In-Memory basierte Real-Time Supply Chain Planung

Dirk Schmalzried[1], Carina Cundius[2], René Franke[3], Christian Lambeck[4], Rainer Alt[2], Wolf Zimmermann[3], and Rainer Groh[4]

[1] OR Soft Jänicke GmbH, Merseburg, Deutschland
gl@orsoft.de
[2] Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität Leipzig, Deutschland
{carina.cundius, rainer.alt}@uni-leipzig.de
[3] Institut für Informatik, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Deutschland
{rene.franke, wolf.zimmermann}@informatik.uni-halle.de
[4] Institut für Software- und Multimediatechnik, Technische Universität Dresden, Deutschland
{christian.lambeck, rainer.groh}@ tu-dresden.de

Abstract. Veränderte produktionslogistische Rahmenbedingungen und neue Ziele im Supply Chain Management (SCM) erfordern ein Redesign aktueller Supply Chain Planning (SCP)-Systeme. In-Memory-basierte betriebliche Informationssysteme bieten viele Vorteile und können bei der Definition neuer SCM-Systeme zugrunde gelegt werden. Allerdings sind noch Defizite in der Datenorganisation und den User Interfaces zu überwinden sowie Geschäftsprozesse anzupassen. Basierend auf den Erfahrungen aus mehreren Forschungsprojekten und den dort praktisch realisierten Demonstratoren werden die Eigenschaften von Real-Time-SCP-Lösungen definiert und anhand des Sales and Operations Planning (SOP)-Prozesses Perspektiven zur Überwindung bestehender Defizite aufgezeigt.

Keywords: In-Memory Computing, Real-Time, Supply Chain Management, Sales and Operations Planning, Enterprise Software

1 Motivation und Handlungsbedarf

1.1 Ausgangslage

Aufgrund veränderter produktionslogistischer Rahmenbedingungen, wie Wechselkurse, Rohstoff- und Transportkosten, und neuer Ziele im SCM sind heute verwendete SCP-Systeme nicht mehr suffizient [1], [2], [3]. Erweiterte technische Möglichkeiten bezüglich Hardware, Datenbanken und Architekturen ermöglichen deutlich leistungsfähigere SCM-Systeme [4]. Die zunehmende Komplexität, Fragilität und Dynamik der Supply Chain-Prozesse verstärkt den Wunsch nach genaueren und schnelleren Ergebnissen im SCP und weckt zusätzlich den Bedarf nach Simulationsfähigkeit.

Das Design aktueller SCM-Systeme hatte zum Zeitpunkt seiner Konzeption Mitte der 1990er Jahre Hardwarelimitationen zu berücksichtigen. Die dadurch in den Systemen anzutreffende, vergröbernde Sequenzialität und die Brüche an den Grenzen

11th International Conference on Wirtschaftsinformatik,
27th February – 01st March 2013, Leipzig, Germany

unterschiedlicher Modelle waren nicht nur prozess- sondern vor allem auch technisch bedingt. Sie können heute durch bessere technische Möglichkeiten behoben werden [1], [4]. Seit der Designzeit der SCM-Systeme hat sich die verfügbare Rechenleistung mehr als vertausendfacht. Zudem ermöglichen aktuelle Hardwaresysteme die Nutzung von Mehrkern-Prozessoren. Durch moderne In-Memory (IM)-Systeme kann eine Beschleunigung der Datenübertragung um den Faktor 10^3 gegenüber den Möglichkeiten zur Designzeit der SCM-Systeme erzielt werden [4].

Dieser Beitrag beruht auf der in Kapitel 2 durch Literaturanalyse untersetzten These, dass derzeit in SCP-Systemen umgesetzte Konzepte zu Defiziten bezüglich Zuverlässigkeit, Aktualität, Realisierbarkeit und Genauigkeit der Planung führen, die wiederum negativ auf die Zielerfüllung des SCM wirken. IM-basierte Real-Time (RT)-Systeme können die Grundlage für künftige RT-SCP-Systeme darstellen, um die analysierten Defizite zu beheben [4], [5], [6]. Abb. 1 stellt die Ausgangslage und eine mögliche Transformation zu RT-SCM-Systemen dar.

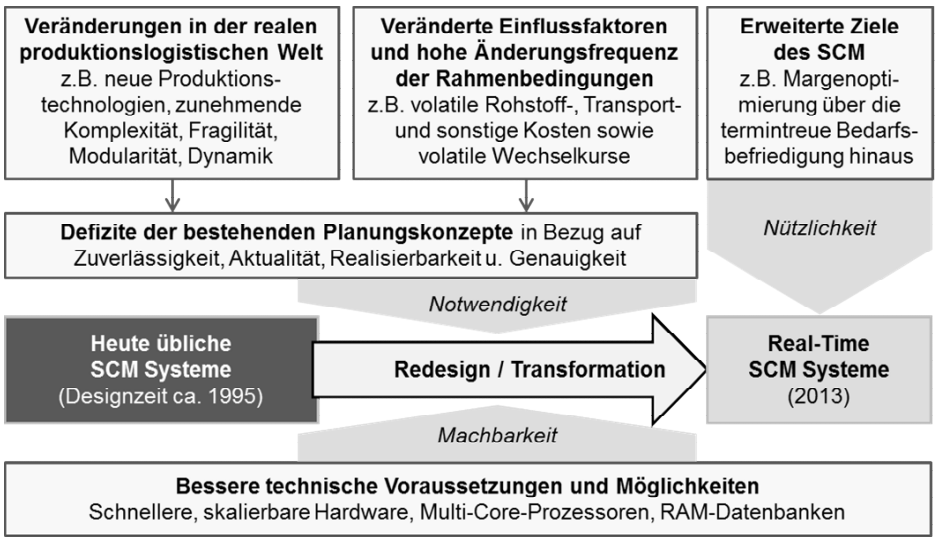

Abb. 1. Handlungsbedarf zum Entwurf neuer RT-SCP-Systeme

1.2 Stand der Technik und Forschung

Zu Beginn sollen die verfügbaren Ansätze zu RT- und IM-Lösungen klassifiziert werden. Neben klassischen SCM-Systemen ohne IM-Technologie kann der Markt an Systemen mit IM-Konzepten bezüglich ihrer Architektur wie folgt klassifiziert werden:

(a) Vollständige SCM-Systeme mit strukturierten IM-Komponenten, wie *SAP SCM* mit eigenem *LiveCache* [7],

(b) *Engines* oder *Add-Ons* zu führenden ERP-Systemen oder zu SCM-Systemen mit IM-Technologie ohne eigene permanente Datenhaltung, wie die *ORSOFT Manufacturing Workbench* [5],
(c) auf generischen IM-Datenbanken gegründete betriebliche Software, z.B. *Oracle Demantra* auf *Times Ten* [8] oder *SAP ERP* auf *HANA* [9] und
(d) IM-Datenbanken mit darauf zugeschnittenen Applikationen im selben Arbeitsspeicher, wie *SOP powered by SAP HANA* [9].

Schematisch und stark vereinfacht lassen sich diese vier Architekturvarianten wie in Abb. 2 darstellen. Die Varianten (a) und (b) nutzen spezifische interne Datenstrukturen, während die Varianten (c) und (d) als auch von außen zugreifbare IM-Datenbanken organisiert sind.

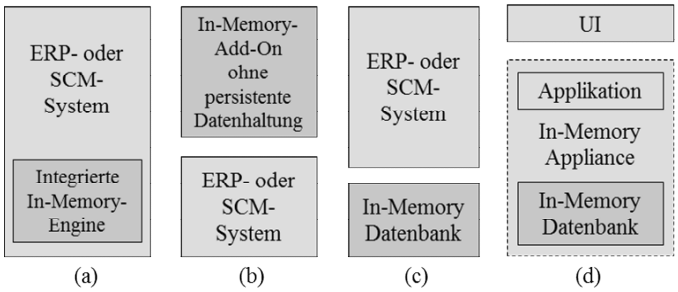

Abb. 2. Architekturen existierender In-Memory-Systeme im Bereich des SCP

In der Forschung zu IM- und betrieblichen RT-Systemen werden vor allem Themen der Datenverarbeitung, der Architekturveränderungen und verschiedene Themen aus dem Bereich des Business Intelligence wie *Explorative Analyse* betrachtet [10]. So sehen bspw. Fabian und Günther in [10] vor allem Anwendungsfelder im analytischen Bereich (u.a. Business Intelligence).

Während in den Architekturvarianten (a) und (b) seit längerem IM-Lösungen für SCP verfügbar sind, sind doch Untersuchungen im Bereich der *Adaptiven Planung* für die Varianten (c) und (d) hingegen noch selten. Insbesondere die Transformation bestehender Geschäftsprozesse basierend auf IM- und RT-Systemen ist kaum thematisiert. Piller et al. [6], [11] sowie Plattner und Zeier [4] befassen sich mit planerischen Themen ohne, Tinnefeld et al. [12] hingegen mit praktischen Realisierungen.

Ein Grund für die bisher nur sporadische Auseinandersetzung könnte sein, dass hauptspeicherbasierte, spaltenorientierte Datenbanken nicht nur Vorteile bieten, wenn SCP-Systeme darauf gegründet werden sollen. Die Nachteile liegen vor allem bei Schreiboperationen, deren Konsistenzsicherung in spaltenorientierten Datenbanksystemen weitreichendere Konsequenzen haben können. Bei den bisher vorgestellten und angekündigten Applikationen stehen daher zuerst analytische und lesende Prozesse im Vordergrund. Hier sind sehr schnell Verbesserungen zum derzeitigen Stand der Technik möglich und für Hersteller kommerziell wirksam. Auch *SOP powered by HANA* fokussiert zuerst auf lesende/analytische Prozesse und Aspekte des Finanzflusses,

jedoch bisher noch nicht auf schreibende Prozesse der Produktionsplanung. Daher scheint die Auseinandersetzung mit dem Themenfeld RT-SCP-Systeme nötig.

1.3 Vorgehen

Zunächst werden die Ziele des SCM in der Literatur analysiert und in eine generalisierte Definition überführt. Künftige RT-SCP-Systeme werden sich daran messen lassen müssen, wie viel besser sie die Ziele des SCM befördern, als dies klassische Legacy-Systeme oder auch bereits existierende IM-Systeme vermögen.

Um weiterhin Merkmale und Eigenschaften von RT-SCP-Systemen zu definieren, wird anschließend eine Analyse der in der Literatur benannten Defizite bestehender klassischer SCM-Systeme durchgeführt. Dabei können in Anlehnung an das Business Process Reengineering [13] drei Ebenen unterschieden werden: Konzeptionelle (Strategische) Ebene, Prozessebene sowie Architekturebene (Systemebene). Ausgehend von den Defiziten werden Eigenschaften ermittelt, die künftige RT-SCP-Systeme auszeichnen und in Tab. 1 dargestellt.

Insbesondere werden in Kapitel 2 solche Defizite einer detaillierteren Betrachtung unterzogen, die von bereits bestehenden IM-Systemen (s. Abb. 2 und Tab. 1) noch nicht behoben werden. Folgend wird ein neues Konzept künftiger SCP-Systeme vorgeschlagen, das sich durch eine jederzeit zuverlässige Planung mit kurzen und garantierten Antwortzeiten (*real-time*) auszeichnet.

Anhand einer induktiven Argumentationsstruktur werden sowohl die Nützlichkeit als auch die Machbarkeit dieses neuen Konzeptes in den Kapiteln 3 und 4 anhand von praktisch realisierten Demonstratoren[1] (s. Kap. 3.3 und Tab. 1, Spalte 4) veranschaulicht. Diese Demonstratoren wurden nach Architekturvariante (b) (s. Abb. 2) erstellt und ermöglichen die Erprobung der neuen Methoden für Datenhaltung, User Interfaces, Modell und transformierte planerische Prozesse im Bereich der SOP. Sie belegen beispielhaft, wie erkannte Defizite bestehender Systeme praktisch in RT-SCP-Systemen behoben werden können.

2 Anforderungen des SCP und Defizite bestehender Systeme

Gegenstand des SCM ist die Gestaltung, Planung, Koordination und Steuerung von Netzwerken, in denen eine Wertschöpfung durch Produktion, Handel oder Dienstleistung stattfindet. Das SCM umfasst Informations-, Material- und Geldflüsse. Ziel ist das nachhaltige, wirtschaftlich erfolgreiche Agieren der beteiligten Akteure am Markt durch die Konzeption, Planung und Steuerung der Logistikkette derart, dass die fünf Klassen *Bedarfsbefriedigung*, *Zeitziele*, *Qualitätsanforderungen*, *Flexibilitätsziele* und *nachhaltige Rentabilität* optimal erfüllt werden [1], [2], [14].

Gartner definierte ein Echtzeitunternehmen (*Real-Time Enterprise*) in der deutschen Übersetzung von Grauer et al. als ein „*Unternehmen, das zur Sicherung seiner*

[1] z. T. im Rahmen zweier vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderter Projekte (RealTime SCM und MindMap APS, http://www.pt-it.pt-dlr.de/de)

Wettbewerbsfähigkeit aktuelle Informationen nutzt, um nach und nach Verzögerungen im Management und Ablauf seiner kritischen Geschäftsprozesse abzubauen“ [15].

Es werden im folgenden Defizite sowohl bestehender, klassischer SCP-Systeme analysiert, als auch solche Defizite, die aktuelle, bereits auf IM-Technologien basierende SCP-Systeme weiterhin aufweisen. Aus der literaturbasierten Defizitanalyse werden Eigenschaften abgeleitet, die Unternehmen darin unterstützen, mithilfe eines RT-SCP-Systems möglichst verzögerungsarm zu agieren [16].

Konzeptionelle Defizite klassischer SCP-Systeme ohne IM-Komponente sind insbesondere durch den Bruch vom ungenauen Masterplanungsmodell zum detaillierten operativen Modell gegeben [17]. So sind oft keine zuverlässige Bewertung der Machbarkeit (feasibility) von Plänen und keine Verrechnung von Grob- und Feinplanungsergebnissen möglich. Die SCP-Module innerhalb der Systeme beruhen zudem teilweise auf unterschiedlichen Messmethoden und Kenngrößen, die eine übergreifende Planung und Steuerung in herkömmlichen SCP-Systemen verhindern. Dadurch werden strategische Ziele in der Planung nur unzureichend berücksichtigt [1]. Zudem werden die Kennzahlen meist retrospektiv erhoben und nicht zur Verbesserung der Prozesse proaktiv im Prozess genutzt. Diese konzeptionellen Nachteile werden nicht nur in Systemen ohne IM-Komponente (s. Tab. 1, Spalte 2), sondern auch teilweise in bereits bestehenden IM-basierten Realisierungen nicht behoben (s. Tab. 1, Spalte 3).

Tabelle 1. Eigenschaften klassischer SCP-Systeme, RT-SCP-Systeme und der Demonstratoren

	Eigenschaften	ohne IM	IM-Architektur				Demo		
			(a)	(b)	(c)	(d)	I	II	III
a.	einheitlich strukturiertes Modell für alle Planungsebenen und -bereiche	×	×	✓	×	○	✓	✓	✓
b.	gleiche Kennzahlen auf allen Planungsebenen; prospektives Nutzen analytischer Funktionen [1]	×	×	○	○	○		✓	
c.	kurze, garantierte Antwortzeiten auf Anfragen (*real-time*)	×	✓	✓	✓	✓		✓	✓
d.	Sicherstellen der Aktualität u. Gültigkeit von Informationen (*anytime*)	×	×	✓	×	○	✓		✓
e.	semantische und zeitliche Aggregationen und Disaggregationen von Daten zur Laufzeit anstelle voraggregierter und veraltender Zeitreihen	×	×	✓	✓	✓	✓		✓
f.	inkrementelle und interaktive Planungsfunktionen statt Batch-Läufe	○	✓	✓	○	✓		✓	✓
g.	jederzeit konfliktfreie Verrechnung aller Planungsebenen	×	×	✓	×	○	✓		✓
h.	Neuentwurf von Geschäftsprozessen zur Realisierung von Wettbewerbsvorteilen und Differenzierungszielen des Unternehmens	×	×	○	○	○		✓	
i.	Planung basierend auf multidimensionalen Lösungsräumen, anstelle eines ausprobierenden, sukzessiven Vorgehens	×	○	○	×	○		✓	
j.	Gründung der Daten und Anwendungen im Arbeitsspeicher	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
k.	Umgang mit großen Datenmengen und effiziente Datenorganisation	×	✓	✓	✓	✓	✓		
l.	Propagierung von Änderungen, z.B. durch Materialization	×	×	✓	×	○	✓		
m.	parallele Berechnung und parallele Speicherzugriffe [12]	×	×	×	×	✓			
n.	Simulationsfähigkeit und vergleichende Betrachtung von Varianten	×	✓	✓	×	○			✓
o.	Skalierbarkeit	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓
p.	intuitive und prozessorientierte anstelle transaktionaler User Interfaces	×	✓	✓	×	✓		✓	

Legende: ✓ Eigenschaft vorhanden; ○ Eigenschaft durch Konfiguration erzielbar; × nicht verfügbar

Prozessuale Defizite bestehender Systeme resultieren vor allem daraus, dass SCP-Prozesse nur lose gekoppelt werden und an mangelnder Aktualität und Genauigkeit der Informationen leiden [3]. Feste Planungszyklen (wochen-, monats- oder quartalsweise), lange Planungshorizonte und die fehlende Simulationsfähigkeit sind Defizite typischer SCP-Prozesse [18]. Verzögerungen im Ablauf kritischer Geschäftsprozesse nach der Gartner-Definition können zum einen aus den langen Antwortzeiten der Systeme, zum anderen aber auch aus der mangelnden Aktualität und Zuverlässigkeit der Daten resultieren. Bei der Entscheidung, welche Prozesse für eine RT-Transformation relevant sind, kann man zwischen *Planungsprozessen*, bei denen kurze Antwortzeiten wegen der geforderten Interaktivität im System nötig sind, und *realen Prozessen* unterscheiden, bei denen der nächste Prozessschritt von der planerischen Verarbeitung des vorhergehenden Schrittes abhängt. Ein Beispiel ist die neue Zuordnung von Materialien mit verfehlter Spezifikation zu Kundenaufträgen, z.B. solange die Schmelze noch im Ofen ist und es Energie kostet, sie warm zu halten. Ein weiteres Beispiel ist die Online-Anbindung an Terminbörsen für Hedging-Geschäfte.

Der Aspekt der garantierten maximalen Antwortzeit wird durch den Terminus „*real-time*“ charakterisiert. Die jederzeit mögliche, verzögerungsfreie Planung soll im Folgenden mit „*anytime*“ bezeichnet werden und bezieht sich auf die Aktualität, Gültigkeit und Zuverlässigkeit der zugrundeliegenden Daten [10]. Das Wissen um die Gültigkeit der verarbeiteten Daten ist nicht in allen RT-Konzepten gegeben.

Systemseitige Defizite bestehender SCP-Systeme liegen in technischen Realisierungen, die den Merkmalen *real-time* und *anytime* entgegenstehen, vor allem im Bereich Datenspeicherung, Datenorganisation und Datenmanipulation, aber auch im Bereich der User Interfaces. Insbesondere die Nutzung eines detaillierten Modells erfordert einen effizienten Umgang mit großen Datenmengen (s. Tab. 1).

3 Überwindung der Defizite auf Prozessebene

3.1 Sales and Operations Planning

Basierend auf den technischen Möglichkeiten von RT-Systemen können typische SCM-Prozesse im Hinblick auf das Zeitverhalten, die erreichte Genauigkeit und eine höhere und garantierte Aktualität neu definiert werden. Prozesse, die über einen hohen Grad an Dynamik und Variationen in den Daten sowie über ein großes Datenvolumen, viele Analyseoptionen, zeitlich dringende Ergebnisse und hohe Komplexität verfügen, sind besonders für eine Betrachtung geeignet [11]. Planungsprozesse allgemein und auch der SOP-Prozess verfügen über deutlich häufigere schreibende Zugriffe als analytische Prozesse. Er wird in der Praxis aufgrund der mangelnden Aktualität der Daten oft nur in größeren zeitlichen Abständen ausgeführt und eignet sich daher aus technischer Perspektive gut als Anwendungsfall für eine nähere Untersuchung.

Mit dem SOP-Prozess als mittel- bis langfristigem Prozess auf der taktischen Ebene wird das Ziel verfolgt, die prognostizierten und bekannten Bedarfe an Fertigprodukten (Nachfrage) mit der geplanten Produktionsmenge und der verfügbaren Kapazität (Angebot) abzustimmen, um Produktions- und Beschaffungsrisiken zu minimieren. SOP stellt eine Verbindung zwischen den strategischen und den operativen Plä-

nen von Unternehmen her, um eine optimierte Produktionsplanung zu erreichen. Dies soll mittels Integration und Abstimmung unterschiedlicher Bereiche und deren kosteneffizienter Ausrichtung an den Unternehmenszielen verwirklicht werden [19].

Es wird eine Weiterentwicklung von einer rein funktionalen hin zu einer prozessualen Betrachtungsweise im SOP angestrebt. Viele Unternehmen haben die Notwendigkeit für die Umsetzung erkannt. Jedoch wird SOP meist nur als taktisches Mittel eingesetzt oder die Ausführung ist noch defizitär [20]. Die Gründe dafür sind neben einem mangelnden Change-Management vor allem die oft noch fehlende Prozessausrichtung sowie der Mangel an adäquaten technischen Unterstützungsmöglichkeiten durch SCP-Systeme, wie sie in Kapitel 2 analysiert wurden.

Im Rahmen dieser Forschung liegt das Augenmerk auf dem Einsatz von RT-SCP-Systemen in Kombination mit der Gestaltung und der Integration des SOP-Prozesses. Der SOP-Prozess besitzt dabei vier Teilbereiche [14], [19], [21]:

- **Absatz- und Bedarfsplanung** (Sales Forecast, Demand Planning) – Prognose zukünftiger Verkäufe (Absatzmengen) der Produktgruppen
- **Produktionsgrobplanung / Masterplanung** – Abstimmen von Kapazitätsangebot und -nachfrage unter Berücksichtigung vorgegebener Budgets
- **Beschaffung und Distribution** – Optimierung von Beständen, Liege- und Transportzeiten; Planung von Lagerung, Kommissionierung und Transport
- **Finanzplanung** – Erstellung und Kontrolle des Finanz-Budgets (Budget Forecast)

Da die Betrachtung aller Teilbereiche hier zu komplex ist, analysiert dieser Beitrag aktuelle Defizite und Verbesserungsmöglichkeiten mit einem RT-SCP-System beispielhaft am Zusammenspiel der Bedarfs- und Produktionsgrobplanung.

3.2 Erkannte Defizite im SOP-Prozess

Resultierend aus den Literaturrecherchen sowie ersten Erfahrungen aus der Praxis wurden verschiedene Defizite im beschriebenen Prozess identifiziert:

Mangelnde Prozessorientierung. Eine unzureichende Prozessorientierung zeigt sich im skizzierten Prozess z.B. in der mangelnden Abstimmung über bestehende Abteilungsgrenzen hinweg. Der Bedarfsplaner hat oft keinen Einblick auf die in der Produktion noch zur Verfügung stehenden Kapazitäten und weiß nicht, ob seine angegebenen Bedarfe in den jeweiligen Monaten realistisch produzierbar sind. Diese Konflikte treten erst beim Masterplaner auf. Zur Klärung bedarf es mehrerer aufwändiger und damit kostenintensiver Rückkopplungsschleifen. Außerdem erfolgt eine Zusammenkunft der Verantwortlichen oft nur einmal im Monat oder Quartal [20].

Mangelnde Aktualität. Im Rahmen der Erstellung von Absatz-, Produktionsgrob- und Bestandsplänen spielen verschiedenste heterogene Kosten- und Zeitfaktoren eine Rolle, wie bspw. saisonale Abhängigkeiten, Lagerkosten oder Preisannahmen für verschiedene Rohstoffe, die für die Produktion benötigt werden. Für die Erreichung der Unternehmensziele, wie z.B. die Reduzierung von Fertigungskosten oder die Erzeugung von Produkten in einer hohen Qualität, ist eine genaue Kenntnis und optimale Abstimmung aller einfließenden Faktoren nötig. Oft sind aber alle dafür notwendigen Informationen nicht im Masterplanungsmodell, sondern nur im Modell der opera-

tiven Planung vorhanden, bzw. fließen in das Masterplanungsmodell nur verzögert ein [22]. Außerdem sind die Abstände zwischen den einzelnen Planungszyklen von einem Monat und mehr im Hinblick auf die bestehende Dynamik im Prozess (geänderte Aufträge, Preise, Kosten etc.) zu lang. Auch die bisher eingesetzten Systeme können diesen Mangel an Aktualität und Transparenz nicht beheben [18].

Mangelnde Simulationsfähigkeit. Um eine Abstimmung verschiedener Einflussfaktoren auch abteilungsübergreifend zu erreichen, ohne in die planerische Hoheit der anderen Abteilungen einzugreifen, ist es notwendig, verschiedene Möglichkeiten von Ressourcenbelegungen miteinander zu vergleichen. Wie bspw. durch Gierth und Schmidt [23] beschrieben, ist der Einsatz von Simulationsanwendungen bisher sehr zeitintensiv. Simulative Änderungen in den Plänen sind umständlich, weil zuerst eine Plankopie erstellt werden muss. Ändert der Masterplaner im Rahmen der Produktionsplanung einen der Bedarfswerte, muss dieser zunächst in das ERP-System zurückgeschrieben werden. Danach erfolgt ein neuer *Material Requirements Planning* (MRP)-Lauf zur Ermittlung der neuen Produktionspläne. Dieser erstreckt sich über Stunden und ist damit nicht für eine interaktive Bearbeitung geeignet. War die Änderung nur simulativ, muss anschließend noch die Simulationsversion mit der zwischenzeitlich bereits veränderten Realversion abgeglichen werden.

Mangelnde Genauigkeit. Die Planung von Aufträgen in der Masterplanung erfolgt z.Zt. wochen-, monats- oder quartalsweise. Da die operativen, detaillierten Daten für den SOP-Prozess nicht verwendet werden, sind die Ergebnisse des Prozesses oft ungenau. Bei der Transformation in die operative Planung können Brüche auftreten. Aufgrund der bspw. fehlenden Berücksichtigung von Rüstzeiten kann ein Masterplan eventuell nicht umgesetzt werden, wenn im späteren Verlauf bei einer Produktion mehrere Produkte auf den gleichen Anlagen zu einer höheren Kapazitätsauslastung der Ressourcen führen. Dies schlägt sich auf die Zuverlässigkeit der vereinbarten Liefertermine und damit auf die Servicequalität gegenüber dem Kunden nieder [18].

3.3 Erzielte Verbesserungen im SOP-Prozess

Der bestehende planerische Prozess wurde daraufhin untersucht, welche Prozessveränderungen zu Verbesserungen quantitativer und qualitativer Aspekte führen. Aus den Erkenntnissen der Literaturrecherche in Kapitel 3.1 über die Tätigkeiten in der Bedarfs- und Produktionsgrobplanung wurde die Prozessdarstellung in Abb. 3 entwickelt. Die Prozessteile, die durch eine RT-Architektur verbessert werden können, sind mit grau gestrichelten Rechtecken hinterlegt und nachfolgend beschrieben. Aus der Kenntnis dieser Defizite wurden verschiedene Demonstratoren auf Grundlage eines RT-SCP-Systems nach der Architekturvariante (b) (s. Abb. 2) umgesetzt. Sie basieren auf einem gemeinsamen Modell in der Struktur des operativen Modells, einer speziellen Variante der Datenhaltung und neuartigen User Interfaces. Ihnen liegen reale, anonymisierte, aus *SAP ERP* abgeleitete Produktionsmodelle aus verschiedenen Branchen zugrunde, die jeweils mit einem Umfang von weniger als 8 GB im Arbeitsspeicher handelsüblicher PCs verarbeitet wurden. Demonstrator I) nutzt Modelle aus der Konsumgüter-Industrie, II) aus der Pharmazeutischen Industrie und III) aus der Automobilzulieferindustrie sowie der Chemischen Industrie.

I) Demonstrator zur Aktualität. Die Nutzung der Struktur des operativen Modells anstelle von vorberechneten Zeitreihen (Masterplanungsmodell periodisch aktualisiert) hat den Vorteil, dass im operativen Modell jederzeit alle Änderungen einfließen. Das letzte Änderungsdatum der Planobjekte kann als ein Maß für die Aktualität der im Modell enthaltenen Informationen dienen. Es wurde in verschiedenen praktischen, anonymen ERP-Modellen beobachtet, dass die Aktualität im operativen Modell deutlich höher ist als im Masterplanungsmodell. Durch das zugrunde gelegte operative Datenmodell können den Beteiligten im SOP-Prozess damit aktuellere und detailliertere Daten zur Verfügung gestellt werden. Für die gewählten Teilprozesse werden aktuellere Verkaufszahlen bereits im Rahmen der Bedarfsprognosen sichtbar und die Prognosen können schon im gleichen Schritt konsolidiert werden (s. Abb. 3, A und Tab. 1).

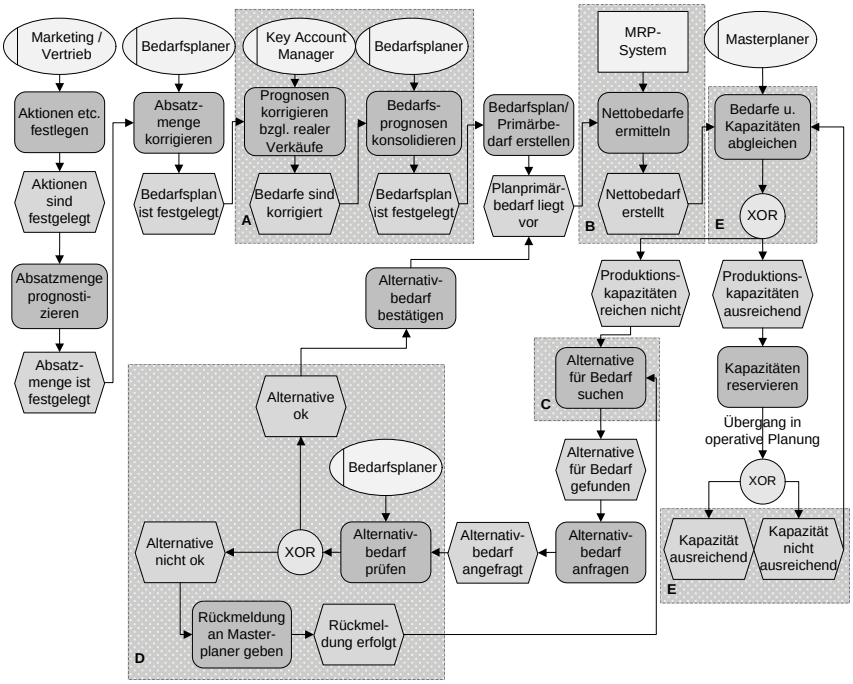

Abb. 3. Delta Ist-Soll-Prozess SOP, Teil Bedarfs- und Produktionsgrobplanung

II) Demonstrator zur Prozessorientierung und Simulation. Jeder Prozessbeteiligte darf basierend auf der Lösung simulativ während der Planung Daten aus anderen Verantwortungsbereichen ändern. Dies kann er schrittweise oder durch Aufspannen von Lösungsräumen tun. So kann er neben der Simulation seiner eigenen Entscheidung durch den Einblick in die anderen Prozessbereiche auch zielgerichteter zu einer Kompromissfindung beitragen (s. Abb. 3, C). Bei nicht ausreichenden Produktionskapazitäten kann sich der Masterplaner bereits gezielt an den Bedarfsplaner wenden, um

z.B. optimistisch erscheinende Prognosen zu hinterfragen oder Bedarfe im Hinblick auf Kapazitätsengpässe zu verschieben. Durch die in der Masterplanungssicht integrierte Perspektive des Bedarfsplaners können die Prozessschritte der aufwändigen Rückspracheschleifen zwischen Bedarfs- und Masterplaner entfallen (s. Abb. 3, D) und damit Zeit und Prozesskosten eingespart werden.

Der Masterplaner kann im Rahmen der Simulation zwischen Szenarien umschalten, diese Szenarien speichern und verschiedene Standpunkte einnehmen. Die Datenhoheit bleibt aber beim Prozess-Eigner. Der SOP-Prozess wird sowohl interaktiver als auch bereichsübergreifender gestaltet und parallele Simulationen werden ermöglicht.

Die RT-Architektur ist an dieser Stelle auch die Voraussetzung für den vorteilhaften Einsatz von Simulationen, weil so die neuen – durch geänderte Bedarfe notwendigen – Produktionspläne sofort berechnet und verfügbar gemacht werden. Während ein MRP-Lauf in der Regel bis zu mehreren Stunden dauerte, sind die Pläne nun innerhalb weniger Minuten zur weiteren Analyse vorhanden (s. Abb. 3, B und Tab.1). Wie dies nicht nur prozess- sondern auch systemseitig umgesetzt und wie die Resultate geeignet präsentiert werden können, wird in Kapitel 4 dargestellt.

III) Demonstrator zur Genauigkeit. Durch Verwendung eines Modells in ähnlicher Strukturierung wie das operative Modell wird eine genauere Planung möglich. Beim Abgleich von Bedarf und vorhandener Kapazität können sowohl *falsch positive* als auch *falsch negative* Aussagen im SOP vermieden werden. Falsch positive Aussagen bewirken Rückkopplungsschleifen im Prozess (s. Abb. 3, E) und resultieren z.B. aus der mangelnden Berücksichtigung von Engpassressourcen, auf die von verschiedenen Produktgruppen konkurrierend zugegriffen wird. Basierend auf einem Produktionsmodell eines Automobilzulieferers konnte dies in einer Fallstudie für die gleichzeitig geplante Produktion von Primärkomponenten und Ersatzteilen nachgewiesen werden. Während jede Produktgruppe für sich richtig im Grobplanungsmodell abgebildet wurde, war die eintretende deutlich geringere mögliche Monatsstückzahl bei gleichzeitiger Produktion der unterschiedlichen Materialgruppen wegen der Limitierung durch die gemeinsam genutzten Ressourcen nicht berücksichtigt worden
Während dieses Szenario offensichtlich ist, tritt aber in der Praxis auch der umgekehrte Fall ein. So kann eine Kapazitätsprüfung durch den Masterplaner negativ ausfallen, obwohl durch die Verschachtelung der Aufträge für zwei unterschiedliche Materialien in einem genaueren Modell eine höhere Produktionsmenge erreicht werden kann. In einer weiteren Fallstudie basierend auf einem Modell aus der Chemischen Industrie konnte gezeigt werden, dass die im Prozess E in Abb. 3 auftretende unzureichende Kapazitätsnutzung vermieden werden kann. Bei der Transformation vom operativen zum SOP-Modell werden Monatsmengen ermittelt.

Sollen in einem Monat zu gleichen Teilen Produkt A und B hergestellt werden, so liefert das Grobplanungsmodell 31.500 Liter als produzierbare Menge. Es ergeben sich aber positive Effekte beim Verschachteln von Prozessaufträgen, die in der Mengenbilanz einen Unterschied von bis zu 15% bewirken, wenn die Menge basierend auf einem operativen Modell ermittelt wurde (s. Abb. 4 und Tab. 1). So wurde im Ergebnis eine höhere Genauigkeit und eine höhere geplante Produktionsmenge erreicht.

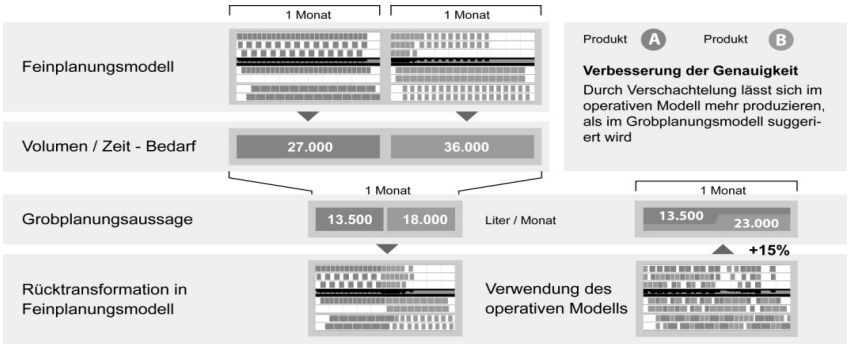

Abb. 4. Mehrwerte des operativen Modells am Beispiel chemischer Prozesse

4 Überwindung der Defizite auf der Systemebene

4.1 Einordnung

Die zuvor genannten prozessualen Aspekte Aktualität und Genauigkeit können vor allem durch das konzeptuelle Merkmal der Gründung auf ein gemeinsames, detaillierteres Modell (s. Tab 1.) befördert werden. Die prozessualen Aspekte Prozessorientierung und multidimensionale Lösungsräume hingegen lassen sich durch systemseitige Merkmale Datenhaltung im Arbeitsspeicher, Simulation und parallele Berechnungen unterstützen. Die daraus abgeleiteten Konzepte der Simulation und des Variantenvergleichs sind zusätzlich im Hinblick auf Nutzerinteraktionen im Umgang mit den verschiedenen Simulationsvarianten zu untersuchen. Daher werden in diesem Kapitel die Erkenntnisse der untersuchten Demonstratoren auf der Systemebene vorgestellt, welche die in Kapitel 2 aufgeführten systemseitigen Defizite mildern und die in Kapitel 3 vorgestellten Prozesse und prozessualen Aspekte befördern.

4.2 Bessere Prozessorientierung und Simulation durch geeignete Datenhaltung

In bisherigen IM-Systemen basierend auf spaltenorientierten RAM-Datenbanken können konsistenzgesicherte schreibende Prozesse ein limitierender Faktor sein. Die Spaltenorientierung führt zu weitreichenden Sperren, weshalb Tinnefeld et al. [12] die Verwendung von *Engines* neben den RAM-Datenbanken vorschlagen. Ein alternatives Konzept ist der *Shared Memory*. Es vereint IM-Datenhaltung mit effizienten Zugriffskonzepten mehrerer simultaner Prozesse und eignet sich zur Ausnutzung aktueller Mehrkernarchitekturen. Dem Interprozesskommunikations-Mechanismus liegt eine gemeinsame Datenbasis zugrunde, auf die alle Prozesse wahlfreien Zugriff besitzen und diesen wie lokaler Speicher erscheinen. Dadurch wird eine größtmögliche Performance des Zugriffs auf die Daten erreicht. Es bedarf weiterführender Ansätze zur Konsistenzsicherung, da der gleichzeitig schreibende Zugriff mehrerer Prozesse auf ein und dieselbe Speicherstelle zu inkonsistenten Datenständen führt. Konsistenzsicherende Sperrkonzepte [24] dagegen limitieren die parallele Abarbeitung und füh-

ren in RT-Systemen zu Performanceeinbußen. Mehrkernsysteme verstärken das Problem durch die nichtdeterministische Reihenfolge der parallelen Ausführung der Prozesse, wodurch unvorhergesehene Deadlocks durch parallele Speicherzugriffe entstehen können [25].

Sperr- und wartefreie Zugriffskonzepte [24] prüfen dagegen vor dem Schreiben eines Datums, ob sich in der Zeit zwischen dem initialen Lesen und dem geplanten Rückschreiben der Wert an der Speicheradresse verändert hat. Im SOP-Prozess können somit zeitgleich mehrere Planvarianten (s. Abb. 3, B) verwaltet werden, ohne Kopien gemeinsam genutzter Daten anzulegen. Weiterhin werden parallele Berechnungen ermöglicht, und das System kann durch die Hinzunahme weiterer Ressourcen die Berechnungen schneller ausführen [26]. Die Prozessorientierung wird ebenso verbessert wie der simultane Vergleich prognostizierter Preisentwicklungen. Es werden die in Kapitel 2 definierten Eigenschaften RAM-Basierung, parallele Berechnungen und Skalierbarkeit befördert.

Aktualitätsdefizite bestehender IM-Konzepte, die bisher eher ein Report-artiges Arbeiten unterstützen, werden durch aktive Konzepte der Änderungsverwaltung, wie z.B. *Materialization* und *Caching*, überwunden. Damit wird die in Kapitel 2 definierte Eigenschaft der Aktualität erfüllt. Die berechneten Daten werden in einem Netzwerk zwischengespeichert und bei Änderungen selektiv invalidiert und ggf. neuberechnet. Einem Nutzer kann die veränderte Datensituation sofort angezeigt werden, wodurch im Gegensatz zu herkömmlichen Reports sichergestellt ist, dass jederzeit aktuelle und gültige Daten die Entscheidungsgrundlage bilden. Die nutzerbezogenen Aktualisierungen erfolgen dabei im Hintergrund zu Zeiten geringer Systemlast. Dies führt insbesondere zu Verbesserungen in den Prozessen A und B (s. Abb. 3), bei denen jede auftretende Änderung am Plan sofort als potenziell ungültiger Plan bzw. ungültige Simulationsvariante sichtbar wird und anschließend durch den Nutzer oder automatisch zu einer Aktualisierung des Plans genutzt werden kann.

4.3 Bessere Prozessorientierung und Simulation durch neue User Interfaces

Die Simulation im gegenwärtigen SOP-Prozess weist insbesondere bei der zielgerichteten Generierung und der anschließenden vergleichenden Gegenüberstellung von Planvarianten erhebliche Defizite auf (s. Abb. 3). Solche Planvarianten können z.B. durch das Zuordnen unterschiedlicher Standorte, durch verschiedene Preisannahmen, vermutete Wechselkursentwicklungen für die Zukunft oder eine andere Variation von Parametern entstehen. Der sequenzielle Vergleich von Planungsergebnissen in tabellarischer Form ist keine hinreichende Methode für deren übersichtliche Bewertung. Während man durch eine daraus generierte, diagrammartige Darstellung bereits eine erhöhte Vergleichbarkeit erreichen kann, erhält man jedoch keine Unterstützung bezüglich der weiterführenden, iterativen Generierung verbesserter Pläne mit ähnlichen Parametern.

Um auch diesen Aspekt in den propagierten Soll-Prozess einzubeziehen, erscheint ein iterativer Nutzerdialog zielführend. Dieser beginnt mit der Auswahl und Anpassung eines Parametersets für einen initialen SOP-Planungslauf. Das Parameterset der Planungsfunktion umfasst hier variable Annahmen über Preisentwicklungen für einen

ausgewählten Zeitraum. Auf Basis dieses Parametersets können mehrere Planvarianten parallel generiert werden. Der Anwender möchte die generierten Ergebnisse hinsichtlich zahlreicher Kriterien wie etwa der erzielbaren Marge oder abzuschließender Währungssicherungsgeschäfte simultan vergleichen und bewerten.

Ein zielführender Ansatz scheint hier der Vergleich zusammenfassender, unternehmensweit einheitlicher *Key Performance Indikatoren* (KPI) zu sein (s. Tab. 1, b.). Diese KPI geben eine aufsummierte Auskunft über die Zielerreichung einer jeden Planungsalternative bezüglich der SCM-Zielklassen *Bedarfsbefriedigung*, *Flexibilität*, *Qualität*, *Rentabilität* und *Zeitziele*. Um die Vielzahl der nunmehr aggregierten Planungsvarianten in einer zusammenfassenden Übersichtsgrafik darzustellen, wird sich der Metapher des Datengebirges bedient. Auf der Grundfläche dieses Gebirges, das durch zwei Kriterien-Achsen aufgespannt wird, werden nun die aggregierten Planvarianten platziert. Somit ist eine erste Aussage zur Ähnlichkeit der so angeordneten Varianten anhand ihrer Nähe zueinander leicht gegeben. Auf dieser Grundebene werden in der dritten Dimension die KPI der jeweiligen Pläne als Stützstellen aufgetragen und mit Hilfe von *Radial Basis Functions* zu einem zusammenhängenden Datengebirge verbunden.

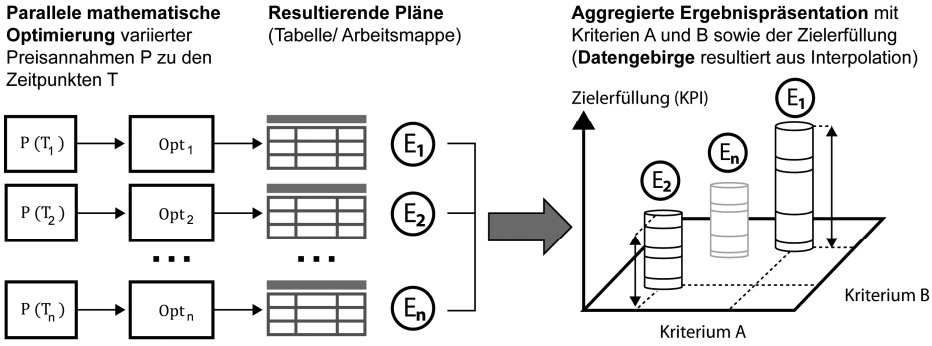

Abb. 4. Schema der Generierung einer vergleichenden Ergebnisvisualisierung

In Abb. 5 ist das Prinzip des neuen User Interfaces zusammenfassend dargestellt. In einem ersten Schritt werden die Parametersets in einer algorithmischen Ermittlung der Planvarianten genutzt. Die resultierenden Planvarianten werden von der tabellarischen Darstellung des IST-Prozesses in aggregierte KPI überführt und nach einer Ähnlichkeitsfunktion nachbarschaftserhaltend in eine zweidimensionale Ebene gefaltet. Durch die Abtragung der KPI in der Höhe entsteht das beschriebene Datengebirge. Der Vorteil dieser Visualisierung ist die direkte Vergleichbarkeit der vorgeschlagenen Planungslösungen in aggregierter Form. Hohe Stellen können durch Drill-Down auf die zugrundeliegenden Pläne z.B. im Gantt Chart näher untersucht werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag analysierte sowohl die Defizite klassischer SCM-Systeme, als auch jene bereits realisierter RT-SCM-Systeme. Die hieraus abgeleiteten Eigenschaften

künftiger RT-SCP-Systeme wurden bezüglich der Ebenen *Konzeption*, *Prozess* sowie *System* klassifiziert. Anhand verschiedener Demonstratoren zum SOP-Prozess wurde aufgezeigt, dass die Defizite mithilfe der vorgestellten Daten-, Prozess- und User Interface-Methoden konsistent und stringent überwunden und so die Ziele des SCM befördert werden können. Weiterhin wurde gezeigt, dass durch den Einsatz von RT-SCP-Systemen die Aktualität, Simulationsfähigkeit und die Genauigkeit der SOP-Planung sowie die Prozessorientierung verbessert werden können. Als Voraussetzungen dieser Potentiale wurden die Nutzung eines gemeinsamen, detaillierten und aktuellen Datenmodells im RAM, die effiziente Speicherorganisation sowie bedarfsgerechte User Interfaces manifestiert. Da die Erkenntnisse auf Grundlage praxisnaher Forschungs- und Entwicklungsvorhaben generiert wurden, folgte dieser Beitrag einer induktiven Argumentationsstruktur im Sinne des Design Thinking, die sowohl Nützlichkeit als auch Machbarkeit der Teilaspekte anhand von Demonstratoren veranschaulicht.

Ein künftiger Forschungsaspekt widmet sich der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Domänen über die SOP-Planung hinaus. Sowohl im Bereich des SCM, als auch in weiteren Planungsbereichen (z.B. Healthcare) zeichnen sich potenzielle Mehrwerte ab. Weiter wird untersucht, inwieweit sich Konsistenzbedingungen bei der Datenorganisation abschwächen lassen, um bei stets nachvollziehbarer Gültigkeit eine höhere Performanz im Agieren auf dem Datenmodell zu erzielen. In diesem Kontext sollen auch die in Kapitel 4.2 betrachteten Performance-Vergleiche ausgedehnt werden. Während im Fall der betrachteten Demonstratoren als Add-On zu bestehenden ERP-Systemen die Wirtschaftlichkeit gut ermittelt werden kann und positiv ausfällt, ist eine künftige TCO-Berechnung für die Architekturvarianten (c) und (d) komplexer.

Auf der Prozessebene liegt der künftige Fokus auf der Entwicklung eines Modells zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Echtzeitunterstützung in Prozessen sowie der Analyse von zu erfüllenden Eigenschaften um Echtzeit-Potenziale zu nutzen.

Literatur

1. Zelewski, S., Hohmann, S., Hügens, T.: Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme. Konzepte und exemplarische Implementierungen mithilfe von SAP R/3. Oldenbourg, München (2008)
2. Schmalzried, D.: RealTime und Anytime Supply Chain Planning. In: Alt, R., Eisenecker, U., Franczyk, B. (eds.): 15. Interuniversitäres Doktorandenseminar Wirtschaftsinformatik der Universitäten Chemnitz, Dresden, Freiberg, Halle-Wittenberg, Jena und Leipzig, pp. 22–33. Leipzig (2011)
3. Corsten, H., Gössinger, R.: Einführung in das Supply Chain Management. Oldenbourg, München (2008)
4. Plattner, H., Zeier, A.: In-Memory Data Management. An inflection point for enterprise applications. Springer, Heidelberg (2011)
5. Schmalzried, D.: Das Integrationskonzept. E-3 Magazin 05, pp. 61–62 (2011)
6. Loos, P., Strohmeier, S., Piller, G., Schütte, R.: Kommentare zu "In-Memory-Datenmanagement in betrieblichen Anwendungssystemen". Wirtschaftsinformatik (WI) 54, pp. 209–213 (2012)

7. SAP AG: SAP LiveCache-Technologie, http://help.sap.com/saphelp_nw70/helpdata/de/42/db70ae3f382cede10000000a1553f7/content.htm
8. Ott, J., Stirnimann, R.: In-Memory-Datenbanken im Vergleich. Computerwoche, pp. 24–27 (2012)
9. SAP AG: SAP HANA Database for Next-Generation Business Applications and Real-Time Analytics. https://www.experiencesaphana.com/docs/DOC-1381
10. Loos, P., Lechtenbörger, J., et al.: In-Memory-Datenmanagement in betrieblichen Anwendungssystemen. Wirtschaftsinformatik (WI) 53, pp. 383–390 (2011)
11. Piller, G., Hagedorn, J.: Business benefits and application capabilities enabled by in-memory data management. In: Innovative Unternehmensanwendungen mit In-Memory Data Management, IMDM 2011, 2. Dezember 2011, Mainz, pp. 45–56. GI (2011)
12. Tinnefeld, C., Krueger, J., Schaffner, J., Bog, A.: A Database Engine for Flexible Real-Time Available-to-Promise. In: IEEE Symposium on Advanced Management of Information for Globalized Enterprises (AMIGE), pp. 1–5. IEEE (2008)
13. Österle, H., Blessing, D.: Ansätze des Business Engineering. In: Strahringer, S. (ed.) Business Engineering. dpunkt, Heidelberg (2005)
14. Schuh, G. (ed.): Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. Springer, Berlin (2006)
15. Grauer, M., Karadgi, S., Metz, D., Schäfer, W.: Real-Time Enterprise. Schnelles Handeln für produzierende Unternehmen. In: Wirtschaftsinformatik & Management, 2, pp. 40–45. Gabler, Wiesbaden (2009)
16. Alt, R., Österle, H.: Real-time Business. Lösungen, Bausteine und Potenziale des Business Networking. Springer, Berlin/Heidelberg (2004)
17. Kistner, K.-P., Steven, M.: Produktionsplanung. Physica, Heidelberg (2001)
18. Kurbel, K.: Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management. Oldenbourg (2005)
19. Fleischmann, B., Meyr, H., Wagner, M.: Advanced Planning. In: Stadtler, H., Kilger, C. (eds.): Supply Chain Management and Advanced Planning, pp. 81–106. Springer, Berlin/Heidelberg (2008)
20. Lapide, L.: Sales and Operations Planning. Part I: The Process. In: The Journal of business forecasting, pp. 17–19. Graceway, Flushing, N.Y (2004)
21. Mertens, P.: Integrierte Informationsverarbeitung 1. Operative Systeme in der Industrie. Gabler, Wiesbaden (2009)
22. März, L., Krug, W., Rose, O., Weigert, G.: Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik. Springer, Berlin/Heidelberg (2011)
23. Gierth, A., Schmidt, C.: Zeitdynamische Simulation in der Produktion. In: Schuh, G. (ed.) Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte, pp. 646–681. Springer, Berlin (2006)
24. Benra, J., Keller, H.B., Schiedermeier, G., Tempelmeier, T.: Synchronisation und Konsistenz in Echtzeitsystemen. In: Software-Entwicklung für Echtzeitsysteme, pp. 49–65. Springer, Berlin/Heidelberg (2009)
25. Herlihy, M., Shavit, N.: The art of multiprocessor programming. Elsevier/Morgan Kaufmann, London (2008)
26. Franke, R.: Zugriffskonzepte für Gemeinsamen Speicher in Mehrkern-architekturen. Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (2011), http://wcms.uzi.uni-halle.de/download.php?down=26916&elem=2623902