

# Anforderungen an das In-Memory-Data-Management als Schritt zum Echtzeitunternehmen

<sup>1</sup>Dirk Schmalzried, <sup>2</sup>Rainer Alt

<sup>1</sup>OR Soft Jänicke GmbH  
Martin-Luther-Ring 13  
D-04109 Leipzig  
dirk.schmalzried@orsoft.de

<sup>2</sup>Universität Leipzig  
Institut für Wirtschaftsinformatik  
Grimmaische Straße 12  
D-04109 Leipzig  
rainer.alt@uni-leipzig.de

**Abstract:** Der Beitrag betrachtet den Einsatz Hauptspeicherbasierter Datenbanken als wichtigen Schritt zur Realisierung von Echtzeitunternehmen. Derartige Unternehmen sind charakterisiert durch die konsequente Nutzung echtzeitfähiger Technologien und deren Umsetzung in Prozessen und Strategien. Unter Verwendung des Bezugsrahmens des Business Engineerings bezieht der Beitrag zwar technologische Anforderungen auf einer Daten-, Funktions- und Präsentationsschicht mit ein, geht durch die Berücksichtigung von Anforderungen auf Ebene der Unternehmensstrategie und der Geschäftsprozesse aber darüber hinaus. Er argumentiert, dass dieser ganzheitliche Betrachtungs- und Gestaltungsansatz zur Realisierung eines nachhaltigen geschäftlichen Nutzens aus den technologischen Potenzialen notwendig ist.

## 1 Relevanz von Echtzeit in Unternehmen

Die Versorgung der betrieblichen Aufgabenträger mit möglichst aktuellen Informationen aus dem gesamten Unternehmen ist eines der Kernprinzipien integrierter Informationssysteme (IS) und spiegelt sich u.a. im Produktnamen von SAP R/3 wider. Das für Echtzeit bzw. Real-Time stehende „R“ bezeichnet die Verfügbarkeit einer zentralen Datenbasis, welche eine aus funktional abgestimmten Bausteinen konzipierte Applikation nutzt. Obgleich mit diesem Konzept – insbesondere in Verbindung mit reorganisierten Abläufen – deutliche Nutzeffekte realisierbar waren, so zeigen dessen Grenzen weitere Potenziale auf.

Bezüglich der *Rentabilität* unterlagen viele betriebliche Prozesse in den letzten Jahren einer beschleunigten Änderung ihrer Randbedingungen und Ziele. Im Bereich des Supply Chain Management (SCM) verändern sich produktionslogistische Rahmenbedingungen schneller und ausgeprägter als noch vor etwa sechs bis zehn Jahren. Dies illustrieren stärker schwankende Rohstoffpreise und Wechselkurse, reduzierte Transportzeiten, enger abgestimmte Nachschubstrategien und verkürzte Produktlebenszyklen. Beim Silberpreis z.B. war das Potenzial aus einer real-time-Preisaktualisierung gegenüber einer monatlichen inkrementellen Planung im Jahr 2012 etwa viermal so groß wie im Jahr

2004 (vgl. [Sch13]). Unternehmen, die Veränderungen zeitnah in ihren Beschaffungs-, Produktions- und/oder Distributionsplanungen berücksichtigen und damit auf die zunehmende Frequenz sowie Amplitude der Veränderungen reagieren wollen, benötigen dazu jedoch IS mit höherer Echtzeitfähigkeit als es bestehende integrierte Systeme des Enterprise Resource Planning (ERP) mit ihren zeitintensiven Planungsläufen leisten können.

Positive Auswirkungen auf den *Geschäftsnutzen* kann eine höhere Echtzeitfähigkeit wegen der höheren Aktualität der Informationen und des größeren Umfangs der gleichzeitig berücksichtigten Abhängigkeiten haben. Zudem sind viele Prozesse in den bestehenden IS noch als Stapelprozesse organisiert und besitzen weiteres Verbesserungspotenzial. Auf die Frage in [oVR12]: „*Welche der folgenden durch SAP ERP unterstützten Geschäftsprozesse in Ihrem Unternehmen halten Sie für verbesserungswürdig?*“ gaben 33% der etwa 200 Befragten die strategische und taktische Planung und 29% die operative Planung als verbesserungswürdig an. Mehrfachnennungen waren möglich. Dies ist trotz der vergleichsweise geringen Quoten bemerkenswert, da es sich ausschließlich um Antworten produktiver Nutzer von SAP-ERP-Systemen handelte.

Aus Sicht der technischen *Machbarkeit* sind Geschäftsprozesse mit einer höheren Echtzeitfähigkeit heute mit geringeren Investitionen realisierbar. Während zur Entwurfszeit heutiger betrieblicher Anwendungssysteme im Jahr 1995 1 MB Hauptspeicher noch 30 USD kosteten, sind es im Jahr 2013 nur noch 0,004 USD. Die etwa 7.500fache Datenmenge kann damit heute zu gleichen Preisen wie zur Entwurfszeit der Systeme im Hauptspeicher der Systeme ausgewertet werden. Gleichzeitig steht die etwa 300-fache Rechenleistung bei vergleichbaren Preisen zur Verfügung. Diese gewachsenen Ressourcen können in künftigen betrieblichen Anwendungssystemen auf Basis von hauptspeicherbasierten Datenbanksystemen (In-Memory Data Management, IMDM) dazu genutzt werden, Nutzer bei ihren komplexer werdenden Entscheidungen zu unterstützen.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die für Unternehmen relevanten Anforderungen zur Herstellung einer höheren Echtzeitfähigkeit mittels hauptspeicherbasierten integrierten Anwendungssystemen. Anhand der untersuchten Dimensionen sowie eines Fallbeispiels zeigt sich, dass für den betrieblichen Einsatz noch wichtige Voraussetzungen auf strategischer Ebene sowie aus Sicht der Ablauforganisation zu erfüllen sind.

## **2 Einordnung des IMDM im Echtzeitunternehmen**

### **2.1 Echtzeitunternehmen und In-Memory Datenmanagement**

Das Echtzeitunternehmen (Real-Time Enterprise, RTE) beschreiben [SAB03] als „*eine Unternehmensstruktur, die durch kontinuierliche Beschleunigung der Managementprozesse die eigene Aktions- und Reaktionsgeschwindigkeit nachhaltig verbessert und verzögerungsfrei auf externe sowie interne Änderungen reagieren und damit Zeit und Kosten einsparen kann.*“ Ein RTE besitzt echtzeitfähige Strategien, Prozesse und IS. [GKMS10] weisen diesbezüglich auf die noch bestehende Integrationslücke hin: „*Die Herausforderung produzierender Unternehmen bei der Etablierung eines RTE besteht*

demnach im Wesentlichen in der Schließung der temporalen sowie der semantischen Integrationslücke zwischen den Unternehmensebenen.“. Echtzeitsysteme erfassen Daten unmittelbar am Entstehungsort der Daten, präsentieren diese anwendergerecht am Verwendungsort der Daten und stellen eine Integration über intermediäre Systeme her. Dies führt zu [Alt08, S. 62-63]:

- Kürzere Reaktionszeiten aufgrund erhöhter Informationsqualität (Prüfung, Simulation und Optimierung von Entscheidungen in Echtzeit),
- Erhöhter Transparenz bzgl. der Information (erhöhte Verfügbarkeit aktueller Informationen aus sämtlichen physischen und virtuellen Prozessen),
- Umfassender Integration zwischen IS (Beschleunigung durch Vermeidung von Informationsstapeln, semantische Kompatibilität von Miniwelten).

Der *Real-Time-Begriff* findet sich in unterschiedlichen Facetten in der Literatur wieder. Während die Informatik mit Real-Time das Einhalten einer zugesicherten Antwortzeit bezeichnet, gewährt der betriebswirtschaftliche Nutzungskontext in der Wirtschaftsinformatik erhöhte Freiheitsgrade bezüglich der Antwortzeit. Grundsätzlich unterscheidet Letztere dialogorientiertes, interaktives Arbeiten mit unmittelbaren Antworten des Systems von einer Stapelverarbeitung (Batch) (vgl. [Alt08]). Die Annäherung beider Begriffswelten ist in vielen betrieblichen Prozessen möglich, wenn nach dem Verstreichen einer maximalen Prozesszeit im Anwendungssystem auf einen Standardwert der Antwort zurückgegriffen und eine maximale Antwortzeit zugesichert werden kann.

Das *In-Memory Datenmanagement* (IMDM) bezeichnet Datenbank- und Datenverarbeitungssysteme, die vollständig Hauptspeicher-basiert sind. Auch wenn zur permanenten Sicherung der Daten im Hintergrund sogenannte Storage- oder Persistenz-Layer mit Hilfe von Festplatten zum Einsatz kommen können, so finden die eigentlichen Operationen auf den Daten (update, insert, delete etc.) im Hauptspeicher statt. In jüngster Zeit hat sich durch die Preiserosion hauptspeicherbasierter Systeme das IMDM auch als Infrastrukturen für betriebliche Anwendungssysteme etabliert (z.B. HANA von SAP). Obgleich gegenüber klassischen relationalen Datenbanksystemen deutlich höhere Kosten anfallen, werden die Anwendungspotenziale von IMDM vor allem im Bereich der analytischen Anwendungssysteme gesehen (vgl. [PZ11]).

## 2.2 Echtzeitarchitekturen und Stand der Entwicklung

In-Memory-Komponenten kommen in Advanced Planning and Scheduling Systemen seit den 1980er Jahren erfolgreich zum Einsatz. Die Architekturen in Abbildung 1 stellen den Stand der Technik bezüglich betrieblicher IMDM-basierter Anwendungssysteme dar [SCFLAZG13]. Variante (a) wird z.B. von SAP APO repräsentiert, Variante (b) z.B. durch die ORSOFT Manufacturing Workbench, Variante (c) z.B. von SAP ERP auf HANA und Variante (d) z.B. durch SOP powered by HANA.

Die Literatur betrachtet IMDM primär aus Sicht der Datenverfügbarkeit und den Architekturveränderungen in Anwendungsbereichen des Business Intelligence (BI), z.B. die „Explorative Analyse“ [LetAl11]. Vor allem bei lesenden Datenverarbeitungsprozessen, wie sie bei BI-Anwendungen vorkommen, sind in hauptspeicherbasierten, spaltenorientierten Datenbanken Verbesserungen zum derzeitigen Stand der Technik unmittelbar

möglich. OLAP-Prozesse stehen im Mittelpunkt sowohl der Forschung als auch der bisher kommerziell vorgestellten und angekündigten betrieblichen Anwendungen [LetA11]. Weitere Themenfelder des RTE, insbesondere die Auswirkungen auf operative und dispositive betriebliche Prozesse, sind bislang vergleichsweise wenig thematisiert. Real-Time-Technologien im OLTP-Bereich werden z.B. in der Supply Chain Execution im Kontext der Datenerfassung durch Radio Frequency Identification (RFID) und der Steuerung betrachtet (vgl. [Str05]). Auch im Bereich der Supply Chain Coordination, d.h. dem Austausch von Informationen zwischen (mobilen) Akteuren in einer Supply Chain, werden Real-Time-Prozesse untersucht (z.B. in [STS09]). Sogenannte Solver, also Computerprogramme, die mathematische Probleme numerisch lösen, werden seit langem für Scheduling-Probleme als IM-basierte Systeme neben ERP- und SCM-Systemen betrieben. Sie nutzen Teilmodelle für die Lösung von Aufgaben der operativen Ressourcenplanung. Ebenso existieren Arbeiten zur Nutzung von IMDM für die in betriebliche Systeme integrierte Available-to-Promise (ATP)-Prüfung (z.B. [TKSB08], [PMW09]). Anwendung von IMDM-Systemen für weitere betriebliche Bereiche des RTE, wie die Supply Chain Planung mit ihrem höheren Anteil an schreibenden Datenverarbeitungsprozessen, werden bei [Sch2013] und [SCFLAZG13] beschrieben.

Für die ganzheitliche Nutzung von IMDM für RTE gibt es jedoch kaum wissenschaftliche Arbeiten. Insbesondere die Transformation bestehender Geschäftsprozesse in Real-Time-Prozesse auf Basis von IMDM-Systemen ist bisher kaum thematisiert. Eine Erklärung mag sein, dass sich die Anforderungen bezüglich des RTE erst in den letzten Jahren erhöht haben. Zudem waren bis vor wenigen Jahren die technischen Voraussetzungen für integrierte IMDM-Systeme für komplexe betriebliche Aufgaben nicht gegeben, so dass nur die zuvor genannten Teilbereiche isoliert betrachtet und in IMDM-Systeme verlagert wurden. Hier bleibt Forschungsbedarf, auch bezüglich der Auswirkungen von umfangreichen Schreiboperationen in IMDM-Systemen.

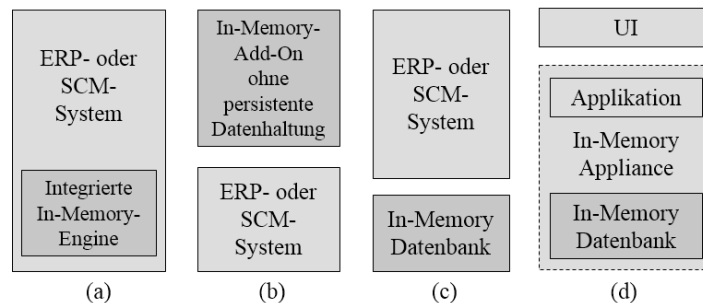


Abbildung 1: Verfügbare In-Memory-Architekturen (aus [SCFLAZG13])

### 2.3 IMDM im Echtzeitunternehmen nach dem Business Engineering Ansatz

Zum geschäftsorientierten Entwurf betrieblicher Anwendungssysteme schlägt das Business Engineering die drei Gestaltungsebenen Strategie, Prozesse und Systeme [ÖB05] vor. In Anlehnung daran sollen die Anforderungen für das Echtzeitunternehmen strukturiert werden, wobei Merkmale und Anforderungen der höheren Ebenen auf alle darunter liegenden Ebenen wirken (s. Abbildung 2). Die Systemebene selbst wird wieder-

rum in Präsentation, Funktion und Daten untergegliedert [ÖRV96, S.30]. Grundsätzlich ist das IMDM in der Datenschicht der Systemebene angesiedelt. Anforderungen aus Strategie- und Prozessebene wirken aber auch auf die Datenebene und umgekehrt. Eine ganzheitliche Betrachtung identifiziert Anforderungen und Herausforderungen, um daraus Lösungsmöglichkeiten abzuleiten. Dabei wird auch untersucht, wie IMDM auf die RTE-Aspekte Transparenz und Integration wirkt. So existieren auf der Systemebene Merkmale im Design von IMDM-Systemen, welche diesem Ziel bisher noch entgegenstehen. Auf der Prozessebene wird die Frage beantwortet, wie sich transformationsrelevante betriebliche Prozesse identifizieren lassen und der Nutzen einer Transformation zu einem Real-Time-Prozess auf Basis von IMDM-Systemen bewertet werden kann. Die strategische Ebene schließlich dient zur Herleitung und Begründung von konzeptuellen Anforderungen an IMDM-Systeme als Grundlage für das RTE.

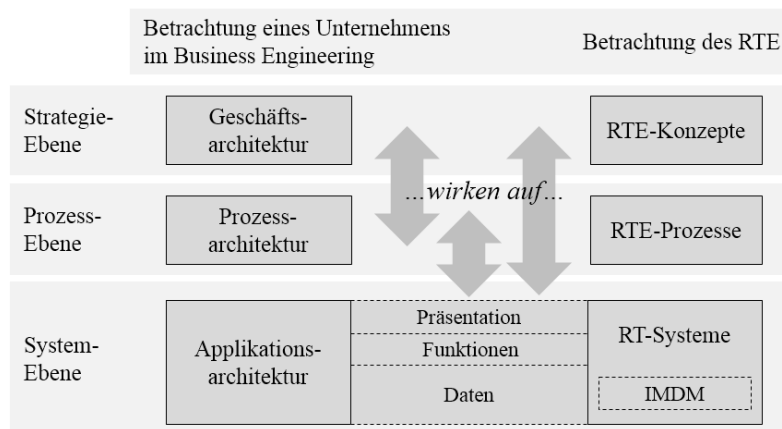


Abbildung 2: Zusammenhang RTE und IMDM im Business Engineering

### 3 Fachliche Anforderungen an das IMDM

#### 3.1 Strategie: Verbindung der Planungsebenen

Neben der grundsätzlich erforderlichen strategischen Entscheidung zur Einführung einer IMDM-Infrastruktur im Unternehmen sind weitere strategische Anforderungen anzuführen, welche den Nutzen einer IMDM-basierten Lösung bestimmen. Im Vordergrund stehen dabei die zur Führung des Unternehmens verwendeten Kennzahlen.

Häufig sind strategische Ziele in Unternehmen nicht durch über alle Unternehmensebenen einheitlich verwendete Kennzahlen definiert. Verschiedene Autoren wie [ZHH08] führen zudem als eines der wichtigsten Defizite des gegenwärtigen planerischen Konzepts bestehender betrieblicher Systeme die mangelnde Präsenz und Berücksichtigung der strategischen Ziele des Unternehmens in der operativen Planung an. So werden auf der strategischen Ebene andere Kriterien verwendet als auf der operativen Ebene. Will man beispielsweise das strategische Ziel der Kundenbindung in Form der Kundenzufrie-

denheit messen, so führt eine Metrik „Anzahl Wiederholkunden“ zu anderen operativen Maßnahmen als die Metrik „Anzahl Reklamationen“. Diese unterschiedlichen operativen Maßnahmen, die auf eine möglichst treue Erfüllung der Metrik zielen, können wiederum zu veränderten Kundensegmenten konträr zu den strategischen Zielen führen. Daher müssen „Operations“ und „Analytics“ bereits mit der strategischen Konzeption auf Basis unternehmens- und ebenenweit gleichen Kennzahlen verbunden werden.

Strategische und taktische Planungsmodelle sind in betrieblichen Anwendungssystemen häufig vereinfacht und vergrößert. Dies ist noch auf die Entwurfszeit der Systeme zurück zu führen, als Hauptspeicher und Speicher allgemein als knappe und teure Ressourcen galt. Dies ist die Hauptursache für die eingangs genannte temporäre und semantische Integrationslücke nach [GKMS10]. Um diese zu schließen, sollen künftig die Geschäftsprozesse unternehmensweit auf einem einheitlichen Datenmodell in der Genauigkeit des operativen Modells vorliegen. In diesem Modell sind alle nötigen Informationen wegen der häufigen Aktualisierungen in der höchsten Aktualität und wegen der feingranularen Abbildung in der höchsten Genauigkeit zu finden (siehe Abbildung 3; die Pfeile symbolisieren Änderungen über die Zeit in unterschiedlicher Frequenz je Ebene.). IMDM-Systeme müssen diese komplexen operativen Modelle speichern und genügend schnell verarbeiten. Insbesondere müssen die Informationen zur Laufzeit für eine Verwendung auf der strategischen und taktischen Ebene aggregiert werden, weil dort z.B. nur Monats- oder Quartalszahlen betrachtet werden. Aspektübergreifende Planungskonzepte, die Produktions-, Qualitätskontroll- und Instandhaltungsplanung bezüglich ihrer Modelle, Ziele und Prozesse verbinden, stellen ebenfalls hohe Anforderungen an das IMDM wegen ihrer Komplexität und der nötigen sofortigen Verrechnung zur Laufzeit anstelle von batchweisen Planungsläufen.

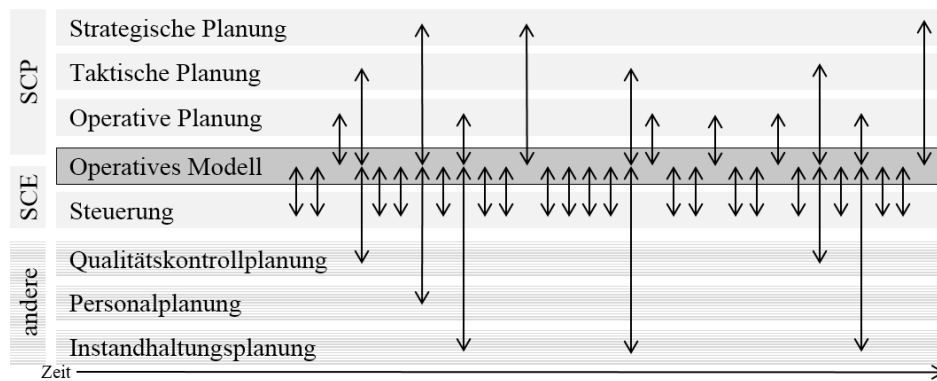


Abbildung 3: Verbindung der Planungsebenen im SCM mit höchster Aktualität und Genauigkeit im operativen Modell

### 3.2 Prozesse: Identifikation transformationswürdiger Abläufe

Die bestehende Architektur betrieblicher Anwendungssysteme trennt zwischen transaktionalen, operativen Prozessen einerseits und analytischen Prozessen andererseits. Zu erklären ist dies damit, dass zur Entwurfszeit heute im Einsatz befindlicher betrieblicher Anwendungssysteme die technischen Möglichkeiten einer online-Analyse noch nicht

gegeben waren. Damals galten sowohl Hauptspeicher als auch Rechenleistung als knappe und teure Ressourcen. Die Begriffe „operational analytics“ und „embedded analytics“ bezeichnen nun die integrative Betrachtung von operativer und analytischer Ebene, sind in bestehenden betrieblichen Anwendungssystemen bisher jedoch kaum umgesetzt. Darauf sind auch die betrieblichen Prozesse anzupassen, die in heutigen Anwendungssystemen oft isoliert von anderen Prozessen ablaufen. Zudem ist die Zeit zur Datengewinnung und -aufbereitung verhältnismäßig hoch im Vergleich mit der Zeit des zu beeinflussenden Prozesses. Notwendige Eingangsgrößen, wie Preise, Kurse oder Bedarfe liegen nicht aktuell vor. Viele Prozesse sind außerdem als Stapelverarbeitung (Batch) und nicht interaktiv organisiert. Eine kennzahlenbasierte Entscheidungsunterstützung ist nur selten in den Prozessen verankert.

Um diejenigen Geschäftsprozesse eines betrieblichen Anwendungssystems mit dem höchsten Nutzen von einer Real-Time-Transformation zu identifizieren, sind geeignete Kriterien nötig. In Erweiterung und Modifikation der 6 Kriterien von [PH11, S. 48] (hier Nr. 1 bis 6) lässt sich die Nützlichkeit der Transformation von Prozessen zu Real-Time-Prozessen anhand der folgenden zehn Indikatoren in Tabelle 1 bewerten:

Nr	Kriterium	im Anwendungsfall in Kapitel 5
1	Veränderungsfrequenz der Informationen	hoch
2	Veränderungsamplitude der Informationen	gering
3	Freiheitsgrade der Planung und viele Simulationsvarianten	gering
4	Dringlichkeit der Resultate	sehr hoch
5	Komplexität der Algorithmen und Planungsoperationen	hoch
6	Volumen aktiv zu verarbeitender Daten	mittel
7	Angestrebte Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse	sehr hoch
8	Entscheidungsrelevanz der Informationen für die nahe Zukunft	sehr hoch
9	Prozesszeitenquotient T	hoch
10	Relevanzquotient R	hoch

Tabelle 1: Kriterien zur Identifikation der Transformationsrelevanz und Maß ihrer Erfüllung im Anwendungsfall in Kapitel 5

Die Kriterien 7 und 8 wurden ergänzt, um die Ebenen Semantik und Pragmatik der durch die Punkte 1 bis 6 definierten Syntax- bzw. Datenebene zuzufügen und somit falsche positive Resultate auszuschließen. Umfängliche Logging-Prozesse oder betriebliche Video-Dateien stimmten sonst mit vielen der ersten sechs Kriterien überein, ohne dass sie tatsächlich von einer Real-Time-Transformation profitierten.

Der *Prozesszeitenquotient T* (siehe Abbildung 4) ist ein quantitatives Maß neben den zuvor aufgestellten qualitativen Kriterien für die Transformationsrelevanz und wird definiert als Verhältnis der ursprünglichen Prozesszeit, welche durch einen RT-Prozess reduziert werden soll, zur Gesamtzeit zweier aufeinanderfolgender Ereignisse, welche durch den Prozess beeinflusst werden. Je zeitlich ausgedehnter der zu transformierende Prozess im Verhältnis zum durch ihn beeinflussten Gesamtprozess ist, desto relevanter ist seine Verkürzung. Umgekehrt gilt, dass die Verkürzung betrieblicher Prozesse, die

von ausgedehnten Latenzen anderer Prozesse, so z.B. für die Datengewinnung und -aufbereitung, oder für die Umsetzung der planerischen Ergebnisse in praktische Handlungen umgeben sind, den Gesamtprozess nur wenig beschleunigen können. Der Prozesszeitenquotient  $T$  sagt jedoch nichts über die Wirkung einer Real-Time-Transformation auf Unternehmensziele aus. Er ist lediglich ein Indikator dafür, in welchen Prozessen eine Real-Time-Transformation zu einer besonders relevanten Verkürzung des zeitlichen Abstandes zwischen zwei bedingten Ereignissen führen kann. Ob diese Verkürzung zu einer besseren Zielerfüllung beiträgt, ist durch dieses Maß allein noch nicht erkenntlich.

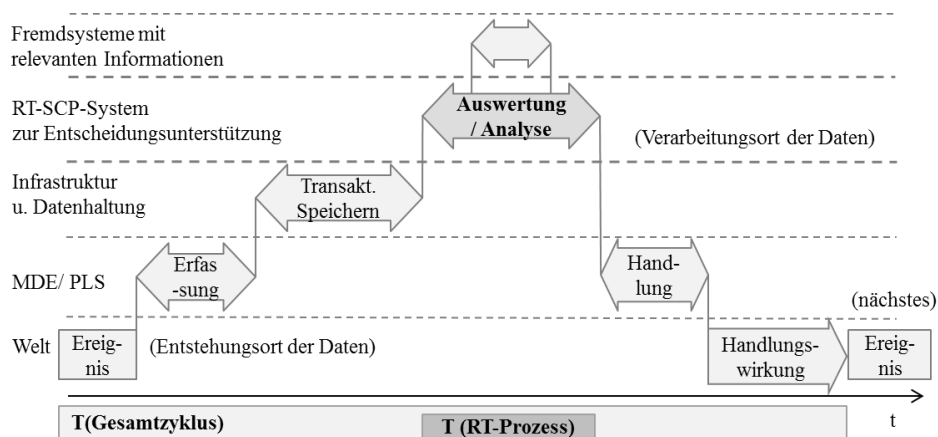


Abbildung 4: Prozesszeitenquotient  $T$

Der *Relevanzquotient*  $R$  (siehe Abbildung 5) beurteilt die Wirkung der Transformation von Prozessen hin zu Real-Time-Prozessen auf die unternehmerischen Ziele in den Dimensionen Bedarfserfüllung, Zeit, Qualität, Flexibilität oder Marge. Wird z.B. ein einzelner Prozess derart beschleunigt, dass ein zusätzlicher Umsatz generiert werden kann, weil ein bestimmter Angebotsabgabe- oder Liefer-Termin eingehalten wird, so ist die Wirkung der Prozesstransformation direkt daraus ablesbar (siehe Abbildung 5, linke Grafik). Sie tritt ein, wenn die erzielte verkürzte Zeit  $t_{\text{trans}}$  kleiner als der für die Veränderung der betriebswirtschaftlichen Bewertung relevante Termin  $t_{\text{eff}}$  ist. Der Relevanzquotient wird definiert als  $\text{DELTA}_{\text{Ziel}} / \text{IST}_{\text{Ziel}}$ , wobei  $\text{IST}_{\text{Ziel}}$  den Wert der Zielfunktion vor der Prozesstransformation und  $\text{DELTA}_{\text{Ziel}}$  den Wert der Zielfunktion nach der Prozesstransformation bezeichnen. Je größer  $R$  ist, desto größer ist der Beitrag aus der Prozesstransformation bezüglich der Zielerreichung und folglich umso relevanter ist sie. Können mehrere Prozesse zu RT-Prozessen transformiert werden und beziehen sich deren Relevanzquotienten auf die gleiche Zielfunktion (z.B. Marge), so können sie direkt für eine Rangfolgebildung genutzt werden (siehe rechte Grafik in Abbildung 5). Beziehen sie sich auf unterschiedliche Zielfunktionen (z.B. Marge und Qualität), so müssen sie zuvor entsprechend normiert werden. Dabei bietet sich ein monetäres Normativ wie die Marge an.



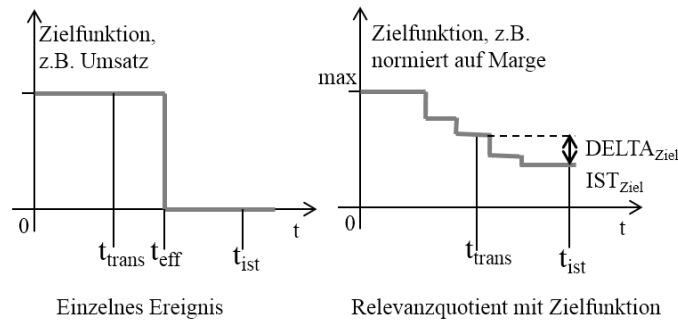


Abbildung 5: Relevanzquotient R

## 4 Systemseitige Anforderungen an das IMDM

### 4.1 Datenschicht mit Konsistenzkonzept

Die Veränderung auf Prozessebene hat Konsequenzen auf der Systemebene. Eine Verknüpfung operativer und analytischer Prozesse ist typischerweise gekennzeichnet durch häufigere Schreibzugriffe, einen höheren Aktualisierungsbedarf und eine aufwändigere Konsistenzsicherung. Diese müssen in der Datenschicht (vgl. Abbildung 2) erfüllt werden. Während Echtzeitauswertungen mit häufigen Leseprozessen keine hohen Anforderungen an die Konsistenzsicherung auf Datenebene stellen, ist dies bei echtzeitfähigen operativen Prozessen der Fall. Künftige betriebliche Anwendungssysteme mit einem Echtzeit-Anspruch müssen sich dieser Herausforderung auf der Ebene des IMDM stellen.

Will man analytische Auswertungen typischen transaktionalen Prozessen nicht nur passiv konsumierend zufügen, sondern dem Nutzer entscheidungsunterstützend alternative Aktionen anbieten und diese sofort auch durchführen, so verschieben sich auf Systemebene typischerweise bisher eher lesende Prozesse in der Datenschicht in Richtung häufigerer Schreibzugriffe. Insbesondere Planungsläufe oder das Einfügen eines zusätzlichen Auftrags in eine bereits geplante Maschinenbelegung mit Verschieben aller später terminierten Aufträge auf allen betroffenen Ressourcen verursachen vergleichsweise viele und vor allem kurz aufeinanderfolgende Schreibzugriffe. Führen die ersten Schreibprozesse zu Sperren auf Objekten, sind die nächsten notwendigen Aktionen davon mit hoher Wahrscheinlichkeit noch betroffen, weil die internen Konsistenzsicherungsmechanismen in der gleichen zeitlichen Dimension wie die Planungsoperationen liegen. Das Einplanen eines Produktionsauftrages gegen infinite Kapazität ist vor allem ein Schreibprozess mit sehr wenigen Leseprozessen zur Ermittlung von Terminierungsinformationen. Selbst beim algorithmisch aufwändigeren finiten Einplanen sind nach OR-Soft-Messungen noch ca. 9% der Operationen in einem typischen Algorithmus schreibende Prozesse. Dabei wird der Planungsprozess häufig, auf operativer Ebene teilweise *mehrmals täglich*, durchgeführt. Im Gegensatz dazu stehen Untersuchungen, welche bei der Analyse der Häufigkeit von Wertupdates in Kundendaten der Finanzbuchhaltung über einen Zeitraum von 5 Jahren auf ein Verhältnis von nur 5% geänderter

Datensätze gegenüber 95% unveränderter Datensätze *im kompletten Fünfjahreszeitraum* kommen [PZ11, S. 116].

Künftige IMDM-Systeme müssen bei einer Verschmelzung von Operations und Analytics mit diesen häufigen Schreibzugriffen umgehen können. Konsistenzsicherung ist dabei in betrieblichen Anwendungssystemen nötig, weil falsche Entscheidungen auf inkonsistenten Informationen stark negative Auswirkungen haben können, wie z.B. unnötige Bestellungen. Sie wird typischerweise durch die Verwendung von Datenbanken nach dem ACID-Theorem gesichert. Nicht konsistenzgesicherte aber sehr schnelle Datenbanken nach dem BASE-Theorem (aus der Klasse der NoSQL-Datenbanken) sind für betriebliche Anwendungssysteme ungeeignet (vgl. [SC11]). Konsistenzsicherung ist bei vielen Schreibzugriffen jedoch zeitaufwändig und steht damit möglicherweise im Widerspruch zur Real-Time-Eigenschaft. Die Information über eine potenzielle Inkonsistenz oder ein potenzielles Veralten ist dagegen jedoch deutlich schneller zu ermitteln, als eine Konsistenzherstellung dauert. Weil die für die Konsistenzsicherung nötige Zeit dem real-time-Gedanken einer sofortigen Bewertung der Aktion entgegenstehen kann, schlägt der Autor in dieser Domäne ein Konzept der „Konsistenzbestimmtheit“ vor. Dies bedeutet, dass zu jedem Zeitpunkt eine - ggf. falsch negative - Aussage über die Konsistenz einer Information sehr schnell gewonnen, sofort der Applikationsschicht zur Verfügung gestellt und für das Vermeiden falscher Entscheidungen verzögerungsfrei genutzt werden kann, während die aktuelle, konsistente Information zur Entscheidungsunterstützung etwas später nachgeliefert wird. Es steht damit „zwischen“ dem ACID- (immer konsistenzgesichert) und dem BASE- (nicht konsistenzgesichert) Konzept.

#### **4.2 Funktionsschicht**

Wichtigste Eigenschaft auf der Funktionsschicht für den in Kapitel 1 genannten RTE-Aspekt der Integration ist die gemeinsame Abbildung und gleichzeitige Betrachtung verbundener betrieblicher Prozesse in den planerischen und sonstigen systemseitigen Prozessen. So kann eine hohe Integration bei kurzen Antwortzeiten („real-time“-Aspekt) und gleichzeitiger Sicherung der Gültigkeit und Aktualität der Aussagen erzielt werden. Weiter unterstützen IMDM auf der Prozessebene die Aggregation und Disaggregation von Daten und Informationen, um dem strategischen Aspekt des Arbeitens auf einem gemeinsamen Modell Rechnung zu tragen. Die betrieblichen Systeme sollten Simulationen unterstützen. Günstig ist dabei eine objektweise Simulation anstelle der Verwendung von Simulationsvarianten als Kopien kompletter Situationen. Weiter sind parallele Berechnungen auf der Funktionsschicht wichtig, um aktuellen Prozessorarchitekturen Rechnung zu tragen (vgl. [Sch13]).

#### **4.3 Präsentationsschicht mit Aktualitätskonzept**

Die Präsentationsschicht ist mit Blick auf die in Kapitel 1 genannte RTE-Eigenschaft der hohen Informationstransparenz besonders wichtig. Auf der Präsentationsschicht sollten intuitive und prozesszentrierte Nutzeroberflächen das Agieren auf den aggregierten Echtzeitdaten unterstützen. Dabei sollten Batchverarbeitung und masken- und dialogorientierte Bedienkonzepte vermieden und stattdessen interaktive, überblicksartige Bedienkonzepte mit der Möglichkeit zum Drill-Down genutzt werden. Die Systeme unterstützen dabei die semantische (inhaltliche) und temporale Verdichtung von Informationen.

Auch hier sind eine kennzahlenorientierte Arbeitsweise, das Nutzen von Suchmaschinenkonzepten und die Unterstützung paralleler Funktionsaufrufe förderlich (vgl. [Sch13]).

Weiter müssen IMDM-Systeme Entscheidungen durch geeignete Nutzeroberflächen unterstützen, indem sie Alternativen aufzeigen und die Konsequenzen anhand der unternehmensweit einheitlichen Kennzahlen bewerten.

Neben dem *Konsistenzsicherungskonzept* ist das *Aktualisierungskonzept* bei IMDM weiterzuentwickeln. Während bei analytischer BI vor allem ein Report-artiges Vorgehen praktiziert wird und für die meisten Anwendungsfälle ausreicht, müssen in betrieblicher Software veraltete Informationen auf Nutzerebene unbedingt vermieden werden, weil daraus sonst falsche betriebliche Entscheidungen resultieren können (siehe Abbildung 6, rechter Kasten). Das in APS-Systemen übliche „Pushen“ aller aktualisierten Informationen zu allen Anwendern steht nach Messungen und Erkenntnissen des Erstautors bei kombinierten betrieblichen Systemen und der dort üblichen großen Datenmenge im Widerspruch zur geforderten Real-Time-Eigenschaft bzw. es wachsen die Systemanforderungen an den Applikationsserver sehr stark (siehe Abbildung 6, linker Kasten).

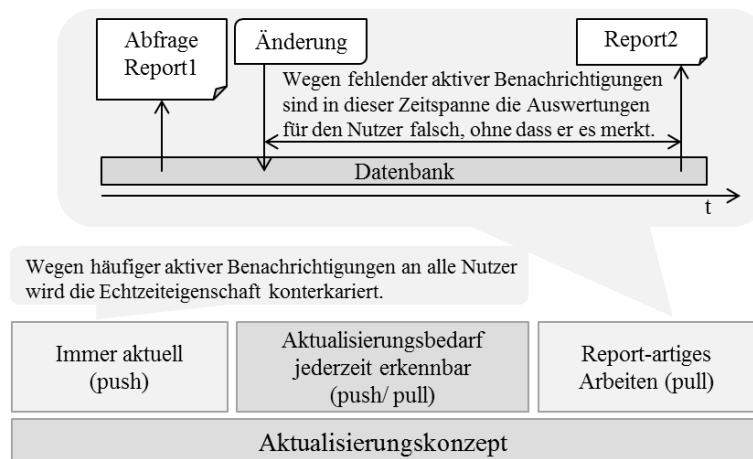


Abbildung 6: Aktualisierungsprinzip

Daher wird hier in Analogie zum *Konsistenzbestimmtheitsbegriff* für betriebliche IMDM-Systeme der *Aktualitätsbestimmtheitsbegriff* für die Nutzer-Oberflächen vorgeschlagen. Nach diesem Konzept wird der Aktualisierungsbedarf der angezeigten Information in Echtzeit übermittelt, die eigentliche aktuelle Information jedoch ggf. später oder alternativ dazu erst auf Anforderung. Für das Vermeiden einer falschen Entscheidung ist dies ausreichend und für die Performance des Gesamtsystems bei hohen Nutzerzahlen ganz besonders entscheidend. Dieses Konzept ist nicht zu verwechseln mit Aktualisierungskonzepten auf der Datenschicht, z.B. durch „Update Propagation“ oder „Materialization“ (vgl. [MAWK09]). Weder das Konsistenzbestimmtheits-Konzept, noch das Aktualisierungsbestimmtheits-Konzept sind bisher in bestehenden IMDM-Systemen aller in Kapitel 1.3 vorgestellten Architektur-Varianten verwirklicht. Durch

diese beiden Konzepte kann die von [GKMS10] beschriebene temporale Integrationslücke bei hoher Performanz geschlossen werden.

## **5 Anwendungsfall**

In einem Unternehmen der Stahlindustrie konnte in den Jahren 2010/ 2011 eine bisher als einfache Termindefinition realisierte Auftragsannahme durch eine Online-Capable-to-Promise- und Profitable-to-Promise-Prüfung abgelöst werden. Unter Anwendung der Architekturvariante (b) (siehe Abbildung 1) sieht der transformierte Auftragsannahmeprozess des Stahlhändlers für jede Position eines SAP-ERP-Kundenauftrags mit Materialart, Wunschtermin, Stückzahl, Höhe, Breite und Tiefe die Ausführung folgender Aktionen in einer Real-Time-Engine vor:

- Finden der bezüglich der Materialparameter zulässigen Chargen
- Erstellung bzgl. Schnittzeiten, Spänekosten und Restwerte optimaler Schnittpläne
- Auswahl einer ersten Schneidemaschine zum frühestmöglichen Zeitpunkt
- Einplanen eines simulierten Fertigungsauftrages für die erste und die Folgepositionen
- Ermittlung der Gesamtkosten.

	<b>RTE-Anforderung</b>	<b>Maßnahme / Erfüllung im Anwendungsfall</b>
Strategie	Durchgängiges Kennzahlensystem	Verschiedene Kennziffern (Schnittkosten, Materialkosten, Maschinenkosten etc.) werden simultan berücksichtigt.
	Aspektübergreifendes Planungskonzept	Operative, geometrische Schnittoptimierung, Chargenmerkmale und Instandhaltungsplanung werden berücksichtigt
Prozess	Identifikation echtzeitfähiger Prozesse / Prozesse verbinden	Transformation des bestehenden CTP-Prozesses mit fester Lieferzeit (frozen zone) zu einem, mit der bisher entkoppelten und langlaufenden Produktionsplanung und der Schnittoptimierung verbundenen, CTP-PTP-Prozess
	Kurze Antwortzeiten (Real-Time)	Über 50% der Termine und Kosten werden in weniger als 1 Sekunde ermittelt. 92% der Antworten in bis zu 10 Sekunden, dann fall-back auf eine Defaultlieferungzeit von n Tagen möglich. Damit Antworten noch am Telefon möglich.
	Sofortige Verfügbarkeit der aktuellen Informationen	Basis ist eine RAM-basierte Kopie des operativen Planungsmodells im SAP ERP mit sofortiger Verfügbarkeit.
	Jederzeit Aussage über Gültigkeit / Jederzeit durchführbare Planung	Wird durch den Prozess der Auftragsannahme und Agieren auf dem gleichen Modell für alle Nutzer gesichert.
	Interaktive und prozessorientierte Bedienkonzepte	Im konkreten Fall wird die ursprüngliche Bedienoberfläche (SAP-GUI-Transaktion) beibehalten. Bessere Werte (Termine, Kosten) werden ersetzt.
System	In-Memory-Technologien	Skalierbare RAM-basierte Lösung
	Objektweise Simulationsfähigkeit	Simulatives Einlasten von Fertigungs- und Schnittaufträgen
	Konsistenzbestimmtheit	Ist bezogen auf simulierte Objekte umgesetzt.
	Aktualitätsbestimmtheit	Trifft wegen Beibehaltung des ursprünglichen GUIs nicht zu.
	Prozesszentrierte Oberfläche	Trifft wegen Beibehaltung des ursprünglichen GUIs nicht zu.

Tabelle 2: Anforderungen des RTE im Fallbeispiel

Die Lösung liefert gesicherte Termine und Preise. Hier konnten in 55% der Anfragen Antwortzeiten von bis zu einer Sekunde und für 92% der Anfragen Antwortzeiten von bis zu 10 Sekunden erzielt werden. Die übrigen 8% der Fälle können mit einem immer machbaren späten Standard-Termin (z.B. in sieben Tagen) bedient werden, um die geforderte Real-Time-Bedingung einzuhalten. Die Lösung ist in die SAP-Transaktion eingebunden und benötigt keine eigene Nutzeroberfläche. Der bisher bestehende Prozess der Auftragsannahme wurde zu einem Real-Time-Prozess mit genaueren, zuverlässigeren Aussagen transformiert. Die verbindlichen Termin- und Preisaussagen sofort am Telefon resultieren in einer höheren Kundenbindung und folgend Wettbewerbsvorteilen.

## 6 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend bietet IMDM eine geeignete Grundlage für die Implementierung eines höheren Echtzeitbezuges in Unternehmen. Allerdings ist IMDM dazu nicht als reines technologisches Konzept im Sinne einer Migration des Datenbanksystems zu

betrachten. Vielmehr zeigen die in diesem Beitrag dargestellten Anforderungen, dass fachliche Anpassungen auf den Ebenen Strategie und Prozess mit den Veränderungen auf technischer Ebene zu verbinden sind. Dazu zählen insbesondere die Nutzung gemeinsamer Modelle und unternehmens- bzw. sogar branchenweiter Kennzahlen sowie die integrative Betrachtung analytischer und operativer Abläufe. Zudem liefert der Beitrag messbare Indikatoren – genannt seien Prozesszeiten- und Relevanzquotient – die sich zur Nutzenbeurteilung einer Transformation zu einem echtzeitfähigen Prozess auf Basis von IMDM-Systemen beitragen und damit eine Präzisierung des RTE-Begriffs bewirken. Aus technischer Sicht schlägt der Beitrag die Konzepte der Konsistenzbestimmtheit und der Aktualisierungsbestimmtheit vor, um der Gleichzeitigkeit von geforderten kurzen Antwortzeiten, großen Datenmengen, hohem Konsistenzsicherungsbedarf aus schreibenden Operationen und hohem Aktualisierungsbedarf Rechnung zu tragen.

Grundsätzlich sind unternehmensweit integrierte Plattformen für operative und analytische Zwecke in allen Bereichen und Schichten der betrieblichen Anwendungen heute technisch machbar, aus Sicht der Anwender in definierten Anwendungsszenarios auch nützlich und betriebswirtschaftlich rentabel. Allerdings sind Kenntnisse zu diesen Anwendungsfeldern erst in Ansätzen vorhanden. Der vorliegende Beitrag illustriert, dass diese nicht ausschließlich im Bereich analytischer Anwendungen zu finden sind, sondern auch im Bereich der operativen und dispositiven Anwendungen, wie etwa der Supply Chain Planung. Letztlich kann ein hoher Prozesszeit- und Relevanzquotient auch auf Maßnahmen zur gezielten Dynamisierung von Geschäftsprozessen unabhängig von der technischen Untersetzung hindeuten.

Durch künftiges IMDM ist nicht nur eine technische Revolution zum RTE, sondern auch eine „Kultur-Revolution“ im Unternehmen möglich. Unternehmensweit werden die gleichen Ziele verfolgt und mit den gleichen Maßen gemessen. Technische Faktoren können so künftig über die fachliche Dimension hinaus auch auf kulturelle Aspekte wie „Identität“, „Zusammengehörigkeitsgefühl“ und „Unterstützung durch das Management“ wirken. Auch die Rolle des Controllings könnte sich so von einem nachträglichen Kritiker am Vergangenen zum aktiven, prospektiven Förderer der Unternehmensziele wandeln.

## **7 Danksagung**

Die Erkenntnisse dieses Artikels wurden teilweise in den durch das BMBF geförderten Projekten mit den Kennzeichen 01IS11026A und 01IS08036A gewonnen. Wichtige Impulse für die Arbeit gaben verschiedene Kollegen der OR Soft Jänicke GmbH, insbesondere Dr. Winfried Jänicke, sowie Carina Cundius (Universität Leipzig), René Franke (Universität Halle-Wittenberg), Prof. Wolf Zimmermann (Universität Halle-Wittenberg), Christian Lambeck (TU Dresden), Prof. Rainer Groh (TU Dresden), denen an dieser Stelle dafür herzlich gedankt sei.

## Literaturverzeichnis

- [Alt08] Alt, Rainer: Überbetriebliches Prozessmanagement - Gestaltungsalternativen und Vorgehen am Beispiel integrierter Prozessportale. Logos-Verlag Berlin, 2008.
- [GKMS10] Grauer, Manfred; Karadgi, Sachin; Metz, Daniel; Schäfer, Walter: Real-Time Enterprise – Schnelles Handeln für produzierende Unternehmen. In: Wirtschaftsinformatik und Management 05 / 2010, Gabler Verlag Wiesbaden, S. 40ff.
- [LetA11] Loos, Peter; Lechtenböcker, Jens; Vossen, Gottfried; Zeier, Alexander; Krüger, Jens; Müller, Jürgen; Lehner, Wolfgang; Kossmann, Donald; Fabian, Benjamin; Günther, Oliver; Winter, Robert: In-Memory-Datenmanagement in betrieblichen Anwendungssystemen. Wirtschaftsinformatik (WI) 06 / 2011, Gabler Verlag Wiesbaden, S. 383–390.
- [LP11] Lehner, Wolfgang; Piller, Gunther (Hrsg.): IMDM 2011 Proceedings zur Tagung Innovative Unternehmensanwendungen mit In-Memory Data Management. Köllen Druck und Verlag GmbH Bonn, 2011.
- [MAWK09] Masewicz, Mariusz; Andrezejewski, Witold; Wrembel, Robert; Królikowski, Zbyszko: Predicting access to materialized methods by means of hidden Markov model. In: Control and Cybernetics Vol. 38 No.1 / 2009, S. 127-152.
- [ÖB05] Österle, Hubert; Blessing, Dieter: Ansätze des Business Engineering. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik Heft 241 /2005, 42. Jahrgang, dpunkt.verlag GmbH Heidelberg, S. 7.
- [ÖRV96] Österle, Hubert; Riehm, Rainer; Vogler, Petra: Middleware - Grundlagen, Produkte und Anwendungsbeispiele für die Integration heterogener Welten. Vieweg Verlag Braunschweig/ Wiesbaden. 1996.

- [oVR12] ohne Verfasser: Optimierungspotenzial in Planungsprozessen produzierender Unternehmen. 17.10.2012, URL: <http://www.raad.de/2012/10/optimierungspotenzial-in-planungsprozessen-produzierender-unternehmen/>. (heruntergeladen am 02.12.2012)
- [PH11] Piller, Gunther; Hagedorn, Jürgen: Business benefits and application capabilities enabled by in-memory data management. In: Lehner, Wolfgang; Piller, Gunther (Hrsg.): IMDM 2011 Proceedings zur Tagung Innovative Unternehmensanwendungen mit In-Memory Data Management. Köllen Druck und Verlag GmbH Bonn, 2011, S. 45–56.
- [PMW09] Plattner, Hasso; Meinel, Christoph; Weinberg, Ulrich: Design Thinking. Innovation lernen – Ideenwelten öffnen. Münchener Verlagsgruppe GmbH München, 2009.
- [PZ11] Plattner, Hasso; Zeier, Alexander: In-Memory Data Management - An Inflection Point for Enterprise Applications. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
- [PZTMH12] Plattner, Hasso; Zeier, Alexander; Tinnefeld, Christian; Müller, Stephan Heinz; Hillig, Sebastian: Available-to-promise on an in-memory column store. US Patent Application #2012/0265728.
- [SAB03] Scheer, August-Wilhelm; Abolhassan, Ferri; Bosch, Wolfgang (Hrsg.): Real Time Enterprise; Springer Verlag Berlin, 2003.
- [SC11] Stonebraker, Michael; Cattell, Rick: Ten Rules for Scalable Performance in “Simple Operation” Datastores. Juni 2011, Association for computing machinery ACM.
- [Sch13] Schmalzried, Dirk: In-Memory basierte Real-Time Supply Chain Planung. Gito Verlag Berlin, 2013.
- [SCFLAZG13] Schmalzried, Dirk; Cundius, Carina; Franke, René; Lambeck, Christian; Alt, Rainer; Zimmermann, Wolf; Groh, Rainer: In-Memory basierte Real-Time Supply Chain Planning Systeme für die Industrie. WI2013 - 11. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik, Leipzig. S.197-212.
- [Str05] Strassner, Martin: RFID im Supply Chain Management - Auswirkungen und Handlungsempfehlungen am Beispiel der Automobilindustrie. Dissertation, Uni St. Gallen, Deutscher Universitätsverlag Wiesbaden, 2005.
- [STS09] Soroor, Javad; Tarokh, Mohammad J; Shemshadi, Ali: Initiating a state of the art system for real-time supply chain coordination. In: European Journal of Operational Research, Ausgabe 196 / 2 / 2009, Elsevier, Amsterdam, S. 635 - 650.
- [TKSB08] Tinnefeld, Christian; Krueger, Jens; Schaffner, Jan; Bog, Anja: A Database Engine for Flexible Real-Time Available-to-Promise. In: 2008 IEEE Symposium on Advanced Management of Information for Globalized Enterprises (Amige 2008), Ieee Tianjin, China, 2008.
- [ZHH08] Zelewski, Stephan; Hohmann, Susanne; Hügens, Torben: Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme. Oldenbourg Wissenschaftsverlag München, 2008.