Lenin-grad, Oxford - New York - Toronto ... 1984, S. 121-126.

GAHL (1991)

Gahl,A.: Die Konzeption strategischer Allianzen, Dissertation, Universität Münster, Berlin 1991.

GALLIERS (1990)

Galliers, J.R.: The Positive Role of Conflict in Cooperative Multi-Agent Systems; in: Demazeau, Y.; Müller, J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 33-46.

GASSER (1987)

Gasser, L.; Braganza, C.; Herman, N.: Implementing Distributed AI Systems Using MACE; in: o.V.: Proceedings of the Third Conference on Artificial Intelligence Applications, 23.-27.02.1987 in Kissimmee, Washington 1987, S. 315-320.

GASSER (1988a)

Gasser, L.; Braganza, C.; Herman, N.: Implementing Distributed AI Systems Using MACE; in: Bond, A.H.; Gasser, L. (Hrsg.): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo 1988, S. 445-450. (Anmk. des Verf.: Reprint von Gasser (1987).)

GASSER (1988b)

Gasser, L. (Hrsg.): Collected Draft Papers of the 1988 Workshop on Distributed Artificial Intelligence, 22.-25.05.1988 in Lake Arrowhead, Technical Report CRI-88-41, Computer Research Institute, University of Southern California, Los Angeles 1988.

GOMEZ (1981)

Gomez, F.; Chandrasekaran, B.: Knowledge Organization and Distribution for Medical Diagnosis; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11 (1981), S. 34-42.

GREEN (1987)

Green, P.E.: AF: A Framework for Real-Time Distributed Cooperative Problem Solving; in: Huhns, M.N. (Hrsg.): Distributed Artificial Intelligence, London - Los Altos 1987, S. 153-175.

GÜTH (1979)

Güth, W.: Kriterien für die Konstruktion fairer Aufteilungsspiele; in: Albers, W.; Bamberg, G.; Selten, R. (Hrsg.): Entscheidungen in kleinen Gruppen, Königstein 1979, S. 57-89.

GÜTH (1982)

Güth, W.: Auktionen, Ausschreibungen und Erbschaftsprobleme als ordnungspolitische Gestaltungsaufgaben, Diskussionspapier, Staatswissenschaftliches Seminar, Universität Köln, Köln 1982. (Anmk. des Verf.: auch veröffentlicht als: Auctions, Public Tenders, and Inheritance Problems - An Axiomatic Approach -, Köln 1984.)

GÜTH (1983)

Güth, W.; Schmittberger, R.; Schwarze, B.: A Theoretical and Experimental Analysis of Bidding Behavior in Vickrey-Auction Games; in: Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft, Bd. 139 (1983), S. 269-288.

HABICH (1988)

Habich, M.: Hierarchische PPS durch besondere Berücksichtigung dezentraler Dispositionszentren, Arbeitspapier, Lehrstuhl für Produktionssysteme, Universität Bochum, Bochum o.J. (1988).

HACKSTEIN (1991)

Hackstein, R.; Kemmer, G.-A.: Dezentralisierung macht die PPS leistungsfähiger; in: io Management Zeitschrift, 60. Jg. (1991), Nr. 4, S. 69-72.

HÄMMÄINEN (1987)

Hämmäinen, H.; Eloranta, E.; Milin, A.-M.: Intelligent Mail - Tool for Decentralization of Production Management; in: Yoshikawa, H.; Burbidge, J.L. (Hrsg.): New Technologies for Production Management Systems, Proceedings of the IFIP TC 5/WG 5./ Working Conference on New Technologies for Production Management Systems, 01.-03.10.1986 in Tokyo, Amsterdam - New York - Oxford ... 1987, S. 283-294.

HÄMMÄINEN (1990)

Hämmäinen, H.; Alasuvanto, J.; Mäntylä, R.: Experiences on Semi-Autonomous User Agents; in: Demazeau, Y.; Müller, J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 235-249.

Hahn (1988)

Hahn,U.; Jarke,M.: A Multi-Agent Reasoning Model for Negotiation Support; in: Lee,R.M.; McCosh,A.M.; Migliarese,P. (Hrsg.): Organizational Decision Support Systems, Proceedings of the IFIP WG 8.3 Working Conference on Organizational Decision Support Systems, 20.-22.06.1988 in Lake Como, Amsterdam - New York - Oxford ... 1988, S. 101-115.

Hahn (1990)

Hahn,U.; Jarke,M.; Rose,T.: Group Work in Software Projects: Integrated Conceptual Models and Collaboration Tools, Bericht MIP-9004, Fakultät für Mathematik und Informatik, Universität Passau, Passau 1990. (Auch veröffentlicht in: Gibbs,S.; Verrijn-Stuart,A.A. (Hrsg.): Multi-User Interfaces and Applications, Proceedings of the IFIP WG 8.4 Conference, 24.-26.09.1990 in Heraklion, Amsterdam - New York - Oxford 1990, S. 83-101.)

Hahn (1991a)

Hahn,U.; Jarke,M.; Eherer,S.; Kreplin,K.: CoAUTHOR - A Hypermedia Group Authoring Environment; in: Bowers,J.M.; Benford,S.D. (Hrsg.): Studies in Computer Supported Cooperative Work - Theory, Practice and Design, Amsterdam - New York - Oxford 1991, S. 79-100.

Hahn (1991b)

Hahn,U.; Jarke,M.; Rose,T.: Teamwork Support in a Knowledge-Based Information Systems Environment; in: IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. 17 (1991), S. 467-482.

Hanker (1990)

Hanker,J.: Die strategische Bedeutung der Informatik für Organisationen - Industrieökonomische Grundlagen des Strategischen Informatikmanagements, Stuttgart 1990.

Harmon (1987)

Harmon,P.; King,D.: Expertensysteme in der Praxis - Perspektiven, Werkzeuge, Erfahrungen, 2. Aufl., München - Wien 1987.

Harris (1987)

Harris,C.J.: Knowledge Based Systems for Real Time Command and Control Systems; in: Geerings,H.P.; Mansour,M. (Hrsg.): Large Scale Systems Theory and Applications 1986, Selected Papers from the 4th IFAC/IFORS Symposium, 26.-29.08.1986 in Zürich, Oxford - New York - Beijing ... 1987, Vol. 2, S. 477-480.

Hax (1991)

Hax,H.: Theorie der Unternehmung - Information, Anreize und Vertragsgestaltung; in: Ordheide,D.; Rudolph,B.; Büsselmann,E. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre und Ökonomische Theorie, 52. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 05.-09.06.1990 in Frankfurt, Stuttgart 1991, S. 51-72.

Heilmann (1989)

Heilmann,H.; Simon,M.: Expertensysteme - Grundlagen, Historie, Einsatzmöglichkeiten; in: Handbuch der Modernen Datenverarbeitung, 26. Jg. (1989), Heft 147, S. 3-17.

Hein (1991)

Hein,M.; Tank,W.: Kommunizierende wissensbasierte Systeme; in: Bullinger,H.-J. (Hrsg.): Handbuch des Informationsmanagements im Unternehmen - Technik, Organisation, Recht, Perspektiven, Band I, München 1991, S. 681-717.

Helberg (1987)

Helberg,P.: PPS als CIM-Baustein - Gestaltung der Produktionsplanung und -steuerung für die computerintegrierte Produktion, Berlin 1987.

Hellwig (1989)

Hellwig,K.: Dezentrale Produktions- und Absatzplanung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 525-530.

Hendler (1991)

Hendler,J.; Bobrow,D.; Gasser,L.; Hewitt,C.; Minsky,M.: Multiple Approaches to Multiple Agent Problem Solving; in: Mylopoulos,J.; Reiter,R. (Hrsg.): IJCAI-91, Proceedings of the Twelfth International Conference on Artificial Intelligence, 24.-30.08.1991 in Sydney, Vol. 1, San Mateo 1991, S. 553-554.

Herden (1990)

Herden,W.; Hein,H.-W. (Hrsg.): Kurzlexikon Wissensbasierte Systeme, München - Wien 1990.

HERRTWICH (1989)

Herrtwich,R.G.; Hommel,G.: Kooperation und Konkurrenz - Nebenläufige, verteilte und echtzeitabhängige Programmsysteme, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989.

HERTERICH (1989a)

Herterich,R.; Zell,M.: Konzeption eines Entscheidungsunterstützungssystems für die dezentrale Fertigungssteuerung; in: Information Management, 4. Jg. (1989), Heft 1, S. 12-20.

HERTERICH (1989b)

Herterich,R.; Zell,M.: Dezentrale Fertigungssteuerung - Neue Ansätze zur interaktiven Steuerung teilautonomer Bereiche bei Einzel- und Kleinserienfertigern; in: VDI-Z(eitschrift), Bd. 131 (1989), Nr. 5, S. 19-25.

HERTZBERG (1989)

Hertzberg,J.: Planen - Einführung in die Planerstellungsmethoden der Künstlichen Intelligenz, Mannheim - Wien - Zürich 1989.

HEWITT (1973)

Hewitt,C.; Bishop,P.; Steiger,R.: A Universal Modular ACTOR Formalism for Artificial Intelligence; in: o.V.: Third International Joint Conference on Artificial Intelligence - Advance Papers of the Conference (IJCAI-73), 20.-23.08.1973 in Stanford, o.O. (Menlo Park) 1973, S. 235-245.

HEWITT (1977)

Hewitt,C.: Viewing Control Structures as Patterns of Passing Messages; in: Artificial Intelligence, Vol. 8 (1977), S. 323-364.

HEWITT (1978a)

Hewitt,C.; Baker,H.: Actors and Continous Functionals, Paper, Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts) o.J. (1978).

HEWITT (1978b)

Hewitt,C.; Baker,H.: Actors and Continous Functionals; in: Neuhold,E.J. (Hrsg.): Formal Descriptions of Programming Concepts, Proceedings of the IFIP Working Conference on Formal Descriptions of Programming Concepts, 1.-5.08.1977 in Saint Andrews, Amsterdam 1978, S. 367-390.

HEWITT (1984)

Hewitt,C.; de Jong,P.: Open Systems; in: Brodie,M.L.; Mylopoulos,J.; Schmidt,J.W. (Hrsg.): On Conceptual Modelling - Perspectives from Artificial Intelligence, Databases, and Programming Languages, New York - Berlin - Heidelberg ... 1984, S. 147-164.

HEWITT (1985)

Hewitt,C.: The Challenge of Open Systems; in: Byte, Vol. 10 (1985), No. April, S. 223-242.

HILDEBRAND (1990)

Hildebrand,R.; Wedel,T.; Mertens,P.: Zusammenarbeit mehrerer Expertensysteme mit einem großen PPS-Modularprogramm; in: Reuter,A. (Hrsg.): GI - 20. Jahrestagung II, Informatik auf dem Weg zum Anwender, 08.-12.10.1990 in Stuttgart, Proceedings, Informatik-Fachberichte 258, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990, S. 36-46.

HIRZEL (1992a)

Hirzel,M.; Leder,T. & Partner (Hrsg.): Speed-Management - Geschwindigkeit zum Wettbewerbsvorteil machen, Wiesbaden 1992.

HIRZEL (1992b)

Hirzel,M.: Mit Geschwindigkeit im dynamischen Markt reüssieren; in: Hirzel,M.; Leder,T. & Partner (Hrsg.): Speed-Management - Geschwindigkeit zum Wettbewerbsvorteil machen, Wiesbaden 1992, S. 19-26.

HOLDEN (1987)

Holden,T.: Knowledge Based CAD and Microelectronics, Amsterdam - New York - Oxford ... 1987.

HUHNS (1987)

Huhns,M.N. (Hrsg.): Distributed Artificial Intelligence (Papers presented at the Fifth Workshop on Distributed Artificial Intelligence, im Dezember 1985 in Sea Ranch), London - Los Altos 1987.

HYNYNEN (1989a)

Hynynen,J.; Lassila,O.: On the Use of Object-Oriented Paradigm in a Distributed Problem Solver; in: AI Communications, Vol. 2 (1989), S. 142-151.

HYNYNEN (1989b)

Hynynen,J.E.: Knowledge-Based Coordination in Distributed Production Management; in: Pau,L.F.; Motiwalla,J.; Pao,Y.H.; Teh,H.H. (Hrsg.): Expert Systems in Economics, Banking and Management, edited collection of the papers presented at the 2nd International IFIP/IFAC/IFORS Workshop on artificial intelligence in economics and management, 09.-13.01.1989 in Singapur, Amsterdam - New York - Oxford ... 1989, S. 257-267.

IBARAKI (1987)

Ibaraki,T.: Enumerative Approaches to Combinatorial Optimization - Part I (S. 1-342) und Part II (S. 343-602), Basel 1987 (zugleich: Annals of Operations Research, Vol. 10 (1987), No. 1-4: Part I / Vol. 11 (1987), No. 1-4: Part II.)

JABLONSKI (1990)

Jablonski,S.: Datenverwaltung in verteilten Systemen - Grundlagen und Lösungskonzepte, Informatik-Fachberichte 233, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

JACOB (1990)

Jacob,V.S.; Pirkul,H.: A Framework For Networked Knowledge-Based Systems; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 20 (1990), S. 119-127.

JAGANNATHAN (1986)

Jagannathan,V.; Dodhiawala,R.: Distributed Artificial Intelligence - An Annotated Bibliography; in: SIGART Newsletter, No. 95 (1986), S. 44-56.

JARKE (1987)

Jarke,M.; Hahn,U.: Verhandlungskonzepte für die rechnergestützte Teamarbeit; in: Paul,M. (Hrsg.): GI - 17. Jahrestagung: Computerintegrierter Arbeitsplatz im Büro, 20.-23.10.1987 in München, Proceedings, Informatik-Fachberichte 156, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987, S. 654-670.

KAMEL (1988)

Kamel,M.; Syed,A.: An Automated Multiagent Planning System; in: Oliff,M.D. (Hrsg.): Expert Systems and Intelligent Manufacturing, Proceedings of the Second International Conference on Expert Systems and the Leading Edge in Production Planning and Control, 03.-05.05.1988 in Charleston, New York - Amsterdam - London 1988, S. 367-384.

KERN (1992a)

Kern,W.: Die Zeit als Dimension betriebswirtschaftlichen Denkens und Handelns; in: Die Betriebswirtschaft, 52. Jg. (1992), S. 41-58.

KERN (1992b)

Kern,W.: Das Problem aus theoretischer Sicht; in: Hanssen,R.A.; Kern,W. (Hrsg.): Integrationsmanagement für neue Produkte, Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Sonderheft 30/92, Düsseldorf - Frankfurt 1992, S. 19-24.

KING (1988a)

King,R.E.; Karonis,F.C.: Expert System Synergism in Computer Integrated Manufacturing; in: Vichnevetsky,R.; Borne,P.; Vignes,J. (Hrsg.): 12th IMACS World Congress, 12.-22.1988 in Paris, o.O. 1988, S. 430-431.

KING (1988b)

King,R.E.; Karonis,F.C.: Synergistic Multi-Level Expert Systems in Computer Integrated Manufacturing; in: Bullinger,H.-J.; Protonotarios,E.N.; Bouwhuis,D.; Reim,F. (Hrsg.): Information Technology for Organisational Systems - Concepts for Increased Competitiveness, Proceedings of the First European Conference on Information Technology for Organisational Systems - EURINFO'88, 16.-20.05.1988 in Athen, Amsterdam - New York - Oxford ... 1988, S. 1012-1015.

KIOUNTOUZIS (1992)

Kiountouzis,E.; Papatheodorou,C.: Distributed Artificial Intelligence and Soft Systems: A Comparison; in: Doukidis,G.I.; Paul,R.J. (Hrsg.): Artificial Intelligence in Operational Research, Houndmills - London 1992, S. 321-326.

KIRN (1991)

Kirn,S.; Schlageter,G.: FRESCO: Eine Bankenapplikation als Testbed für die föderative Kooperation von Expertensystemen; in: Christaller,T. (Hrsg.): GWAI-91, 15. Fachtagung für Künstliche Intelligenz, 16.-20.09.1991 in Bonn, Proceedings, Informatik-Fachberichte 285, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 216-220.

KIRN (1992a)

Kirn,S.; Scherer,A.; Schlageter,G.: FRESCO: Föderative Kooperation in Verteilten Wissensbasierten Systemen; in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 68-71.

KIRN (1992b)

Kirn,S.; Schneider,J.: STRICT: Selecting The "Right" Architecture - A Blackboard-Based DAI Advisory System Supporting The Design of Distributed Production Planning & Control Applications; in: Belli,F.; Radermacher,F.J. (Hrsg.): Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, 5th International Conference, IEA/AIE-92, 09.-12.06.1992 in Paderborn, Proceedings, Lecture Notes in Artificial Intelligence 604, Berlin - Heidelberg - New York ... 1992, S. 391-400.

KNIESEL (1990)

Kniesel,G.: Cooperative Distributed Problem Solving in EPSILON; in: Commission of the European Communities (Hrsg.): ESPRIT'90, Proceedings of the Annual ESPRIT Conference, 12.-15.11.1990 in Brüssel, Dordrecht - Boston - London 1990, S. 177-193.

KOBAYASHI (1987)

Kobayashi,S.; Ono,N.: A Distributed Problem Solving Approach to Control Asynchronous and Concurrent Processes; in: Sawaragi,Y.; Inoue,K.; Nakayama,H. (Hrsg.): Toward Interactive and Intelligent Decision Support Systems, Volume 2, Proceedings of the Seventh International Conference on Multiple Criteria Decision Making, 18.-22.08.1986 in Kyoto, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 286, Berlin - Heidelberg - New York ... 1987, S. 20-29.

KÖHL (1990)

Köhl,E.: Optimale Datenintegration bei rechnerintegrierter Produktion, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990.

KÖNIG (1992)

König,W.; Back-Hock,A.: Forschungslandschaft Wirtschaftsinformatik; in: Mertens,P.; Ehrenberg,D.; Griese,J.; Heinrich,L.J.; Kurbel,K.; Stahlknecht,P. (Hrsg.): Studien- und Forschungsführer Wirtschaftsinformatik, 4. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York ... 1992, S. 34-49.

KOO (1988)

Koo,C.C.; Wiederhold,G.: A Commitment-based Communication Model for Distributed Office Environment; in: Allen,R.B. (Hrsg.): Conference on Office Information Systems, 23.-25.03.1988 in Palo Alto, New York 1988, S. 291-298.

KONOLIGE (1980)

Konolige,K.; Nilsson,N.J.: Multiple-Agent Planning Systems; in: o.V.: Proceedings of the First Annual National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-80, 18.-21.08.1980 in Stanford, o.O. (Menlo Park) 1980, S. 138-142.

KOTSCHENREUTHER (1991)

Kotschenreuther,W.: Unterstützung der Störungsbewältigung in der Produktion durch Verteilte Wissensbasierte Systeme, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg 1991.

KRALLMANN (1987)

Krallmann,H.: Expertensysteme in der Produktionsplanung und -steuerung; in: CIM Management, 3. Jg. (1987), Heft 4, S. 60-69.

KRALLMANN (1991a)

Krallmann,H.: Verteilte wissensbasierte Systeme in der Fertigung; in: computer magazin, 20. Jg. (1991), Heft 4/5, S. 26-31.

KRALLMANN (1991b)

Krallmann,H.: Der wissensbasierte Fertigungsleitstand auf der Basis verteilter Architekturen; in: Milling,P. (Hrsg.): Systemmanagement und Managementsysteme, Festgabe für Gert v. Kortzfleisch zum 70. Geburtstag, Berlin 1991, S. 191-218.

KURBEL (1989)

Kurbel,K.; Rautenstrauch,C.: Ein verteiltes PPS-System auf Arbeitsplatzbasis; in: Paul,M. (Hrsg.): GI - 19. Jahrestagung II, Computergestützter Arbeitsplatz, 18.-20.10.1989 in München, Proceedings, Informatik-Fachberichte 223, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 476-490.

KWA (1988)

Kwa,J.B.H.: Planning Robust AGV Movements; in: Radig,B.; Kodratoff,Y.; Ueberreiter,B.; Wimmer,K.-P. (Hrsg.): ECAI 88, Proceedings of the 8th European Conference on Artificial Intelligence, 01.-05.08.1988 in München, London 1988, S. 165-169.

LEDER (1992)

Leder,T.: Das Programm Speed-Management; in: Hirzel,M.; Leder,T. & Partner (Hrsg.): Speed-Management - Geschwindigkeit zum Wettbewerbsvorteil machen, Wiesbaden 1992, S. 179-207.

LEE (1988)

Lee,S.; Shin,Y.G.: Automatic Construction of Assembly Partial-Order Graphs; in: o.V.: 1988 International Conference on Computer Integrated Manufacturing, 23.-25.05.1988 in Troy, Washington 1988, S. 383-392.

LENZ,H. (1991)

Lenz,H.: Moralische Normen und Opportunismus in der neueren Theorie der Unternehmung; in: Schauenberg,B. (Hrsg.): Wirtschaftsethik - Schnittstellen von Ökonomie und Wissenschaftstheorie, Tagung der Kommission Wissenschaftstheorie im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 05.-06.10.1989 in Berlin, Wiesbaden 1991, S. 13-35.

LENZ,U. (1986)

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

LESSER (1979)

Lesser,V.R.; Corkill,D.D.: The Applications of Artificial Intelligence Techniques to Cooperative Distributed Processing; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 1, S. 537-540.

LESSER (1981)

Lesser,V.R.; Corkill,D.D.: Functionally Accurate, Cooperative Distributed Systems; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11 (1981), S. 81-96.

LESSER (1983)

Lesser,V.R.; Corkill,D.D.: The Distributed Vehicle Monitoring Testbed: A Tool For Investigating Distributed Problem Solving Networks; in: The AI Magazine, Vol. 4 (1983), No. 3, S. 15-33.

LESSER (1988a)

Lesser,V.R.; Corkill,D.D.: The Distributed Vehicle Monitoring Testbed: A Tool For Investigating Distributed Problem Solving Networks; in: Englemore,R.; Morgan,T. (Hrsg.): Blackboard Systems, Wokingham - Reading - Menlo Park ... 1988, S. 353-386. (Anmk. des Verf.: Reprint von Lesser (1983).)

LESSER (1988b)

Lesser,V.R.; Erman,L.D.: Distributed Interpretation: A Model and Experiment; in: Bond,A.H.; Gasser,L. (Hrsg.): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo 1988, S. 120-139.

LESSER (1989)

Lesser,V.R.; Corkill,D.D.; Whitehair,R.C.; Hernandez,J.A.: Focus of Control Through Goal Relationships; in: Sridharan,N.S. (Hrsg.): IJCAI-89, Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-25.08.1989 in Detroit, San Mateo 1989, Vol. 1, S. 497-503.

LEVI (1988)

Levi,P.: Verteilte Aktionsplanung für autonome mobile Agenten; in: Hoepfner,W. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz, GWAI-88, Proceedings, 19.-23.09.1988 in Eringerfeld, Informatik-Fachberichte 181, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 27-40.

LEVI (1989)

Levi,P.: Verteilte Aktionsplanung für autonome mobile Agenten; in: von Luck,K. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz, 7. Frühjahrsschule, KIFS-89, 11.-19.03.1989 in Günne, Proceedings, Informatik-Fachberichte 203, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 188-201.

LEVI (1992)

Levi,P.: Multiagenten-Systeme; in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 56.

LI (1989)

Li,Y.P.: DKM - A Distributed Knowledge Representation Framework; in: Kerschberg,L. (Hrsg.): Proceedings From the Second International Conference on Expert Database Systems, 25.-27.04.1988 in Wien, Redwood City - Fort Collins - Menlo Park ... 1989, S. 313-331.

LIEBERMAN (1981a)

Lieberman,H.: A Preview of Act 1, A.I. Memo No. 625, Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts) 1981.

LIEBERMAN (1981b)

Lieberman,H.: Thinking About Lots Of Things Once Without Getting Confused - Parallelism in Act 1, A.I. Memo No. 626, Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge (Massachusetts) 1981.

LINGG (1992)

Lingg,H.: Von der Bedeutung des Wettbewerbsfaktors "Zeit"; in: io Management Zeitschrift, 61. Jg. (1992), Nr. 7/8, S. 73-77.

LIROV (1992)

Lirov,Y.: Gaining Strategic Advantage with Real-Time Distributed Artificial Intelligence; in: Belli,F.; Radermacher,F.J. (Hrsg.): Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems, 5th International Conference, IEA/AIE-92, 09.-12.06.1992 in Paderborn, Proceedings, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Berlin - Heidelberg - New York ... 1992, S. 1-14.

LIZOTTE (1990)

Lizotte,M.; Moulin,B.: A Temporal Planner for Modelling Autonomous Agents; in: Demazeau, Y.; Müller,J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 121-136.

Loos (1986)

Loos,P.; Ruffling,T.: Verteilte Produktionsplanung und -steuerung unter Einsatz von Mikrocomputern, Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 52, Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität des Saarlandes, Saarbrücken 1986.

LOTZ (1989)

Lotz,E.: Neue dezentrale Steuerungsstruktur für flexible Fertigungssysteme; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, 84. Jg. (1989), S. 138-140.

MACKENZIE (1988)

Mackenzie,R.: Die Zeitfalle - Sinnvolle Zeiteinteilung und Zeitnutzung, 8. Aufl., Heidelberg 1988.

MAES (1989)

Maes,P.: The Dynamics of Action Selection; in: Sridheran,N.S. (Hrsg.): IJCAI-89, Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-25.08.1989 in Detroit, Vol. 2, San Mateo 1989, S. 991-997.

MAHLING (1991)

Mahling,D.; Horstmann,T.; Scheller-Houy,A.; Lux,A.; Steiner,D.; Haugeneder,H.: Wissensbasierte Unterstützung von Gruppenarbeit oder: Die Emanzipation der maschinellen Agenten; in: Friedrich,J.; Rödiger,K.-H. (Hrsg.): Computergestützte Gruppenarbeit (CSCW), 1. Fachtagung, 30.09.-02.10.1991 in Bremen, Stuttgart 1991, S. 279-294.

MALEY (1988)

Maley,J.G.: Managing the Flow of Intelligent Parts; in: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 4 (1988), S. 525-530. (Auch erschienen in: o.V.: International Conference on the Manufacturing Science and Technology of the Future, 03.-07.06.1987 in Cambridge (Massachusetts), Cambridge (Massachusetts) 1987, o.S.)

MALONE (1988)

Malone,T.W.; Fikes,R.E.; Grant,K.R.; Woward,M.T.: Enterprise: A Market-like Task Scheduler for Distributed Computing Environments; in: Huberman,B.A. (Hrsg.): The Ecology of Computation, Amsterdam 1988, S. 177-205.

MANSKE (1986)

Manske, F.: Fertigungssteuerung im Maschinenbau aus der Perspektive von Unternehmensleitung und Werkstattpersonal; in: Bey, I.; Mense, H. (Hrsg.): Bewertung von Entwicklung und Einsatz moderner Fertigungstechnologien, Tagungsband zur Fachtagung, 12.03.1986 in Karlsruhe, Forschungsbericht KfK-PFT 119, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH - Projektträgerschaft Fertigungstechnik, Karlsruhe 1986, S. 85-109.

MARIN (1991)

Marin, M.A.; Jasmin, J.-L.: Cooperating Expert Systems for Diagnoses of Electrical Apparatus; in: Naser, J.A. (Hrsg.): Expert Systems Applications for the Electric Power Industry, Volume 1, New York - Washington - Philadelphia ... 1991, S. 623-638.

MAßBERG (1989)

Maßberg, W.; Habich, M.: Dezentrale Planungs- und Steuerungsstrukturen als Konsequenz steigender Flexibilitätsanforderungen; in: o.V.: Organisation und Personalführung beim Einsatz Neuer Technologien - Konzepte im Hinblick auf den Europäischen Binnenmarkt, Köln 1989, S. 143-173.

MATTERN (1988)

Mattern, F.; Sturm, P.: Konzepte verteilter Programmierung - Erfahrungen bei der Entwicklung eines dezentralen Terminvereinbarungssystems; in: Valk, R. (Hrsg.): GI - 18. Jahrestagung II - Vernetzte und komplexe Informatik-Systeme, Proceedings, 17.-19.10.1988 in Hamburg, Informatik-Fachberichte 188, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 545-561.

MATTHES (1989)

Matthes, W.; Albers, E.: Ein Standardmodul für ein offenes Netzwerk operativer Produktionssteuerungsmodelle - Konzeption und Diskussion; in: Pressmar, D.; Jäger, K.E.; Krallmann, H.; Schellhaas, H.; Streitferdt, L. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 1988 - DGOR, Vorträge der 17. Jahrestagung, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 498.

MCARTHUR (1982)

McArthur, D.; Steeb, R.; Cammarata, S.: A Framework for Distributed Problem Solving; in: o.V.: Proceedings of the Second Annual National Conference on Artificial Intelligence, AAAI-82, 18.-20.08.1982 in Pittsburgh, Menlo Park 1982, S. 181-184.

MERTENS (1988a)

Mertens, P.: Expertensysteme in der Produktion - Eine Bestandsaufnahme, Arbeitspapiere der Informatik-Forschungsgruppe VIII, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen 1988.

MERTENS (1988b)

Mertens, P.; Helmer, J.; Rose, H.; Wedel, T.: Ein Ansatz zu kooperierenden Expertensystemen bei der PPS, Skript, Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg o.J. (1988).

MERTENS (1988c)

Mertens, P.: Wissensbasierte Systeme im Produktionsbereich: Bestandsaufnahme; in: Mertens, P.; Wiendahl, H.-P.; Wildemann, H. (Hrsg.): CIM-Komponenten zur Planung und Steuerung - Expertensysteme in der Produktion, München 1988, S. 7-38.

MERTENS (1989a)

Mertens, P.: Verbindung von verteilter Produktionsplanung und -steuerung und verteilten Expertensystemen; in: Information Management, 4.Jg. (1989), Heft 1, S. 6-11.

MERTENS (1989b)

Mertens, P.; Helmer, J.; Rose, H.; Wedel, T.: Ein Ansatz zu kooperierenden Expertensystemen bei der Produktionsplanung und -steuerung; in: Kurbel, K.; Mertens, P.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Interaktive betriebswirtschaftliche Informations- und Steuerungssysteme, Berlin - New York 1989, S. 13-40.

MERTENS (1989c)

Mertens, P.; Hildebrand, R.J.N.; Kotschenreuther, W.: Verteiltes wissensbasiertes Problemlösen im Fertigungsbereich; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 839-854.

MERTENS (1989d)

Mertens, P.; Hildebrand, R.J.N.; Kotschenreuther, W.: Verteiltes wissensbasiertes Problemlösen im Fertigungsbereich, Manuskript, Informatik-Forschungsgruppe VIII, Universität Erlangen-Nürnberg, o.O. (Erlangen) o.J. (1989).

MERTENS (1991)

Mertens,P.: Betriebliche Expertensysteme in der Bundesrepublik Deutschland, in Österreich und in der Schweiz - Bestandsaufnahme und neuere Entwicklungen; in: Spang,S.; Kraemer,W. (Hrsg.): Expertensysteme - Entscheidungsgrundlage für das Management, Wiesbaden 1991, S. 9-33.

MEYER (1989)

Meyer,W.: Cooperating Expert Systems as CIM Modules; in: Commission of the European Communities (Hrsg.): ESPRIT'89, Proceedings of the 6th Annual ESPRIT Conference, 27.11.-01.12.1989 in Brussels, Dordrecht - Boston - London 1989, S. 688-709.

MEYER (1990a)

Meyer,W.: Expert Systems in Factory Management - Knowledge-Based CIM, New York - London - Toronto ... 1990.

MILBERG (1991)

Milberg,J.; Koepfer,T.: Der Wettbewerbsfaktor Zeit als Maßstab für die Leistungsfähigkeit der Produktion; in: o.V.: Produktionsmanagement'91 - Wirtschaftlichkeit, Qualität und Umweltverträglichkeit durch neue Wege im Produktionsmanagement, Tagung, 05.-06.12.1991 in Köln, Düsseldorf 1991, S. 229-252.

MILBERG (1992)

Milberg,J.; Koepfer,T.: Zeiteinsparung bei der Produktentwicklung; in: Produktionsautomatisierung, 1. Jg. (1992), Heft 1, S. 20-23.

MILGROM (1982)

Milgrom,P.R.; Weber,R.J.: A Theory of Auctions and Competitive Bidding; in: Econometrica, Vol. 50 (1982), S. 1089-1122.

MÜLLER (1992a)

Müller,J.: Editorial; in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 5.

MÜLLER (1992b)

Müller,J.: Die VKI Landkarte; in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 57-58.

MUSCETTOLA (1987)

Muscettola,N.; Smith,S.F.: A Probabilistic Framework for Resource-Constrained Multi-Agent Planning; in: o.V.: IJCAI 87, Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 23.-28.08.1987 in Mailand, o.O. (Los Altos) 1987, Vol. 2, S. 1063-1066.

NII (1986)

Nii,H.P.: Blackboard Systems - Blackboard Application Systems, Blackboard Systems from a Knowledge Engineering Perspective; in: The AI Magazine, Vol. 7 (1986), No. 3, S. 82-106.

NII (1988)

Nii,H.P.; Aiello,N.; Rice,J.: Frameworks for Concurrent Problem Solving: A Report on CAGE and POLIGON; in: Engelmores,R.; Morgan,T. (Hrsg.): Blackboard Systems, Wokingham - Reading - Menlo Park ... 1988, S. 475-501.

NISHIYAMA (1991)

Nishiyama,T.; Katai,O.; Iwai,S.; Sawaragi,T.; Masuichi,H.: Generating Integrated Interpretation of Partial Information Based on Distributed Qualitative Reasoning; in: Mylopoulos,J.; Reiter,R. (Hrsg.): IJCAI-91, Proceedings of the Twelfth International Conference on Artificial Intelligence, 24.-30.08.1991 in Sydney, Vol. 1, San Mateo 1991, S. 89-95.

O'GRADY (1988)

O'Grady,P.; Lee,K.H.: An intelligent cell control system for automated manufacturing; in: International Journal of Production Research, Vol. 26 (1988), S. 845-861.

OBERMEIER (1991)

Obermeier,T.: Kapazitätsorientierte Produktionsplanung bei variantenreicher Serienfertigung am Beispiel des Siemens Gerätewerks Regensburg, Dissertation, Universität Regensburg, Regensburg 1991.

OLBRICHT (1990)

Olbricht,H.J.: Dezentrale Auftragssteuerung im SAP-PPS Umfeld; in: Bullinger,H.-J. (Hrsg.): Werkstattorientierte Produktionsunterstützung, IAO-Forum, 10.-11.09.1990 in Stuttgart, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990, S. 305-336.

o.V. (1989)

o.V.: Koordinator Krupp Atlas - Neues ESPRIT-Projekt: ARCHON; in: KI - Künstliche Intelligenz: Forschung, Entwicklung, Erfahrungen, 3. Jg. (1989), Heft 4, S. 35.

o.V. (1990)

o.V.: Künstliche Intelligenz: Brainstorming der Computer; in: Wirtschaftswoche, 44. Jg. (1990), Nr. 12, S. 127.

o.V. (1991)

o.V.: European SIG on Distributed Systems - Charter, Paper vom 15.05.1991, o.O. (Cambridge / Großbritannien) 1991.

o.V. (1992a)

o.V.: Ablaufplan Erste Plenarveranstaltung 1992 des DFG-Schwerpunktprogramms "Verteilte DV-Systeme in der Betriebswirtschaft" mit dem Ziel der Vorstellung der Projekte, der Antragsteller und der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, o.O. o.J. (1992).

o.V. (1992b)

o.V.: Programm Globalisierung der Wirtschaft - Einwirkungen auf die Betriebswirtschaftslehre, 54. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. vom 9. bis 13. Juni 1992 in St. Gallen, St. Gallen 1992.

o.V. (1992c)

o.V.: Arbeitskreis Verteilte KI - Interessenbekundung und Umfrage; in: KI - Künstliche Intelligenz: Forschung, Entwicklung, Erfahrungen, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 76.

Ow (1988)

Ow,P.S.; Smith,S.F.; Howie,R.: A Cooperative Scheduling System; in: Oliff,M.D. (Hrsg.): Expert Systems and Intelligent Manufacturing, Proceedings of the Second International Conference on Expert Systems and the Leading Edge in Production Control, 03.-05.05.1988 in Charleston, New York - Amsterdam - London 1988, S. 43-56.

PALLISCHECK (1990)

Pallischeck,O.; Wöhrle,G.; Wunderlich,L.: Objektorientierter Ansatz zur Werkstattsteuerung; in: Krallmann,H. (Hrsg.): Innovative Anwendungen der Informations- und Kommunikationstechnologien in den 90er Jahren, München - Wien 1990, S. 155-168.

PANTELE (1989)

Pantele,E.F.; Lacey,C.E.: Mit "Simultaneous Engineering" die Entwicklungszeiten kürzen; in: io Management Zeitschrift, 58. Jg. (1989), Nr. 11, S. 56-58.

PAPAZOGLU (1992)

Papazoglou,M.; Kirn,S.: IJCAI'91-Workshop Intelligent and Cooperative Information Systems (Tagungsbericht); in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 36-37.

PETERSEN (1989)

Petersen,T.: Optimale Anreizsysteme - Betriebswirtschaftliche Implikationen der Prinzipal-Agenten-Theorie, Dissertation, Universität Bonn 1988, Wiesbaden 1989.

PFEFFER (1988)

Pfeffer,H.: Das PPS-System von 1995: Dezentral in Soft- und Hardware; in: computer magazin, 17. Jg. (1988), Heft 4, S. 49-50.

PFEIFFER (1990)

Pfeiffer,W.; Weiss,E.: Zeitorientiertes Technologie-Management als Kombination von "just-in-time-design", "just-in-time-production" und "just-in-time-distribution"; in: Pfeiffer,W.; Weiß,E. (Hrsg.): Technologie-Management, Philosophie - Methodik - Erfahrungen, Göttingen 1990, S. 1-39.

PORTER (1986)

Porter,M.E.: Wettbewerbsvorteile - Spitzenleistungen erreichen und behaupten, Frankfurt - New York 1986.

RAJARAM (1983)

Rajaram,N.S.: Design of Intelligent Systems with Cooperating Knowledge Based Components; in: o.V.: Proceedings Trends & Applications 1983 - Automating Intelligent Behavior - Applications and Frontiers, Silver Spring 1983, S. 135-141.

RAMAMRITHAM (1984)

Ramamritham,K.; Stankovic,J.A.: Dynamic Task Scheduling in Hard Real-Time Distributed Systems; in: IEEE Software, Vol. 1 (1984), No. July, S. 65-75.

RAULEFS (1982a)

Raulefs,P.: Expertensysteme; in: Bibel,W.; Siekmann,J.H. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz, Frühjahrsschule Teisendorf, 15.-24.03.1982 in Teisendorf, Informatik-Fachberichte 59, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 61-98.

RAULEFS (1982b)

Raulefs,P.: Methoden der Künstlichen Intelligenz: Übersicht und Anwendungen in Expertensystemen; in: Nehmer,J. (Hrsg.): GI - 12. Jahrestagung, 05.-07.10.1982 in Kaiserslautern, Proceedings, Informatik-Fachberichte 57, Berlin - Heidelberg - New York 1982, S. 170-187.

RAULEFS (1989)

Raulefs,P.: Computational Architectures for Computer-Integrated Engineering and Manufacturing: An Artificial Intelligence Perspective; in: Metzging,D. (Hrsg.): GWAI-89, 13th German Workshop on Artificial Intelligence, 18.-22.09.1989 in Eringersfeld, Proceedings, Informatik-Fachberichte 216, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 455-471.

RAULEFS (1991)

Raulefs,P.: Cooperating Agent Architectures to Manage Manufacturing Processes; in: Brauer,W.; Hernandez,D. (Hrsg.): Verteilte Künstliche Intelligenz und kooperatives Arbeiten, 4. Internationaler GI-Kongreß Wissensbasierte Systeme, 23.-24.10.1991 in München, Proceedings, Informatik-Fachberichte 291, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 6-17.

REESE (1992)

Reese,J.: Design of an Information-Based Distributed Production Planning System; in: Fandel,G.; Gullledge,T.; Jones,A. (Hrsg.): New Directions for Operations Research in Manufacturing, Proceedings of a Joint US/German Conference, 30.-31.07.1992 in Gaithersburg, Berlin - Heidelberg - New York ... 1992, S. 75-90.

RHUMBLER (1992)

Rhumblert,F.: Differenzierte Zeitstrategien entwickeln; in: Hirzel,M.; Leder,T. & Partner (Hrsg.): Speed-Management - Geschwindigkeit zum Wettbewerbsvorteil machen, Wiesbaden 1992, S. 27-36.

RICE (1989)

Rice,J.: The Elint Application on Poligon: The Architecture and Performance of a Concurrent Blackboard System; in: Sridharan,N.S. (Hrsg.): IJCAI-89, Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, 20.-25.08.1989 in Detroit, San Mateo 1989, Vol. 1, S. 212-217.

ROCHE (1988)

Roche,C.: Object in Expert Systems; in: Demengeot,J.; Herve,T.; Rialle,V.; Roche,C. (Hrsg.): Artificial Intelligence and Cognitive Sciences, Manchester - New York 1988, S. 3-14.

SACERDOTI (1980)

Sacerdoti,E.D.: Plan Generation and Execution for Robotics, Technical Note 209, Artificial Intelligence Center, Stanford Research Institute International Inc., Menlo Park 1980.

SCHAUENBERG (1991)

Schauenberg,B.: Organisationsprobleme bei dauerhafter Kooperation; in: Ordelheide,D.; Rudolph,B.; Büsselmann,E. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre und Ökonomische Theorie, 52. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 05.-09.06.1990 in Frankfurt, Stuttgart 1991, S. 329-356.

SCHEER (1985)

Scheer,A.-W.: Die neuen Anforderungen an PPS-Systeme; in: CIM Management, o.Jg. (1985), Heft 4, S. 32-36.

SCHEER (1986)

Scheer,A.-W.: PPS-Systeme: Neue Architektur; in: computer magazin, 15. Jg. (1986), Heft 7/8, S. 43-44.

SCHEER (1988a)

Scheer,A.-W.: Dezentrale Produktions-Planung und Steuerung; in: computer magazin, 17. Jg. (1988), Heft 4, S. 43-45.

SCHEER (1988b)

Scheer,A.-W.; Steinmann,D.: Einführung in den Themenbereich Expertensysteme; in: Scheer,A.W. (Schriftleitung): Betriebliche Expertensysteme I, Einsatz von Expertensystemen in der Betriebswirtschaft - Eine Bestandsaufnahme, Wiesbaden 1988, S. 5-27.

SCHEER (1990)

Scheer,A.-W.: Dezentrale Fertigungssteuerung; in: Friemel,H.-J.; Müller-Schönberger,G.; Schütt,A. (Hrsg.): Forum'90 Wissenschaft und Technik - Neue Anwendungen mit Hilfe aktueller Computer-Technologien, 08.-09.10.1990 in Trier, Proceedings, Informatik-Fachberichte 259, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990, S. 358-366.

SCHEER (1991)

Scheer,A.-W.: Konsequenzen für die Betriebswirtschaftslehre aus der Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien, Schriftliche Fassung des Abschlußvortrages, gehalten am 24.05.1991 anlässlich: der 53. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 21.-25.05.1991 in Linz, Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Heft 79, Saarbrücken 1991.

SCHIRRA (1988a)

Schirra,J.R.J.: Deklarative Programme in einem Aktor-System: MEGA-ACT, Memo Nr. 35, Sonderforschungsbereich 314, Künstliche Intelligenz - Wissensbasierte Systeme, KI-Labor am Lehrstuhl für Informatik IV, Universität des Saarlandes, Saarbrücken 1988.

SCHIRRA (1988b)

Schirra,R.J.: Deklarative Programme in einem Aktor-System: MEGA-ACT, Teil 1: Der Hintergrund; in: KI - Künstliche Intelligenz: Forschung, Entwicklung, Erfahrungen., 2. Jg. (1988), Heft 3, S. 4-9.

SCHIRRA (1988c)

Schirra,R.J.: Deklarative Programme in einem Aktor-System: MEGA-ACT, Teil 2: Das MEGA-ACT-System; in: KI - Künstliche Intelligenz: Forschung, Entwicklung, Erfahrungen., 2. Jg. (1988), Heft 4, S. 4-12.

SCHUPETA (1991)

Schupeta,A.: Rückblick auf die MAAMAW'90; in: KI - Künstliche Intelligenz, 5. Jg. (1991), Heft 2, S. 42-43.

SCHWARZE (1983)

Schwarze,B.: Auszahlungsverhalten in Apex-Spielen und Versteigerung der Spielrollen, Dissertation, Universität Köln, Köln 1983.

SEEL (1989)

Seel,N.: The First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (Tagungsbericht); in: AI Communications, Vol. 2 (1989), No. 3/\$, S. 164-167.

SHAW (1984)

Shaw,(M.)J.-P.: The Design of a Distributed Knowledge-Based System for the Intelligent Manufacturing Information System, Dissertation, Purdue University, Ann Arbor 1984.

SHAW (1985)

Shaw,M.J.; Whinston,A.B.: Task Bidding and Distributed Planning in Flexible Manufacturing; in: Weisbin,C.R. (Hrsg.): Artificial Intelligence Applications - The Engineering of Knowledge-Based Systems, Proceedings of the Second Conference, 11.-13.12.1985 in Miami Beach, Washington - Amsterdam 1985, S. 184-189.

SHAW (1986)

Shaw,M.J.P.; Whinston,A.B.: Applications of Artificial Intelligence to Planning and Scheduling in Flexible Manufacturing; in: Kusiak,A. (Hrsg.): Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies, Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo 1986, S. 223-242.

SHAW (1987a)

Shaw,M.J.P.: Distributed Planning in Cellular Flexible Manufacturing Systems; in: INFOR, Vol. 25 (1987), S. 13-25.

SHAW (1987b)

Shaw,M.J.: A distributed scheduling method for computer integrated manufacturing: the use of local area networks in cellular systems; in: International Journal of Production Research, Vol. 25 (1987), S. 1285-1303.

SHAW (1988a)

Shaw,M.; Wiegand,G.: Intelligent information processing in FMS - Efficient organisation of information in an FMS can greatly improve its operation speed and effectiveness.; in: The FMS Magazine, Vol. 6 (1988), S. 137-140.

SHAW (1988b)

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. 85-104.

SHAW (1988c)

Shaw,M.J.: Dynamic Scheduling in Cellular Manufacturing Systems: A Framework for Networked Decision Making; in: Journal of Manufacturing Systems, Vol. 7 (1988), S. 83-94.

SHEN (1989)

Shen,D.; Woolf,B.: A Perspective on Teams of Robots; in: o.V.: Seventh Annual ACM Computer Science Conference, 21.-23.02.1989 in Louisville, New York 1989, S. 477ff.

SILVERMAN (1987)

Silverman,B.G.: Distributed Inference and Fusion Algorithms for Real-Time Supervisory Controller Positions; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-17 (1987), S. 230-239.

SIMON (1989a)

Simon,H.: Die Zeit als strategischer Erfolgsfaktor; in: Hax,H.; Kern,W.; Schröder,H.-H. (Hrsg.): Zeitaspekte in betriebswirtschaftlicher Theorie und Praxis, 50. Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 24.-28.05.1988 in Köln, Stuttgart 1989, S. 117-130.

SIMON (1989b)

Simon,H.: Die Zeit als strategischer Erfolgsfaktor; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 70-93. (Anmk. des Verf.: nicht identisch mit Simon (1989a).)

SINGH (1991)

Singh,M.P.: Towards a Formal Theory of Communication for Multiagent Systems; in: Mylopoulos,J.; Reiter,R. (Hrsg.): IJCAI-91, Proceedings of the Twelfth International Conference on Artificial Intelligence, 24.-30.08.1991 in Sydney, Vol. 1, San Mateo 1991, S. 69-74.

SMITH,R. (1977)

Smith,R.G.: The Contract Net: A Formalism For The Control of Distributed Problem Solving; in: o.V.: 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-77, Proceedings of the Conference, 22.-25.08.1977 in Cambridge (Massachusetts), o.O. (Pittsburgh) 1977, S. 472.

SMITH,R. (1978a)

Smith,R.G.; Davis,R.: Applications of the Contract Net Framework: Distributed Sensing; in: o.V.: Proceedings of the ARPA Distributed Sensor Net Symposium, Pittsburgh 1978, S. 12-20.

SMITH,R. (1978b)

Smith,R.G.; Davis,R.: Distributed Problem Solving: The Contract Net Approach; in: o.V. Proceedings of the Second National Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence, im Juli 1978 in Toronto, o.O. 1978, S. 278-287.

SMITH,R. (1979)

Smith,R.G.: A Framework for Distributed Problem Solving; in: o.V.: IJCAI-79, Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Intelligence, 20.-23.08.1979 in Tokyo, o.O. (Stanford) 1979, Vol. 2, S. 836-841.

SMITH,R. (1980)

Smith,R.G.: The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver; in: IEEE Transactions on Computers, Vol. C-29 (1980), S. 1104-1113.

SMITH,R. (1981a)

Smith,R.G.; Davis,R.: Frameworks for Cooperation in Distributed Problem Solving; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11 (1981), S. 61-70.

SMITH,R. (1981b)

Smith,R.: A Framework for Distributed Problem Solving, Ann Arbor 1981 (Anmk. des Verf.: überarbeitete Fassung der Dissertation, Stanford University 1979.)

SMITH,S. (1985)

Smith,S.F.; Ow,P.S.: The Use of Multiple Problem Decomposition in Time Constrained Planning Tasks; in: o.V.: Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-85, 19.-23.09.1985 in Los Angeles, Los Altos 1985, Vol. 2, S. 1013-1015. (Auch erschienen als: Report CMU-RI-TR-85-11, Intelligent Systems Laboratory, The Robotics Institute, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh 1985.)

SOLARO (1991)

Solaro,D.: Schnittstellen-Controlling; in: Horvath,P.; Gassert,H.; Solaro,D. (Hrsg.): Controlling-konzeptionen für die Zukunft - Trends und Visionen, Stuttgart 1991, S. 91-110.

STADTLER (1988)

Stadtler,H.: A Comparison of two Optimization Procedures for 1- and 1 1/2-Dimensional Cutting Stock Problems; in: Operations Research-Spektrum, Bd. 10 (1988), S. 97-111.

STALK (1988)

Stalk,G.: Time - The Next Source of Competitive Advantage; in: Harvard Business Review, Vol. 66 (1988), No. 4, S. 41-51.

STEEB (1981)

Steeb,R.; Cammarata,S.; Hayes-Roth,F.A.; Thorndyke,P.W.; Wesson,R.B.: Distributed Intelligence for Air Fleet Control, Report R-2728-ARPA, Rand Corporation, Santa Monica 1981.

STEEB (1986)

Steeb,R.; McArthur,D.J.; Cammarata,S.; Narain,S.; Giarla,W.D.: Distributed Problem Solving for Air Fleet Control: Framework and Implementation; in: Klahr,P.; Waterman,D.A. (Hrsg.): Expert Systems - Techniques, Tools and Applications, Reading - Menlo Park - Don Mills 1986, S. 391-432.

STEELS (1990)

Steels,L.: Cooperation between Distributed Agents through Self-Organization; in: Demazeau,Y.; Müller,J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 175-196.

STOTKO (1989)

Stotko,G.: Simultaneous Engineering: Produktentwicklung im CIM-Zeitalter; in: o.V. (VDI-Gesellschaft Produktionstechnik / ADB): Simultaneous Engineering - Neue Wege des Projektmanagements, Tagung, 18.-19.04.1989 in Frankfurt, Düsseldorf 1989, S. 233-263.

SUDA (1988)

Suda,P.: HYDRA: Ein verteiltes Problemlösungssystem mit hybriden Problemlösungsknoten; in: Valk,R. (Hrsg.): GI - 18. Jahrestagung (I) - Vernetzte und komplexe Informatik-Systeme, Proceedings, 17.-19.10.1988 in Hamburg, Informatik-Fachberichte 187, Berlin - Heidelberg - New York ... 1988, S. 161-183.

SUNDERMEYER (1990)

Sundermeyer,K.: Modellierung von Szenarien kooperierender Akteure; in: Marburger,H. (Hrsg.): GWAI-90, 14th German Workshop on Artificial Intelligence, 10.-14.09.1990 in Eringerfeld, Proceedings, Informatik-Fachberichte 251, Berlin - Heidelberg - New York ... 1990, S. 11-18.

SUNDERMEYER (1991)

Sundermeyer,K.: A Development and Simulation Environment for Cooperating Knowledge-Based Systems; in: Brauer,W.; Hernandez,D. (Hrsg.): Verteilte Künstliche Intelligenz und kooperatives Arbeiten, 4. Internationaler GI-Kongreß Wissensbasierte Systeme, 23.-24.10.1991 in München, Proceedings, Informatik-Fachberichte 291, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 102-112.

SYRING (1991)

Syring,M.: Verteilte Künstliche Intelligenz und kooperatives Arbeiten, 4. Internationaler GI-Kongreß Wissensbasierte Systeme, 23.-24. Oktober 1991, München (Tagungsbericht); in: Wirtschaftsinformatik, 33. Jg. (1991), S. 546-547.

TANIMOTO (1990)

Tanimoto,S.L.: KI: Die Grundlagen, München - Wien.

THORNDYKE (1981)

Thorndyke, P.W.; McArthur, D.; Cammarata, S.: AUTOPILOT: A Distributed Planner for Air Fleet Control; in: Drinan, A. (Hrsg.): Proceedings of the Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI-81, 24.-28.08.1981 in Vancouver, o.O. (Menlo Park) 1981, Vol. 1, S. 171-177.

TRAYNER (1987)

Trayner, C.: Allocating Abilities to Actors; in: Merry, M. (Hrsg.): Expert Systems'85, Proceedings of the Fifth Technical Conference of the British Computer Society Specialist Group on Expert Systems, 17.-19.12.1985 in Warwick, Reprint, Cambridge (Großbritannien) - New York - New Rochelle ... 1987, S. 113-123.

VAN DYKE PARUNAK (1985)

Van Dyke Parunak, H.; Irish, B.W.; Kindrick, J.; Lozo, P.W.: Fractal Actors for Distributed Manufacturing Control; in: Weisbin, C.R. (Hrsg.): Artificial Intelligence Applications - The Engineering of Knowledge-Based Systems, Proceedings of the Second Conference, 11.-13.12.1985 in Miami Beach, Washington - Amsterdam 1985, S. 653-660.

VAN DYKE PARUNAK (1986)

Van Dyke Parunak, H.; Lozo, P.W.; Judd, R.; Irish, B.W.; Kindrick, J.: A Distributed Heuristic Strategy for Material Transportation; in: o.V.: Proceedings of the Conference on Intelligent Systems and Machines, Oakland University, o.O. 1986, S. 305-310.

VAN DYKE PARUNAK (1987)

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

VAN DYKE PARUNAK (1988)

Parunak, H.V.D.: Distributed Artificial Intelligence Systems; in: Kusiak, A. (Hrsg.): Artificial Intelligence - Implications for CIM, Kempston/Bedford - Berlin - Heidelberg ... 1988, S. 225-251. (Anmk. des Verf.: Der Autor "Parunak, H.V.D." ist identisch mit dem - in anderen Quellen abweichend notierten - Autor: "Van Dyke Parunak, H.")

VAN DYKE PARUNAK (1990)

Van Dyke Parunak, H.: Distributed AI and Manufacturing Control: Some Issues and Insights; in: Demazeau, Y.; Müller, J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 81-101.

VERNADAT (1988)

Vernadat, F.: Artificial Intelligence in CIM Databases; in: Kusiak, A. (Hrsg.): Artificial Intelligence - Implications for CIM, Kempston/Bedford - Berlin - Heidelberg ... 1988, S. 255-289.

VICKREY (1961)

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

VILLA (1988)

Villa, A.: Distributed Architecture for Production Planning and Control in Discrete Manufacturing; in: o.V.: 1988 International Conference on Computer Integrated Manufacturing, 23.-25.05.1988 in Troy, Washington 1988, S. 357-366.

VON MARTIAL (1990)

von Martial, F.: Interactions Among Autonomous Planning Agents; in: Demazeau, Y.; Müller, J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 105-119.

VON MARTIAL (1992)

von Martial, F.: Einführung in die Verteilte Künstliche Intelligenz; in: KI - Künstliche Intelligenz, 6. Jg. (1992), Heft 1, S. 6-11.

WARSCHAT (1991)

Warschat, J.; Wasserloos, G.: Simultaneous Engineering - Strategie zur ablauforganisatorischen Straffung des Entwicklungsprozesses; in: Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering, 40. Jg. (1991), S. 22-27.

WEBER (1990)

Weber,E.; Kotschenreuther,W.; Mertens,P.: Ein Verhandlungsmechanismus zwischen drei einfachen Wissensbasierten Systemen; in: Wirtschaftsinformatik, 32. Jg. (1990), S. 59-70.

WEIGELT (1991)

Weigelt,M.; Mertens,P.: Produktionsplanung und -steuerung mit Verteilten Wissensbasierten Systemen; in: Brauer,W.; Hernandez,D. (Hrsg.): Verteilte Künstliche Intelligenz und kooperatives Arbeiten, 4. Internationaler GI-Kongreß Wissensbasierte Systeme, 23.-24.10.1991 in München, Proceedings, Informatik-Fachberichte 291, Berlin - Heidelberg - New York ... 1991, S. 113-123.

WEISS (1989)

Weiss,E.: Management diskontinuierlicher Technologie-Übergänge - Analyse und Therapie hemmender Faktoren, Göttingen 1989.

WERNER (1989)

Werner,E.: Cooperating Agents: A Unified Theory of Communication and Social Structure, Bericht Nr. 50, Verbundprojekt WISBER, Fachbereich Informatik, Universität Hamburg, Hamburg 1989.

WERNER (1990)

Werner,E.: Distributed Cooperation Algorithms; in: Demazeau,Y.; Müller,J.P. (Hrsg.): Decentralized A.I., Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, 16.-18.08.1989 in Cambridge (Großbritannien), Amsterdam - New York - Oxford ... 1990, S. 17-31.

WESSON (1981)

Wesson,R.; Hayes-Roth,F.; Burge,J.W.; Stasz,C.; Sunshine,C.A.: Network Structures for Distributed Situation Assessment; in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11 (1981), S. 5-23.

WIENDAHL (1991)

Wiendahl,H.-P.; Brosch,A.: Dezentrale Anlagenbelegungsplanung in der automatisierten Variantenmontage; in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, 86. Jg. (1991), S. 166-169.

WILDEMANN (1989)

Wildemann,H.: Fabrikorganisation: Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59. Jg. (1989), S. 27-54.

WILDEMANN (1990)

Wildemann,H.: Integrierte Produktentwicklung XI / Höhere Zeiteffizienz von F+E, Produktion und Zulieferung - Neben Kosten und Qualität kann der Faktor Zeit im Wettbewerb zum entscheidenden Element werden; in: Handelsblatt, Nr. 195 (Ausgabe vom 09.10.1990), S. 26.

WILDEMANN (1992)

Wildemann,H.: Zeit als Wettbewerbsinstrument in der Informations- und Wertschöpfungskette; in: Wildemann,H. (Hrsg.): Zeitmanagement - Strategien zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, Frankfurt 1992, S. 15-24.

WILLIAMS (1988)

Williams,M.A.: Hierarchical Multi-expert Signal Understanding; in: Engelmores,R.; Morgan,T. (Hrsg.): Blackboard Systems, Wokingham - Reading - Menlo Park ... 1988, S. 387-415.

WILLIAMSON (1990)

Williamson,O.E.: Die ökonomischen Institutionen des Kapitalismus - Unternehmen, Märkte, Kooperationen, Tübingen 1990.

WITT (1992)

Witt,K.-U.: Einführung in die objektorientierte Programmierung, München - Wien 1992.

WITTIG (1989)

Wittig,T.: ARCHON - Cooperation of Heterogenous On-line Systems; in: Brauer,W.; Freksa,C. (Hrsg.): Wissensbasierte Systeme, 3. Internationaler GI-Kongreß, 16.-17.10.1989 in München, Proceedings, Informatik-Fachberichte 227, Berlin - Heidelberg - New York ... 1989, S. 486-495.

WOITASS (1991)

Woitass, M.: Koordination in strukturierten Konversationen - Ein Koordinationsmodell für kooperierende Agenten und seine Anwendung im Bereich Computer-Supported Cooperative Work (CSCW), Dissertation, Universität Passau 1990, GMD-Bericht Nr. 190, München - Wien 1991.

WORDEN (1987)

Worden, R.P.; Foote, M.H.; Knight, J.A.; Andersen, S.K.: Co-Operative Expert Systems; in: du Boulay, B.; Hogg, D.; Steels, L. (Hrsg.): Advances in Artificial Intelligence - II, Proceedings of the Seventh European Conference on Artificial Intelligence, ECAI-86, 20.-25.07.1986 in Brighton, Amsterdam - New York - Oxford ... 1987, S. 511-526.

YONEZAWA (1977)

Yonezawa, A.; Hewitt, C.: Modelling Distributed Systems; in: o.V.: 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence - 1977, IJCAI-77, Proceedings of the Conference, 22.-25.08.1977 in Cambridge (Massachusetts), o.O. (Pittsburgh) 1977, Vol. 1, S. 370-376.

ZÄPFEL (1987)

Zäpfel, G.; Missbauer, H.: Produktionsplanung und -steuerung für die Fertigungsindustrie - ein Systemvergleich; in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 57. Jg. (1987), S. 882-899.

ZÄPFEL (1989a)

Zäpfel, G.: Strategisches Produktions-Management, Berlin - New York 1989.

ZÄPFEL (1989b)

Zäpfel, G.: Dezentrale PPS-Systeme - Konzepte und theoretische Fundierung (Vortrag "Dezentrale PPS-Systeme und ihre theoretische Fundierung", gehalten am 30.09.1988 anlässlich: Sitzung der wissenschaftlichen Kommission "Produktionswirtschaft" im Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., 30.09.-01.10.1988 in Linz); in: Zäpfel, G. (Hrsg): Neuere Konzepte der Produktionsplanung und -steuerung, Linz 1989, S. 29-59.

ZÄPFEL (1992)

Zäpfel, G.: Grobplanung zur Optimierung von Produktionsaufgaben im Rahmen eines dezentralen PPS-Systems, Beschreibung des Einzelprojekts im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms "Betriebswirtschaftliche Gestaltung von Planung und Steuerung moderner Produktion", interner Entwurf eines Projektantrags, Linz 1992.

ZAHN (1991)

Zahn, E.: Innovation als Strategie in turbulenter Zeit; in: Zahn, E. (Hrsg.): Auf der Suche nach Erfolgspotentialen - Strategische Optionen in turbulenter Zeit, Stuttgart 1991, S. 31-53.

ZELEWSKI (1986)

Zelewski, S.: Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz - Eine informationstechnisch-betriebswirtschaftliche Analyse, Band 1, 2 und 3, Dissertation (unter dem Titel: Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz - Bestandsaufnahme und Bewertungsansätze aus informationstechnisch-betriebswirtschaftlicher Perspektive unter besonderer Berücksichtigung produktionswirtschaftlicher Aspekte -), Universität Köln 1985, Witterschlick (Bonn) 1986.

ZELEWSKI (1988)

Zelewski, S.: Competitive Bidding aus der Sicht des Ausschreibers - ein spieltheoretischer Ansatz -; in: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 40. Jg. (1988), S. 407-421.

ZELEWSKI (1989)

Zelewski, S.: Einsatz von Expertensystemen in den Unternehmen - Anwendungsmöglichkeiten, Bewertungsaspekte und Probleme künstlicher Intelligenz, Ehningen - Stuttgart 1989.

ZELEWSKI (1990)

Zelewski, S.: PPS-Expertensysteme für die Terminfeinplanung und -steuerung - Teil 1: Konzepte / Teil 2: Prototypen; in: Information Management, 5. Jg. (1990), Heft 1, S. 56-65 bzw. Heft 2, S. 68-74.

ZELEWSKI (1991)

Zelewski, S.: PPS-Expertensysteme; in: Spang, S.; Kraemer, W. (Hrsg.): Expertensysteme - Entscheidungsgrundlage für das Management, Wiesbaden 1991, S. 251-283.

ZVIAR (1985)

Zeviar, F.T.: Distributed Intelligence in Alternatives Analysis for Computer Selection and Configuration; in: o.V.: Expert Systems and their Applications, 5th International Workshop Papers, Avignon 1985, S. 101-120.

ZIMMERMANN (1991)

Zimmermann, V.: Untersuchungen über Client/Server-Modelle und deren unterschiedliche Anwendungsbereiche, Diplomarbeit, Fachgebiet Wirtschaftsinformatik, Universität des Saarlandes, Saarbrücken 1991.

ZINSER (1989)

Zinser, K.; Elzer, P.; Borchers, H.W.; Weisang, C.: The Gradient Backbone Architecture; in: Commission of the European Communities (Hrsg.): ESPRIT'89, Proceedings of the 6th Annual ESPRIT Conference, 27.11.-01.12.1989 in Brussels, Dordrecht - Boston - London 1989, S. 449-458.

**Seminars für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre
und Produktionswirtschaft der Universität zu Köln**

(bis Sommer 1986: Seminar für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Fertigungswirtschaft)

- Nr. 1: ZELEWSKI, STEPHAN: Entscheidungsmodelle zur Verschrottung von Fertigungshilfsmitteln, Köln 1984.
- Nr. 2: KERN, WERNER; ZELEWSKI, STEPHAN: Ein Zuordnungsmodell für Meßgeräte in Energie-Informationen-Systemen, Köln 1985.
- Nr. 3: KERN, WERNER; PETERS, ULRICH: Energiebewirtschaftung in industriellen Betrieben - Bericht über eine Befragung, Köln 1985.
- Nr. 4: BOOS, JOCHEN: Lokalisierung von Meßstellen für ein Informations-System zur Energiebewirtschaftung in industriellen Betrieben - Entwicklung eines OR-Modells mit einem Lösungsvorschlag, Köln 1986.
- Nr. 5: ZELEWSKI, STEPHAN: Ansätze der Künstlichen Intelligenz-Forschung zur Unterstützung der Netzplantechnik, Köln 1986.
- Nr. 6: ZELEWSKI, STEPHAN: Schnittstellen bei betrieblichen Informationssystemen - eine Darstellung aus systemtheoretischer und betriebswirtschaftlicher Sicht, Köln 1986.
- Nr. 7: ZELEWSKI, STEPHAN: Konzepte für Frühwarnsysteme und Möglichkeiten zu ihrer Fortentwicklung durch Beiträge der Künstlichen Intelligenz, Köln 1986.
- Nr. 8: ZELEWSKI, STEPHAN: Das Konzept der unscharfen Mengen unter besonderer Berücksichtigung ihrer linguistischen Interpretation - eine Lösung für unscharfe Probleme?, Köln 1986.
- Nr. 9: ZELEWSKI, STEPHAN: Der tau-Wert: Aspekte eines neueren spieltheoretischen Ansatzes zur fairen Preisbildung aus kostenrechnerischer Perspektive, Köln 1986.
- Nr. 10: ZELEWSKI, STEPHAN: Competitive Bidding aus der Sicht des Ausschreibers - ein spieltheoretischer Ansatz, Köln 1986.
- Nr. 11: ZELEWSKI, STEPHAN: Netztheoretische Ansätze zur Konstruktion und Auswertung von logisch fundierten Problembeschreibungen, Köln 1986.
- Nr. 12: ZELEWSKI, STEPHAN: Netztheoretische Fundierung von parallelen Algorithmen für die Lösung linear-ganzzahliger OR-Modelle, Köln 1986.
- Nr. 13: ZELEWSKI, STEPHAN: Intelligente Informationsbanksysteme - benutzerfreundliche Instrumente für die Informationsvermittlung?, Köln 1986.
- Nr. 14: ZELEWSKI, STEPHAN: Komplexitätstheorie - ihr Beitrag zur Klassifizierung und Beurteilung von Problemen des Operations Research, Köln 1986.
- Nr. 15: ZELEWSKI, STEPHAN: Der Informationsbroker, Köln 1986.
- Nr. 16: ZELEWSKI, STEPHAN: Soziale Verantwortbarkeit von Technologien, Köln 1986.
- Nr. 17: ZELEWSKI, STEPHAN: Expertensysteme - Übersicht über Konzeptionen und betriebswirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten, Köln 1986.
- Nr. 18: ZELEWSKI, STEPHAN: Das Leistungspotential der Künstlichen Intelligenz für Industrieanwendungen - Ein Überblick, Köln 1987.
- Nr. 19: ZELEWSKI, STEPHAN: Expertensysteme im "Büro der Zukunft" - Ein Überblick über Anwendungsperspektiven und Bewertungsaspekte, Köln 1987.
- Nr. 20: KUMMER, SEBASTIAN: Computerunterstützung schöpferischer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, Köln 1987.
- Nr. 21: ZELEWSKI, STEPHAN: Betriebswirtschaftliche Aspekte des industriellen Einsatzes von Expertensystemen - Anwendungsmöglichkeiten und Bewertung, Köln 1988.

- Nr. 22: ZELEWSKI, STEPHAN: Expertensysteme für Prozeßplanung und -steuerung in der Fabrik der Zukunft - Ein Überblick über Konzepte und erste Prototypen, Köln 1988.
- Nr. 23: ZELEWSKI, STEPHAN: Expertensysteme zur Sicherung der Betriebsbereitschaft in der Fabrik der Zukunft, Köln 1988.
- Nr. 24: ZELEWSKI, STEPHAN: Ansätze zur Bewertung des Einsatzes Künstlicher Intelligenz in Industrieunternehmungen - aus produktiver und sozialer Sicht, Köln 1988.
- Nr. 25: HÖLSCHER, ANDREAS: Unterstützung der Forschung und Entwicklung in der Pharmaindustrie durch externe Informationen - Möglichkeiten und Grenzen, Köln 1988.
- Nr. 26: SCHRÖDER, HANS-HORST: Entwicklungsstand und -tendenzen bei PPS-Systemen, Köln 1989.
- Nr. 27: ZELEWSKI, STEPHAN: Eine Metakritik an der Kritik konventioneller Rationalitätsauffassungen durch kulturwissenschaftlich fundierte Konzepte praktischer und prozeduraler Rationalität, Köln 1989.
- Nr. 28: ZELEWSKI, STEPHAN: Petrinetze für die Konstruktion und Konsistenzanalyse von logisch orientierten Problembeschreibungen, Köln 1989.
- Nr. 29: ELLE, HANS-DIETER: Aufgeklärter Konstruktivismus - Ein Beitrag zur erkenntnis- und wissenschaftsprogrammatiscen Diskussion innerhalb der Betriebswirtschaftslehre, Köln 1989.
- Nr. 30: ZELEWSKI, STEPHAN: CAP-Expertensysteme - Anwendungsaspekte Künstlicher Intelligenz im Bereich der Arbeitsplanung, Köln 1989.
- Nr. 31: DOCHNAL, HANS-GUIDO: Darstellung und Analyse von OPT (Optimized Production Technology) als Produktionsplanungs- und -steuerungskonzept, Köln 1990.
- Nr. 32: ZELEWSKI, STEPHAN: Schwache Argumente gegen die starke KI-These - Ein Beitrag zur Diskussion über Searle's chinesisches Zimmer, Köln 1990.
- Nr. 33: WETZLAR, GABI: Organisatorische Aspekte einer Implementierung von Qualitätsstrategien in Industriebetrieben, 2. Aufl., Köln 1991 (1. Aufl. v. Gabi Wetzlar, geb. Schwickert, Köln 1990).
- Nr. 34: VATTEROTH, HANS-CHRISTIAN: Pflichtenheft für die computergestützte Personalplanung auf der Basis von Personalinformationssystemen, Köln 1990.
- Nr. 35: KERN, WERNER: Die Zeit als Dimension betriebswirtschaftlichen Denkens und Handelns, Köln 1991.
- Nr. 36: SCHÜTZ, HANS-WERNER: Diversifizierung in der deutschen Eisen- und Stahlindustrie - Eine betriebswirtschaftliche Analyse exemplarischer Entwicklungslinien, Köln 1991.
- Nr. 37: ZELEWSKI, STEPHAN: ATMS-Systeme, Köln 1991.
- Nr. 38: VATTEROTH, HANS-CHRISTIAN: Marktübersicht für die computergestützte Personalplanung auf der Basis von Personalinformationssystemen - Das aktuelle Angebot an Standard-Software, 2. Aufl., Köln 1992 (1. Aufl., Köln 1991).
- Nr. 39: FÖRSTER, FRIEDRICH; VATTEROTH, HANS-CHRISTIAN: Die aktuelle Marktübersicht für die computergestützte Erfassung flexibler Arbeitszeiten auf der Basis von BDE-Systemen - Anforderungen an und Leistungen von Standard-Software, Köln 1991.
- Nr. 40: VATTEROTH, HANS-CHRISTIAN: Das Angebot an Standard-Software für die PC-gestützte Personalplanung - Die aktuelle Marktübersicht, Köln 1991.
- Nr. 41: NIEBUER, ALFONS: Transaktionskosten als Parameter bei Fremdbezugsentscheidungen - Möglichkeiten ihrer Abbildung, Köln 1992.
- Nr. 42: ZELEWSKI, STEPHAN: Aktivitätsanalyse und Umweltschutz - Eine Studie zur Reaktion produktionswirtschaftlicher Theoriebildung auf neuartige praktische Herausforderungen, Köln 1992.
- Nr. 43: ZELEWSKI, STEPHAN: Produktionstheorie aus der Perspektive des "non statement view" - Ein Beitrag zur strukturalistischen Formulierung produktionswirtschaftlicher Theorien, Köln 1992.

- Nr. 44: STUHMANN, STEPHAN: Die Theorie des Gewinnvorbehalts als ein theoretischer Baustein zum Diskontinuitätenmanagement, Köln 1992.
- Nr. 45: BLUMENRÖTHER, CHRISTOF: Gestalten der externen Abnehmer-Zulieferer-Beziehungen in der Automobilindustrie, Köln 1993.
- Nr. 46: ZELEWSKI, STEPHAN: Multi-Agenten-Systeme für die Prozeß-kordinierung in komplexen Produktionssystemen - Ein Verteiltes Problemlösungskonzept auf der Basis von Kontraktnetzen, Köln 1993.