

Wissen anwenden

Müller, D.

Der vorliegende Artikel diskutiert Sichten und Technologien zur Optimierung der Produktentwicklung. Ausführlicher werden dabei Wissensmanagement und Anforderungswesen betrachtet. Daraus abgeleitet wird eine Entwicklung von wissensbasierten Software-Agenten zur intelligenten Lösungsfindung motiviert.

The following article discusses views and technologies for optimisation of the product development. Knowledge Management and Requirement Engineering will be considered in detail. Derived from that the development of knowledge-based software agents for an intelligent solutions-finding is motivated.

1 Die Situation

Nicht zuletzt die Probleme des Automobilherstellers Adam Opel AG, die im Herbst des Jahres 2004 die hiesigen Schlagzeilen beherrschten, haben erneut den anhaltend hohen Kostendruck auf die fertige Industrie aufgezeigt. Der globale Wettbewerb verlangt, sehr allgemein ausgedrückt, nach Qualität zu geringen Kosten und verkürzten Entwicklungs- und Produktionszeiten. Ein Unternehmen, das auf dem Markt bestehen möchte, muss heutzutage effektiv und flexibel agieren. Besonderer Bedeutung kommt dabei der Einbeziehung und Integration von modernen IT-Technologien und Architekturen in die Unternehmenslandschaft und Abläufe zu. Deren Entwicklung beeinflusst auch massiv die neuartigen Strukturen von Unternehmen und der Produktentwicklung. Erweiterte Unternehmen beziehungsweise Virtuelle Unternehmen setzen sich im Verbund aus (allen) an einem Produkt beteiligten Unternehmen und Personen wie z. B. Hersteller, Zulieferer, Service und Kunden zusammen. Sie definieren sich also produktbezogen und sind dynamisch. Das 'Collaborative Engineering' erhält in der verteilten Unternehmensumgebung immer mehr Gewicht. Zulieferer und weitere Entwicklungspartner werden in die Produktentwicklung eingebunden, was Mechanismen zum Austausch und zur Kontrolle von Produkt- und Prozessdaten erfordert. Die Einbeziehung von Unternehmen und Personen über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes von der ersten Idee bis zur Entsorgung verlangt ebenso

nach Methoden und Geschäftsprozessen zur Unterstützung der Haltung und Verfügbarkeit produktbezogener und –unterstützender Daten über entsprechenden Zeitraum und darüber hinaus, zusammengefasst unter den Überbegriffen 'Product Lifecycle Management (PLM)' und 'Product Lifecycle Support (PLCS)'.

Der Kosten- und Zeitdruck auf den Unternehmen sorgt dabei für aufwändige Untersuchungen zur Optimierung und Rationalisierung der Geschäftsprozesse. Die Ursachen- und Lösungsfindung zur Verbesserung der Wertschöpfung wird dabei intensiv und vielfältig betrieben. Gängige Maßnahmen zur Kostenreduzierung finden aber vor allem im Bereich der Produktion, sprich Personalkosten, statt. Langfristig gesehen löst dies aber nicht die eigentlichen Problematiken der Unternehmen. Die Produktion beinhaltet zwar mit bis zu 85% den größten Anteil an den anfallenden Herstellungskosten, aber bis zu 80% der zu zahlenden Gesamtkosten und 50% des Gesamtumsatzes werden in der Entwurfs- und Entwicklungsphase vorgegeben und festgelegt (Quelle: Baxton, Japan). Ein entsprechend der Anforderungen optimiertes Produktdesign birgt dementsprechend ein hohes Potential zur Beeinflussung der Kosten.

Diese Meinung vertritt auch Nicholas Dewhurst, Vize-Präsident von Boothroyd Dewhurst, Inc. in seinem offenen Brief an die U.S. Hersteller /1/. "Need to Cut Costs? Check your Design First" überschreibt er plakativ sein Positionspapier. Hinweisend auf das Jahr 1989, als schon einmal neue Methodiken in der Produktentwicklung mit immensen Einsparungen (bei Ford z. B. mehr als \$1,2 Mrd) in der U.S. Industrie gefördert wurden, vergleicht er diese Zahlen mit geschätzten Einsparungen bei den Personalkosten im Zuge von Ausgliederung der Fertigung in Billiglohnländer. Denn bekanntlich haben Personalkosten einen relativ geringen Einfluss auf die Produktgesamtkosten. Dewhurst folgert, dass im Falle von Einsparungen diese während des Entwurfes initiiert werden müssen. Er betont, dass die Entwicklung eines neuen Produktes Kreativität bedingt. Den Entwicklern sollte dabei ausreichend Zeit zur Lösungsfindung gegeben werden, da heutige Entwurfsprozesse oft zu hastig

und unstrukturiert sind. Zudem ist eine Verbesserung der multidisziplinären Kommunikation und der Austausch von Produktwissen für eine optimierte Produktspezifikation dringend von Nöten.

Dass dabei allein die Verfügbarkeit von Informationen und Wissen über Kommunikationsnetzwerke kein Allheilmittel ist, betont Professor Erik Brynjolfsson vom MIT (Cambridge) in seinem Strategiepapier zur Bewältigung der anfallenden Informationsflut /2/. Computer stellen in der Informationsverarbeitung keinen Ersatz der menschlichen Fähigkeiten dar. Sie dienen lediglich der Unterstützung. Neuartige IT-Konzepte und Architekturen sollten diesen Aspekt unbedingt im Auge behalten, um auch anwendbare Lösungen anbieten zu können. Brynjolfsson favorisiert dabei eine Doppelstrategie von Zentralisierung / Dezentralisierung der Informationen, abhängig von deren Art. Er unterscheidet dabei zwischen leicht integrierbaren Daten in zumeist numerischer Repräsentation, die relativ einfach von Rechnern verarbeitet werden können, und 'weichen' Informationen wie die Art der Kundenbeziehung, die dezentralisiert verbreitet werden. Dies bringt zumeist auch eine Verlagerung der Entscheidungskompetenz auf die Mitarbeiter 'Vor-Ort' mit sich. „Die Idee ist, die Entscheidungsfindung zu dezentralisieren, um die Kapazität der menschlichen Informationsverarbeitung besser zu nutzen – nicht die Kapazitäten der Informationsverarbeitung durch Computer. Ziel ist es, den Mitarbeitern den Kopf für anspruchsvolle Aufgaben frei zu machen.“ Bezieht man dieses auf die Produktentwicklung, könnte man ableiten, dass den Entwicklern feststehende Basisinformationen den Anforderungen entsprechend einfach und übersichtlich zur Verfügung stehen, damit sie genügend Raum für kreative Aufgaben und Ideen haben.

Recht ausgereifte Systeme für die Verwaltung und Organisation von Produktdaten, auch mit serviceorientierten Architekturen, sowie CAD Systeme erweitert mit Wissensmodulen existieren mittlerweile auf dem Markt. Die Flut der anfallenden Dateien bei der Einführung von CAD-Systemen in den 1980er Jahren bedingte die Entwicklung von Verwaltungssystemen. Neben der funktionellen Erweiterung von CAD-Systemen (z. B. Integration von Zeichnungsverwaltungssystemen) war vor allem die Einführung von PDM-Systemen von entscheidender Relevanz. Mit der Zunahme der Produktkomplexität und der Einführung von Engineering Prozessen (z. B. Simultaneous oder Concurrent Engineering) wandelten sich die PDM-Systeme zu Informationssystemen

für ein integriertes Daten- und Prozessmanagement. Bei beiden Systemen ist die Entwicklung in den letzten Jahren aber weiter rasant fortgeschritten. Die CAD-Systeme verwalten nicht mehr nur reine Geometriedaten. Virtuelle Test- und Wissensmodule ersparen erste Prototypenbauten und unterstützen den Konstrukteur in der Entwurfsphase. Die Entwicklungen zur Unterstützung des gesamten Produktlebenszyklus mit der Notwendigkeit entsprechender Datenerfassung und –verfügbarkeit über diesen Zeitraum und Unternehmensnetzwerke hinweg sowie Prozessen und Workflows zur Organisation und Steuerung sorgten für eine funktionelle Erweiterung der PDM-Systeme, dies dann auch unter der neuen Bezeichnung PLM (Product Lifecycle Management). Einige existierende Kopplungen von CAD und PLM Systemen wurden wie bei Catia V5 von Dassault Systèmes und SmarTeam direkt oder über Schnittstellen (Catia V5 und Agile PLM) realisiert.

Die Integration und wirkliche Umsetzung von PLM-Konzepten in den Unternehmen steckt zumeist noch in den Kinderschuhen. Dass der PLM-Ansatz mehr ist als nur der Produktentwurf und nicht nur im Bereich Produktionsgüter Relevanz hat, sondern auch im Bereich von Konsumgütern vielversprechende Unterstützung von Produktentwicklung und Produktion bietet, zeigt Beth Bacheldor in ihrem Bericht /3/ auf. So entspricht die Umsetzung bei Karsten Manufacturing Co., einem Hersteller von Golfschlägern, „...taking the design and attaching all the various information related to that product – the market plan, design criteria, product specs, testing data, and other type of info...“. Ein weiteres Beispiel liefert Grimes Industrial Design Co. in Verbindung mit der Herstellung von Schuh-Skates. Im Detail werden hier frühzeitig die Neuentwürfe dem Geschäftsbereich Marketing und Verkauf zur Verfügung gestellt, mit der Möglichkeit des Einflusses und frühzeitiger Entwicklung von Vermarktungsstrategien. Innovation und verkürzte Erreichung der Marktreife liegen hier im Fokus.

2 Die Wissensgesellschaft

2.1 Innovation und Vision

'Wissen' ist das neue Schlagwort unserer Zeit. Das Kapital der Unternehmen liegt in ihrem Produktwissen. Dabei muss klar unterschieden werden, dass Produktwissen nicht einfach reine Daten oder Informationen sind. Selbst bei der Art des Wissens muss unterschieden werden. Explizites Wissen liegt

in einer formalisierten Form vor. Implizites Wissen beruht auf den Erfahrungen einer Person, zum Teil erweitert aus den kognitiven Fähigkeiten eines Menschen. Damit vor allem das implizite Wissen einem Unternehmen zur Verfügung steht und nicht mehr nur an die Person als Wissensträger gebunden ist, und somit auch nach dem Austritt der Person nicht verloren geht, gibt es vielfältige Untersuchungen und Implementierungen auf dem Gebiet des Wissensmanagements. Viele Anwendungen oder Programmmodule schmücken sich dabei mit dem Beiwort 'Wissen', werden dem aber entsprechend der Definition nicht gerecht. So hat z. B. Parametrisierung wenig mit Wissen gemein. Das Hauptproblem liegt in der Repräsentation des Wissens beziehungsweise wie es in ein formales Format überführt werden kann. Ein Wissensmanagementsystem sollte die Sicherung und Wiedergabe formalisierten Wissens unterstützen, und dies auch in einer verteilten Umgebung.

Neben der IT-technischen Problemstellung Wissen be- und verarbeitbar zu machen, wird aber oft die Frage nach dem 'Wie' das Wissen unterstützend in die Unternehmensprozesse eingebunden werden kann vernachlässigt. Denn z. B. dem Konstrukteur einfach eine Datenbank gefüllt mit Wissen an die Seite zu stellen, erhöht mit Sicherheit nicht allein die Effektivität.

„Was folgt auf 'Best Practices'?“ fragten sich auch die Teilnehmer des ProSTEP iViP Symposiums 2004, zusammengefasst in /4/. Ein Bezug zum Bekannten und Neuen ist nach Uwe Weissflog notwendig für nachhaltigen Erfolg bei der Produktentwicklung – die „Fähigkeit, Bekanntes effizient umzusetzen und Neues kreativ aus dem Unbekannten zu gestalten“. Henning Kagermann spezifiziert in /5/: „Aus der Fähigkeit, produktiv gegen Regeln zu denken und zu handeln, entstehen kreative Ideen. Eine Innovation entsteht dann, wenn sich diese neuen Ideen wirtschaftlich erfolgreich umsetzen lassen“.

Für die Schaffung von Innovationen ist Kreativität notwendig, das ist unbestritten. Bisherige Systeme die sich 'Wissen' auf die Fahne schreiben können dies aber noch nicht leisten. Die Funktionalität entsprechender Systeme beschränkt sich auf die Aufnahme und zur Verfügung Stellung von Wissen und darauf basierender Anwendungen bzw. Algorithmen. Neues Wissen wird nicht generiert.

Kann es überhaupt ein 'kreatives' Wissensmanagementsystem geben? Dieses Problem ist wohl zur Zeit noch nicht lösbar. Die globale Lösung sollte

zunächst auch nicht die Aufgabe sein, es macht wohl viel mehr Sinn sich auf Teildomänen zu konzentrieren, um gezielt 'intelligent' zu unterstützen.

2.2 PRIME

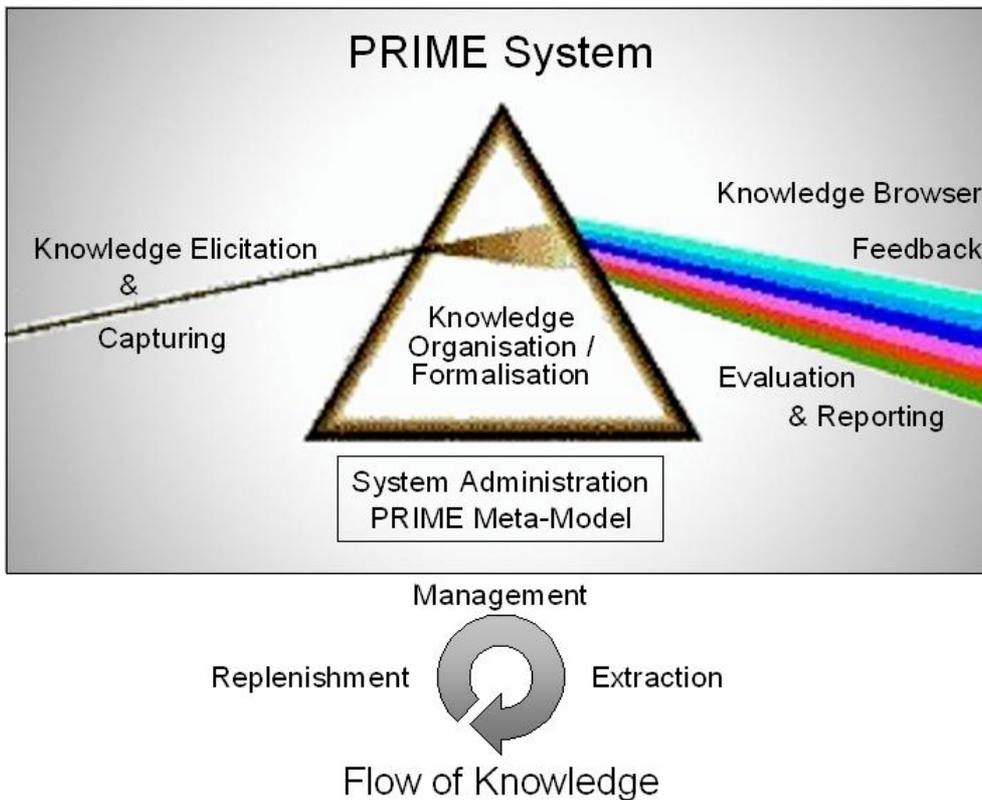
Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes PRIME – Product Integrated Knowledge Management for the Extended Enterprise gefördert von der Europäischen Kommission unter der Programmkomponente Growth (GRD1-2001-40408) hatte das Institut für Maschinenwesen einen maßgeblichen Anteil an der Entwicklung eines praktikablen Produktwissensmanagementansatzes für erweiterte Unternehmen, basierend auf industriellen Anforderungen unter Berücksichtigung der Akzeptanz aller am Produktlebenszyklus beteiligten Personen. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf dem produktbezogenen Wissen aus allen Phasen des Produktlebenszyklus welches im Rahmen von erweiterten Unternehmen erfasst und ausgewertet werden kann, und dies halt auch über alle Lebenszyklusphasen von der Idee bis zur Entsorgung. Die Methodik wurde in einem öffentlich verfügbaren 'Workbook' /6/ zusammengefasst, das als Leitfaden für die Einführung des PRIME-Konzeptes angewendet werden kann. Einen Überblick über Aufbau und funktionale Komponenten des PRIME Wissensmanagementansatzes liefert **Bild 1**. Ausführlich wurde dieser Ansatz in der letztjährigen Ausgabe der Institutsmittteilung dargestellt /7/.

Eine prototypische Umsetzung des Konzeptes befindet sich zur Zeit in der Validierung. Generell kann man sagen, dass mit diesem Konzept eine Grundlage für ein verteiltes Wissensmanagement gegeben ist. 'Kreativität' bietet es noch nicht, darf aber als eine Wissensbasis aufgrund der modellbasierten Auslegung für zukünftige Entwicklungen auf dem Gebiet angesehen werden.

3 Ausgangspunkt Anforderungen

3.1 Anforderungswesen

Wenn ein Konstrukteur ein neues Bauteil entwirft oder eine Änderungskonstruktion durchführt hat er gewisse Vorstellungen von Funktion und Struktur des Endproduktes. Diese resultieren aus den existierenden Anforderungen, die auf Basis des persönlichen Wissens interpretiert werden. Eine strukturierte Vorgehensweise beim Entwickeln und Konstruieren empfiehlt die VDI 2221 /8/. Zum ersten Arbeitsschritt gehört dort das Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung, um z. B. Vorfixierun-



strukturiert. Transformation der Anforderungen (Formalisierung) in eine modellbasierte Repräsentation ermöglicht eine systemtechnische Auswertung und Bearbeitung der Anforderungen. Mit Hilfe eines Wissensmanagementsystems wurden die so aufbereiteten Anforderungen z. B. auf Inkonsistenz oder Vollständigkeit überprüft. Eingesetzt im Kommunikationsprozess zwischen Hersteller und Kunde ermöglicht dieser Ansatz eine schnellere, fehlerfreie Angebotserstellung und optimierte Grundlage für die Produktentwicklung.

Bild 1: PRIME Wissensmanagementansatz

gen zu vermeiden und nur die relevanten Vorgaben zu identifizieren. Daraus resultierend entsteht eine Anforderungsliste, die in den weiteren Arbeitsschritten angepasst werden muss. Bei Kundenaufträgen gibt dieser seine erwarteten Spezifikationen zumeist in textueller Form an, ergänzt durch verbale Kommunikation. Die Beschreibung von Anforderungen in einem natürlich sprachlichen Format birgt aber Problematiken, wie u. a. Unvollständigkeit, Fehlinterpretation, Inkonsistenz.

Ein Anforderungsprozess deckt folglich die drei Dimensionen Spezifikation, Repräsentation und Verständigung ab. Dabei wird die allgemeine Behandlung von Anforderungen ohne Bezug zu einer spezifischen Disziplin als Anforderungswesen (engl. Requirement Engineering) bezeichnet.

Untersuchungen auf dem Gebiet des Anforderungswesens gibt es am Institut für Maschinenwesen seit Mitte der 1990er Jahre. Eine Verknüpfung von Wissensmanagement und Anforderungswesen wurde im EU-Projekt KARE – Knowledge Acquisition and sharing for Requirement Engineering (EP 28916) realisiert [9]. Ein methodischer Ansatz und prototypische Umsetzung einer wissensunterstützten Verwaltung / Organisation von Produkthanforderungen für komplexe Produkte wurde in dem Projekt entwickelt. Natürlich sprachliche Einzelanforderungen werden systemtechnisch übernommen und

gebotserstellung und optimierte Grundlage für die Produktentwicklung.

3.2 Konfigurations- und Änderungswesen

Anforderungen und Produktspezifikation, vor allem bei komplexen Produkten, sind nicht zwangsläufig konstant während der Entwicklungsphase, im Gegenteil Änderungen sind eher unvermeidlich und ein bedeutender Bestandteil der Produktentwicklung. Die Gründe dafür sind vielschichtig: Fehler in Entwicklung oder Planung, veränderte Schnittstellenparameter, aktualisierte Kundenanforderungen, veränderte Marktsituation, veränderte Schnittstellenparameter u. a.

Mit Hilfe des Konfigurationsmanagements besteht die systematische Möglichkeit einer Identifikation der Produktkonfiguration zu einem diskreten Zeitpunkt während des Produktlebenszyklus um Erfüllung, Vollständigkeit und Verfolgbarkeit der aktuellen Konfiguration verifizieren zu können. Auftretende Inkonsistenzen lösen auch die Notwendigkeit einer Änderung aus.

Schon kleine Änderungen können immense Auswirkungen im Entwicklungs- und Fertigungsprozess bewirken. Das Änderungswesen (engl. Engineering Change Management, ECM) regelt, organisiert und dokumentiert den Änderungsdurchlauf. Nach Hirsch

und Trautheim ist ein Änderungsdurchlauf allgemein in fünf Phasen gegliedert (siehe **Bild 2**). Besonders der Kommunikationsprozess zur Verhandlung von Änderungsantrag (engl. Engineering Change Request) und Änderungsauftrag (engl. Engineering Change Order) bedingt eine eindeutige Strukturierung, Steuerung und Synchronisation. Die standardisierte Durchführung entsprechender Prozesse zur Beurteilung von Anträgen und zur Bearbeitung von Änderungsaufträgen lässt sich durch Workflowsysteme steuern und unterstützen.

Der allgemeine Prozess des Änderungswesens weist eine Verwandtschaft zum Ablauf des Anforderungswesens auf, kann u. U. auch als eingebetteter Anforderungsprozess angesehen werden, da letztendlich auch hier ein Abgleich mit Anforderungen durchgeführt wird.

4 Intelligente Lösungsfindung

In der Diskussion der Thematiken und Problematiken der vorangegangenen Abschnitte konnte immer wieder ein Bezug zu den Anforderungen eines Produktes und deren konstruktive Umsetzung aufgezeigt werden. Ein kritischer Abschnitt im Bereich des Anforderungswesens ist die Identifikation und Verifizierung von Anforderungen z. B. im Rahmen der Bestimmung und Durchführung von Tests und Testroutinen für die Validierung unterschiedlicher Anforderungen in bezug auf deren Umsetzung. Dies ist ein höchst wissensintensiver Prozess. Dieser Prozess erfordert ein detailliertes Verständnis von Schlüsselfunktionen und -eigenschaften des

neuen Produktes, das durch die Anforderungen spezifiziert wird, der verfügbaren Fertigungstechnologien, Prüftechnologien sowie Produktionsanlagen und Einrichtungen u. a. Ein Abgleich des Entwurfes mit den vorgegebenen und definierten Anforderungen in bezug auf Konsistenz und Erfüllung wird derzeit IT-technisch eher stiefmütterlich unterstützt. Konsequenterweise besteht auf diesem Gebiet der Bedarf einer Entwicklung von Methoden und Anwendungen, die einen strukturierten, wissensgetriebenen Ansatz zur Testspezifikation, Überprüfung und Auswertung von Anforderungen erlauben. Mit der unterstützten Spezifizierung und Durchführung von Testszenarien können z. B. relevante Konstruktions- und Schnittstellenparameter identifiziert und synchronisiert werden, schon während der Entwicklung Simulationen oder Konfigurationsanalysen durchgeführt werden und frühzeitig notwendige Änderungen initiiert werden. Dies verspricht erhebliche Kostenreduzierungen durch eine optimierte, ausgereifte Produktspezifikation in verkürzter Entwicklungszeit.

Einen Schritt weiter gedacht könnte sich ein entsprechender Ansatz nicht nur auf einen 'statischen' Soll-Ist-Abgleich beschränken, sondern den Konstrukteur bei der Lösungsfindung im Entwurfsprozess aktiv (wissensbasiert) unterstützen und leiten. Wie zuvor beschrieben beschränken sich derzeitige Wissens- und Anforderungssysteme eigentlich auf die Aufnahme und Verwaltung entsprechender Objekte. Integrierte Expertensysteme, zumeist regelbasiert, reproduzieren mehr oder weniger scharf Systemzusammenhänge auf Basis des konzeptu-

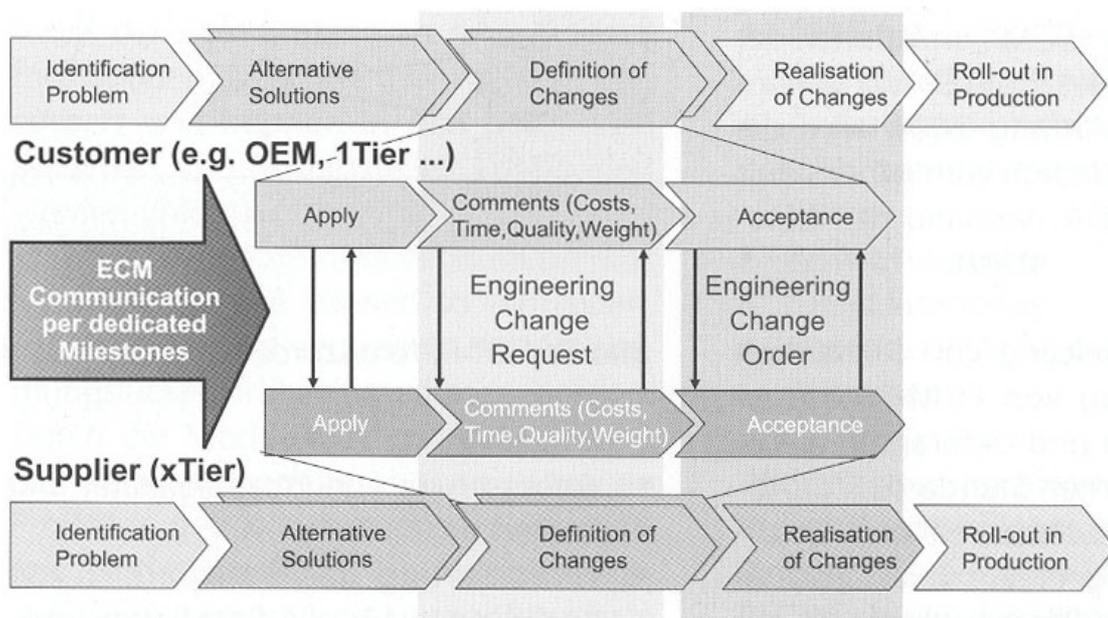


Bild 2: Allgemeine Phasen des ECM und Kommunikation /10/

ellen, qualitativen Verständnisses des Programmierers. Wissen wird in dem Sinne nur abgebildet jedoch nicht angewendet und erweitert. Eine gewisse Autonomie in ihrem Verhalten besitzen die 'Intelligenten Software-Agenten', so genannte Rechnerprogramme innerhalb einer definierten Software-Umgebung mit dem Ziel der Unterstützung von Benutzern bei bestimmten Aufgabenstellungen. Software-Agenten haben die grundsätzliche Eigenschaft einer Orientierung am menschlichen Verhalten. Sie ermöglichen eine natürliche Interaktion, besitzen also eine gewisse Intelligenz, und sollen sich wie ein persönlicher Assistent verhalten und formulierte Aufträge selbstständig abarbeiten. Vor allem in den letzten Jahren hat sich das Anwendungsgebiet der Software-Agenten beträchtlich ausgeweitet /11/.

Modellbasierte Anforderungs- und Wissensrepräsentationen, wie sie in den zuvor genannten Forschungsprojekten KARE und PRIME definiert wurden, könnten für speziell zu entwickelnde Intelligente Software-Agenten die Informationsbasis repräsentieren, um darauf z. B. Lösungssuchen, Analysen und Bewertungen durchzuführen. Ein mögliches Anwendungsszenario wäre eine autonome Anforderungsanalyse zur Ableitung von Rahmenbedingungen und Entwurfsansätzen, um dem Konstrukteur exakt das notwendige Wissen für seine Entwurfstätigkeit zur Verfügung zu stellen. Der Konstrukteur erhält mehr Raum für seine kreative Arbeit. Weiterhin wäre auch eine interaktive, entwurfsbegleitende Konsistenzanalyse während des Entwurfsprozesses in bezug auf die vorgegebenen Anforderungen denkbar. Somit könnten frühzeitig Fehlentwicklungen aufgedeckt oder vermieden werden, aber auch Entwicklungsrichtungen vorgeschlagen werden.

Ein entsprechendes Agenten-System wäre in den allgemeinen Konstruktionsprozess zu integrieren und auch in verteilten Umgebungen einsetzbar. Wie kreativ so ein System bei einer Lösungsfindung wirklich sein kann ist offen. Es besitzt aber auf jeden Fall das Potenzial um den Konstrukteur von administrativen Aufgaben zu befreien und ihn wissensbasiert im Konstruktionsprozess zu unterstützen und zu lenken.

5 Zusammenfassung

In der fertigen Industrie wird stetig nach Einsparpotentialen gesucht. Die Produktentwicklung ist dabei maßgeblich für die Festlegung der Herstell-

ungskosten verantwortlich. Der vorliegende Artikel diskutierte verschiedene Sichten und Technologien zur Optimierung des Produktentwicklungsprozesses.

Der Ansatz eines wissensbasierten Anforderungswesens, wobei Intelligente Software-Agenten auf Basis modellbasierter Wissens- und Anforderungsrepräsentationen zur Suche, Analyse und Bewertung eingesetzt werden, verspricht dabei ein hohes Potential zur intelligenten Unterstützung des Konstrukteurs bei der Lösungsfindung und Produktdefinition.

6 Literatur

- /1/ Dewhurst, N.: Need to Cut Costs? Check Your Design First, Offener Brief an die U.S. Hersteller, September 2004
- /2/ Brynjolfsson, E.; Den Kopf frei für anspruchsvolle Aufgaben, Strategiepapier, <http://www.sapinfo.de/public/en/articlelist.php4/Author-1727740b6098533234>, Juni 2004
- /3/ Bacheldor, B.: Deeper Than Designs, <http://www.informationweek.com/story/showArticle.jhtml?articleID=26806195>, Information Week, August 2004
- /4/ Weissflog, U.: Was folgt auf „Best Practices“?, ProduktDaten Journal Nr.2, November 2004
- /5/ Kagermann, H.: Editorial SAP INFO 119, August 2004
- /6/ PRIME Konsortium: PRIME Workbook, PRIME download area: <http://www.prime-project.org/deliverables.html>, 2003
- /7/ Düsing, C.; Müller, D.: A Knowledge Management approach for the Extended Enterprise, Institutsmitteilung Nr. 28, IMW Clausthal, 2003
- /8/ VDI Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, VDI Verlag, Düsseldorf, 1993
- /9/ KARE Konsortium: KARE Website, <http://www.imw.tu-clausthal.de/kare>
- /10/ Hirsch, H.; Trautheim, A.: Engineering Change Management – abgestimmte, partnerübergreifende Prozesse, ProduktDaten Journal Nr.2, November 2004
- /11/ Keller, H.: Maschinelle Intelligenz – Grundlagen, Lernverfahren, Bausteine intelligenter Systeme, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 2000