

ZUR PROBLEMATIK RECHNERGESTÜTZTER KONSTRUKTIONSLEITSYSTEME

Bruno Gries

Kurzfassung

Rechnergestützte Konstruktionsleitsysteme wurden mit der Absicht geschaffen, Konstrukteuren ein Werkzeug an die Hand zu geben, welches sie in allen Phasen des Produktentwicklungsprozesses durchgängig unterstützt. Die Art und Weise der von den unterschiedlichen Systemen gebotenen Unterstützung ist hierbei vielfältig: Sie reicht beispielsweise von der Verwaltung der Anforderungen in der frühen Phase des Konstruktionsprozesses bis hin zur automatischen Stücklistenenerstellung in der Ausarbeitungsphase. Trotz dieser Möglichkeiten hat sich gezeigt, dass Konstruktionsleitsysteme in der Praxis so gut wie nicht angenommen wurden. In seinem Beitrag möchte der Autor mögliche Ursachen hierfür darlegen und das Konzept eines Konstruktionsunterstützungssystems vorstellen, das zur Zeit im Teilprojekt D2 des Sonderforschungsbereiches 281 „Demontagefabriken“ unter spezieller Berücksichtigung der aufgezeigten Probleme entwickelt wird.

1 Der durchgängig rechnergestützte Konstruktionsprozess

1.1 Motivation

Die achtziger Jahre erlebten einen Umbruch in der Arbeitswelt des Konstrukteurs. Das Werkzeug Computer hielt in immer mehr Zeichen- und Konstruktionsabteilungen Einzug. Begriffe wie CAD, CAE und CAM waren in aller Munde – im Nachhinein kann wahrscheinlich von einer CAx-Euphorie gesprochen werden.

Die teilweise noch zu Beginn der 90er Jahre anzutreffende Situation beschreibt Beitz [4] jedoch folgendermaßen:

- „Konventionelle“ und CAD-Arbeitsplätze waren in der Regel getrennt.
- Die Anzahl der CAD-Plätze war normalerweise geringer als die Anzahl der Konstrukteure, was dazu führte, dass CAD-Zeiten zugeteilt werden mussten.
- Es herrschten oftmals traditionelle Arbeitsstrukturen vor, die beispielsweise eine Trennung von Konstrukteuren, Detailkonstrukteuren und Zeichnern vorsahen.

Diese Umstände wirkten sich erschwerend auf ein weiteres Problem aus: der unzureichenden Möglichkeit zum Datenaustausch zwischen einzelnen Anwendungen, die teilweise auf unterschiedlichen Rechnersystemen liefen. Der Konstrukteur musste oftmals Programme mit Daten füttern, die andere Programme vorher erzeugt hatten. Dies traf insbesondere bei der gestalterischen Umsetzung zuvor berechneter Eigenschaftsgrößen zu.

Als einen Ausweg aus dieser Situation sah man den durchgängig rechnergestützten Konstruktionsprozess - eine angepasste Konstruktionsmethodik welche auf einem rechnerbasierten System aufbaut, das die Konstrukteure situationsflexibel methodisch leiten und eine Durchgängigkeit der Daten und der darauf zugreifenden Programme gewährleisten sollte.

1.2 KALEIT

Mit dieser Zielsetzung wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 203 am damaligen Institut für Maschinenkonstruktion – Konstruktionstechnik der TU-Berlin ein Konzept für ein Konstruktionsanalyse und -leitsystem entwickelt (KALEIT) [4], [6].

Die Struktur, auf der KALEIT basiert, ist in Bild 1 dargestellt. Ausgehend von einer vorgegebenen Methodik stellt der Konstrukteur mit Hilfe des *Aufgabenanalyse-Prozessors* zunächst eine Anforderungsliste auf, bzw. sucht Informationen über ähnliche Aufgabenstellungen. In der darauffolgenden Phase dient der *Lösungskoordinations-Prozessor* zur Durchführung der Konstruktionsplanung. Mit dem eigentlichen *Konstruktionsleitsystem* erfolgt schließlich die Lösung der Konstruktionsaufgabe. Ein gemeinsamer Speicherbereich dient zur Ablage von Produkt- und Prozessdaten.

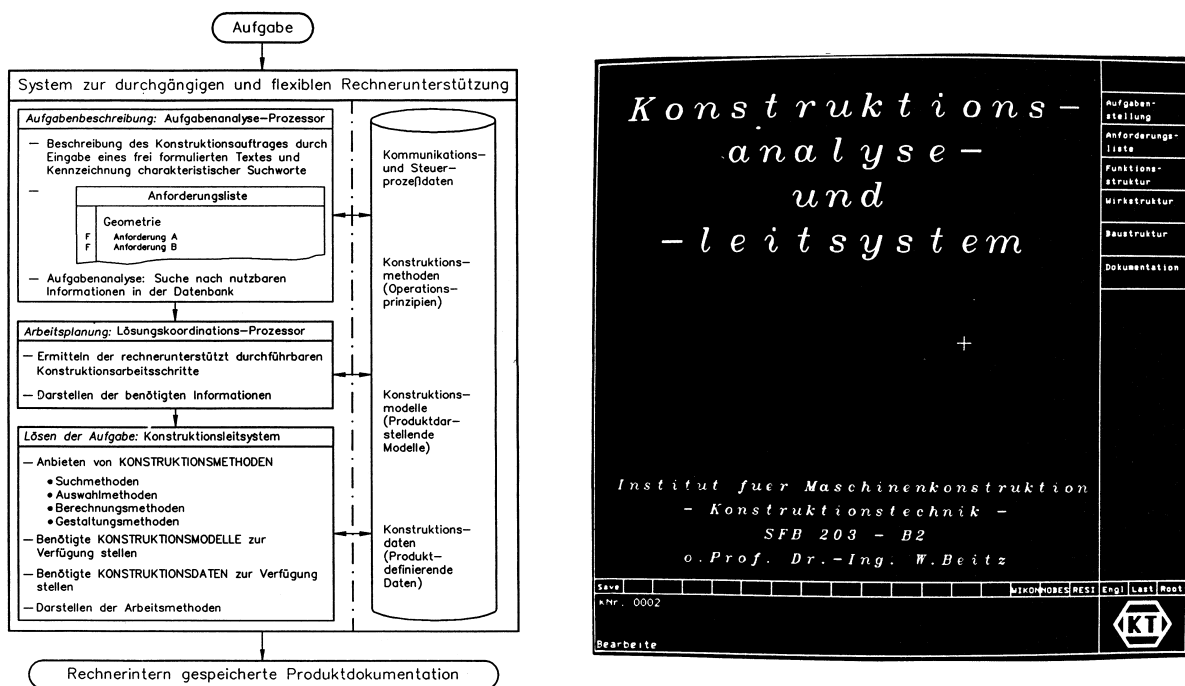


Bild 1: Links: Die KALEIT zugrundeliegende Struktur eines Systems zur durchgängigen Rechnerunterstützung des Konstruktionsprozesses. Rechts: Eingangsbildschirm von KALEIT

Bild 2 zeigt die einzelnen Softwarekomponenten des KALEIT-Systems. Die *konstruktionsprozessbezogenen* Module kommen während des Konstruktionsablaufes zum Einsatz, der sich nach der VDI-Richtlinie 2221 richtet. Zu den *konstruktionsprozessunabhängigen* Modulen, die konstruktionsphasenübergreifend konsultiert werden können, gehört neben anderen das WIKON-System (Wissensverarbeitung in der Konstruktion [3]).

WIKON ist ein in Prolog geschriebenes wissensbasiertes System, das es dem Konstrukteur gestattet, Konstruktionswissen strukturiert abzulegen um es zu einem späteren Zeitpunkt wieder abzufragen. Die Abfrage gestaltet sich derart, dass der Benutzer als ersten Schritt einen Wissensbereich auswählt (z.B. „Energiespeicher“ oder „Welle_Nabe_Verbindungen“), woraufhin in weiteren Konsultationsabschnitten bestimmte Kriterien so weit eingeschränkt werden (z.B. „Welle_Nabe_Verbindungen“ → „Wirkschluss = Reibschluss“), bis eine überschaubare Anzahl geeigneter Maschinenelemente oder Normen übrig bleibt.

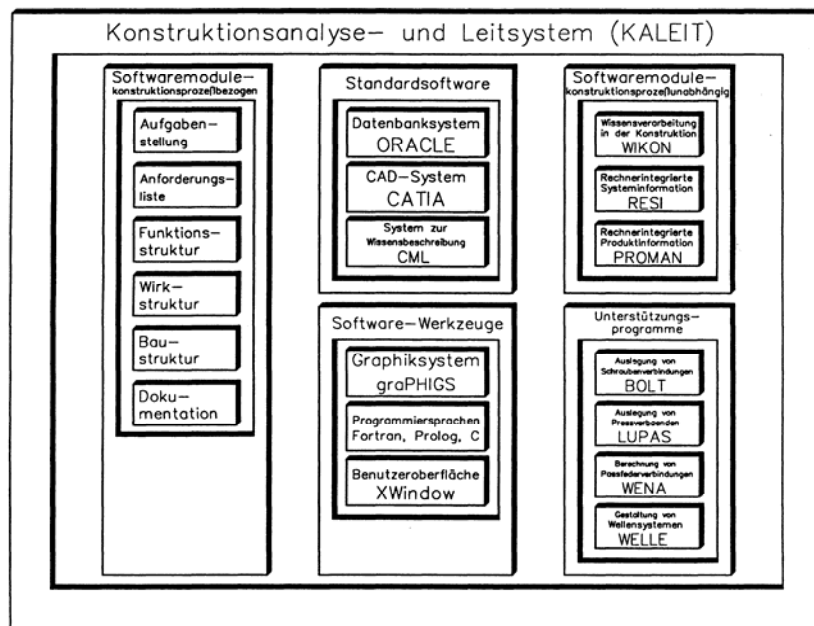


Bild 2: Softwarekomponenten des KALEIT-Systems

2 Analyse der augenblicklichen Situation

2.1 Stand der Forschung

Die Arbeiten am KALEIT-Projekt, die bis in die frühen neunziger Jahre reichten, müssen eher als Grundlagenforschung angesehen werden. Obwohl viele Probleme nicht zufriedenstellend bzw. praxisgerecht gelöst werden konnten, wobei der damalige Entwicklungsstand der verfügbaren Hard- und Software sicherlich eine Rolle gespielt hat, wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen, beispielsweise die Bedeutung integrierter Produktmodelle betreffend.

Der Gedanke der Algorithmierbarkeit des Konstruierens, wie ihn beispielsweise Koller in den siebziger Jahren vertrat, zielte darauf ab, den Weg für einen verstärkten Rechnereinsatz zu ebnen [1], gilt heute jedoch weitgehend als verworfen. Das damit verbundene Konzept der methodischen Leitung des Konstrukteurs durch ein Rechnersystem ist ebenso überholt. Neuere Ansätze für durchgängig rechnergestützte Konstruktionsprozesse stehen unter den Gesichtspunkten „Integration von Gestaltung und Berechnung“ sowie „Produktdaten- und Wissensmanagement“. Das Entwicklungsleitsystem ELEIT beispielsweise verwirklicht ein Konzept zur Unterstützung des Produktentwicklers bei dessen Haupttätigkeiten – dem Generieren und Suchen nach Information [9]. Dieses in der Abschlussphase befindliche Forschungsvorhaben kombiniert Methoden der Konstruktionslehre mit arbeitswissenschaftlichen Gesichtspunkten der kognitiven Modellierung und Softwareergonomie.

Eine Aufstellung derzeitig ansonsten verfügbarer Systeme gibt Dyla [2]. Er nimmt dabei eine Unterteilung in *methoden-* und *objektorientierte Ansätze* vor. Während die methodenorientierten Systeme, zu denen er beispielsweise *mfk* von Meerkamm oder *INKA*, den Integrierten Konstruktionsarbeitsplatz von Ehrlenspiel und Lindemann zählt, von vornherein eine möglichst allgemeine, produktunabhängige Anwendung ermöglichen sollen, wird mit dem objektorientierten Ansatz der umgekehrte Weg beschritten. Derartige Systeme sind zunächst auf spezielle Produkte oder Produktgruppen zugeschnitten, sollen jedoch mittelfristig eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Bereiche zulassen. Ein Beispiel für ein solches System ist die Entwicklungsumgebung Mechatronik EUMECH von Gausemeier und Lückel.

2.2 Stand der Technik

Die heutige Konstruktionspraxis ist durch den Einsatz parametrischer 3D-CAD-Programme wie Pro/ENGINEER, CATIA oder SolidWorks geprägt, um nur einige zu nennen. Als Plattform hat hierbei der Windows-PC im Vergleich zur UNIX-Workstation in den letzten zehn Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Portierungen leistungsfähiger CAD-Software für vergleichsweise preiswerte und standardisierte PC-Hardware haben es auch kleinen und mittleren Betrieben ermöglicht, diese Technologie zu nutzen, und ihr dadurch endgültig zum Durchbruch verholfen. Gleichzeitig stehen immer leistungsfähigere Anwendungen zur Berechnung und Simulation zur Verfügung. Der zunehmende Grad der Rechnernetzung erleichtert das (räumlich) verteilte Arbeiten mehrerer Entwickler an der selben Konstruktion.

Der programmübergreifende Datenaustausch wird jedoch nach wie vor dadurch behindert, dass sich die Softwarehersteller bislang nicht entschließen konnten, ihre proprietären Dateiformate zugunsten offener Standards wie STEP, ACIS oder SAT aufzugeben. Zwar bieten die meisten Programme Schnittstellen für zumindest eines dieser Formate, ein ständiger Im- und Export von Daten erweist sich jedoch als wenig praktikabel.

Die Softwareindustrie hat hier eine Situation geschaffen, die sie dadurch zu ihrem Vorteil nutzt, indem sie leichter Komplettlösungen eines Herstellers anbieten kann. Anwendungen für Bewegungs- und FEM-Analysen, Produktdaten- und Projektmanagement, sowie zahlreiche produktspezifische Erweiterungen ergänzen heute Programme, die ursprünglich ein rein geometrisches Produktmodell abbildeten und die für sich allein betrachtet dem Anwender den durchgängig rechnergestützten Konstruktionsprozess schon ein gutes Stück näher gebracht haben (Bauteilverwaltung bis hin zur Stücklistenstellung, Zugriff auf Norm- und Zukaufteile, automatisierte Erstellung von Fertigungszeichnungen, usw.).

Die Produktpolitik der Firma PTC, Hersteller von Pro/ENGINEER, ist ein guter Beleg für diese Entwicklung

2.3 Schlussfolgerungen

Eine der wichtigsten Erkenntnisse aus dem KALEIT-Projekt besteht darin, dass eine sinnvolle, situationsabhängige methodische Leitung des Konstrukteurs durch eine Software nicht zu realisieren ist – zumindest nicht auf Modellen von Konstruktionsprozessen basierend, die die Produktentstehung auf eine Aneinanderreihung von Operationen auf produktdefinierende Daten reduzieren [5]. Dieser Argumentation folgt beispielsweise Weigt [8].

Zwar mögen viele Ansätze von vor 15 Jahren teils unausgereift, teils sogar naiv erscheinen, doch muss man diese gewissermaßen im „historischen Kontext“ einer Zeit sehen, in der Online-Hilfen, Zwischenablagen, Multitasking und das Internet alles andere als selbstverständlich waren. Gleichzeitig hat die breite Verfügbarkeit dieser Technologien dafür gesorgt, dass viele der Gründe, die seinerzeit für Konstruktionsleitsysteme sprachen, nicht mehr aktuell sind. Es kann daher argumentiert werden, dass Konstruktionsleitsysteme heute weit verbreitet sind, jedoch nicht als solche wahrgenommen werden.

Eines der Hauptprobleme rechnergestützter Konstruktionsprozesse ist hingegen bis heute nicht zufriedenstellend gelöst worden: die Durchgängigkeit der produktbeschreibenden Daten und der darauf zugreifenden Anwendungen. Zwar herrscht seitens der Forschung kein Mangel an Lösungskonzepten, doch konnten davon kaum welche vermarktungsfähig umgesetzt werden.

3 Konzept eines Konstruktionsunterstützungssystems für die demontagegerechte Produktentwicklung

Ziel des Sonderforschungsbereichs 281 ist es, Voraussetzungen zu schaffen, den gegenwärtigen Übergang von einer Quelle-Senke- zu einer Kreislaufwirtschaft zu beschleunigen [7]. In diesem künftigen Umfeld sind die Recycling- und damit verbunden die Demontageeigenschaften von Produkten für deren Marktfähigkeit von entscheidender Bedeutung.

Bei deren Entwicklung erhält der Konstrukteur methodische Unterstützung durch zahlreiche Gestaltungsregeln für die Gestaltungsziele „Recycling-“ bzw. „Demontagegerecht“. Die Herausforderung besteht darin, diese Ziele mit klassischen Gestaltungszielen wie z.B. Funktion, Qualität, Fertigung oder Kosten zu vereinbaren. Darüber hinaus ist umfangreiches Wissen über Werkstoffe, Demontage- und Recyclingverfahren sowie über Verbindungselemente (die wesentlich die Baustruktur beeinflussen) nötig. Wesentliches Ziel des zur Zeit entwickelten Konstruktionsunterstützungssystems ist es, diesbezügliche Informationen – auch situationsgerecht – zur Verfügung zu stellen.

Obwohl umfangreiche Vorarbeiten auf dem Gebiet der Konstruktionsmethodik demontagegerechter Produkte geleistet worden sind, war von vornherein beabsichtigt, nicht erneut den Fehler zu begehen, diese Methodik rechnerisch abzubilden. Der Begriff „Konstruktionsleitsystem“ wird daher bewusst vermieden.

Die augenblickliche Arbeit an einem Konstruktionsunterstützungssystem konzentriert sich vor allem auf die im Folgenden begründete Entwicklung eines partiellen Produktmodells mit dem in 3.2 vorgestellten Informationssystem als eine Schnittstelle zum Konstrukteur.

3.1 Datentechnische Implementierung eines partiellen Produktmodells

Um sich nahtlos in einen durchgängig rechnerbasierten Konstruktionsprozess einzugliedern, ist es für ein Konstruktionsunterstützungssystem zweckmäßig, auf die vorhandene Produktdatenbasis zuzugreifen. Wie bereits dargelegt, repräsentieren diese produktbeschreibenden Daten in der Regel jedoch kein einheitliches Produktmodell, wobei kein Produktmodell die Belange der Demontage und des Recyclings in ausreichendem Maße mit berücksichtigt.

Das konzipierte partielle Produktmodell soll diese Anforderung erfüllen, indem es diesbezüglich relevante Informationen abbildet. Diese umfassen hauptsächlich:

- verwendete Werkstoffe,
- verwendete Verbindungstechniken sowie
- Baustrukturen.

Das Produktmodell wird deshalb als partiell bezeichnet, weil es als Teil eines Konzeptes eines offenen Gesamtproduktmodells angelegt ist, das es später ermöglichen soll, alle Sichten des Produkts zu vereinen. Bei der datentechnischen Umsetzung dieses Gesamtproduktmodells werden vorhandene Standards, insbesondere STEP, berücksichtigt.

Im Laufe der Arbeiten im Sonderforschungsbereich sind bereits einige Softwarewerkzeuge entstanden, die den Konstrukteur bei der Entwicklung demontagegerechter Produkte unterstützen und in das Gesamtsystem integriert werden sollen. Dennoch wird die Güte des Produktmodells im Zweifel Vorrang vor der Kompatibilität mit diesen Anwendungen haben. Anhand der verwendeten CAD-Software Pro/ENGINEER wird untersucht, inwieweit ein Ge-

samtproduktmodell, das auf Standarddatenaustauschformaten wie beispielsweise STEP beruht, geeignet ist, ein demontageorientiertes Partialproduktmodell aufzunehmen.

3.2 Informationssystem

Das Informationssystem wird dazu dienen, den Konstrukteur mit allen für die Produktentwicklung relevanten Information zu versorgen – insbesondere unter Demontage- und Recyclinggesichtspunkten. Die Systemstruktur geht aus

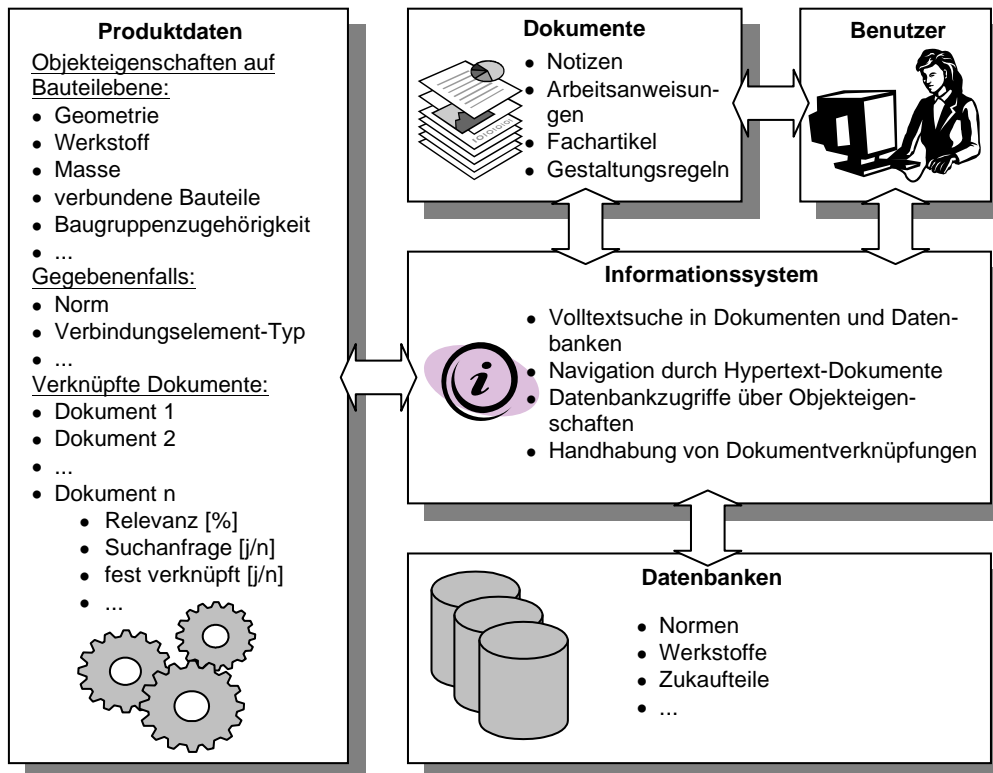


Bild 3 hervor.

Dem Konzept von ELEIT folgend, sind die Informationen in einem dreidimensionalen Datenraum abgelegt; vereinfacht bedeutet dies, dass sie nach den Kriterien *Abstraktion*, *Detailierung* und *Zeit* klassifiziert sind. Neben Hypertext-Navigation und Volltextsuche ist vor allem der produktstrukturorientierte Zugriff auf diese Daten vorgesehen. Dabei wird das Kriterium *Detailierung* durch das jeweils betrachtete Bauteil bzw. Baugruppe bestimmt.

Auf diese Weise wird eine Beziehung zwischen den durch das Produktmodell bestimmten Produktdaten und der Datenbasis des Informationssystems hergestellt. Diese Datenbasis kann aus unterschiedlichen Datenbanken für Normen, Werkstoffe und Zukaufteile, aber auch aus beliebigen Einzeldokumenten bestehen (Notizen, Tabellen, Fachartikel, usw.).

Der Zugriff auf die Informationen der Datenbasis erfolgt entweder *statisch* über objektspezifische Eigenschaftsgrößen, wie Werkstoff, Norm oder Teilenummer (bei Zukaufteilen) oder *dynamisch* über Verknüpfungsinformationen, die nachträglich dem Objekt zugefügt wurden. Letztere Art des Zugriffs kommt insbesondere für besagte Einzeldokumente in Betracht.

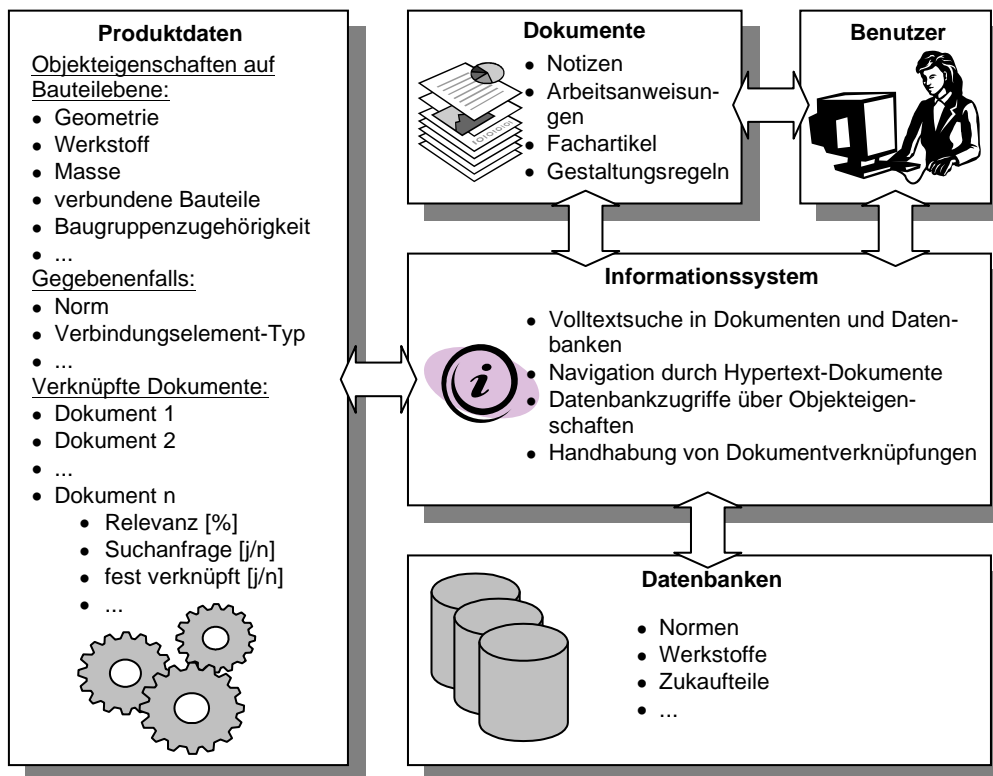


Bild 3: Systemstruktur des Informationssystems

Verknüpfungsinformationen können beispielsweise dadurch generiert werden, indem das System registriert, welche der von einer Suchanfrage zurück gelieferten Informationen tatsächlich vom Benutzer aufgerufen werden. Wird das selbe Objekt zu einem späteren Zeitpunkt von anderen Benutzern bearbeitet, sehen diese sofort, welche Informationen bereits durch frühere Benutzer als relevant erachtet worden sind. Dieses Verfahren lässt sich dadurch noch erweitern, indem jeder Benutzer nach Aufruf eines Dokuments entscheiden kann, ob die darin enthaltene Information in Zusammenhang mit dem zur Zeit bearbeiteten Objekt hilfreich ist, oder nicht. Auf diese Weise erhält mit der Zeit jedes Dokument eine prozentuale Angabe der Relevanz.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Rechnergestützte Systeme, die Konstrukteure situationsabhängig methodisch leiten sollten, haben nie einen Entwicklungsstand erreicht, bei dem ein sinnvoller Einsatz in der Praxis lediglich von der Akzeptanz der Benutzer abhängig gewesen wäre. Die früh erkannte Problematik eines durch rechnergestützte Insellösungen verursachten inkonsistenten Produktmodells ist jedoch nach wie vor aktuell. Die zur Zeit im Sonderforschungsbereich 281 durchgeführten Arbeiten an einem Konstruktionsunterstützungssystem für die Entwicklung demontagerechter Produkte greifen an diesem Punkt an, indem auf ein offenes, partielles Produktmodell gebaut wird, das durch Industriestandards gestützt ist. Die Leistungsfähigkeit dieses partiellen Produktmodells soll sich dadurch beweisen, indem sowohl existierende Standardanwendungen als auch ein augenblicklich entwickeltes Informationssystem auf die selben Produktdaten zugreifen können.

Das Informationssystem verfolgt einen ähnlichen Ansatz wie ELEIT [9], erweitert das Konzept jedoch um zwei wesentliche Gesichtspunkte. Zum einen steht die enge Kopplung mit dem Produktmodell im Vordergrund, zum anderen der Aspekt, wie die Möglichkeiten des

verteilten Arbeitens nutzbar gemacht werden können. Kommerziell verfügbare „Komplettlösungen“, die den Anspruch erheben, eine durchgängig rechnergestützte Produktentwicklung zu ermöglichen, zeigen (unabhängig davon, ob sie diesem Anspruch gerecht werden) die Bedeutung, die mittlerweile auch die Softwareindustrie einer Rechnerunterstützung beimisst, die über die reine Geometriemodellierung hinaus geht.

So ist unter Umständen absehbar, dass sich die Softwarehersteller zur treibenden Kraft bei der Gestaltung durchgängig rechnergestützter Produktentwicklungsprozesse entwickeln. Diese Tendenz darf auf keinen Fall unkritisch beurteilt werden, da die Vergangenheit gezeigt hat, dass weit verbreitete Softwarelösungen keineswegs für Qualität bürgen und oft bessere Konzepte allein dadurch verdrängen, dass ein Hersteller allein einen Quasi-Standard geschaffen hat.

Um dieser Entwicklung rechtzeitig entgegen zu wirken, muss der Schaffung eines Standards, der

- *leistungsfähig, offen, produktunabhängig, sowie erweiterbar*

ist, höchste Priorität beigemessen werden – eine Herausforderung, die nach einer Zusammenarbeit von Forschung und Industrie verlangt.

5 Literatur

- [1] Pahl G., Beitz W.: Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen. Springer-Verlag, Berlin 1997
- [2] Dyla, A.: Modell einer durchgängig rechnerbasierten Produktentwicklung. Dissertation an der Technischen Universität München, 2002
- [3] Groeger, B.: Die Einbeziehung der Wissensverarbeitung in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozeß. Schriftenreihe Konstruktionstechnik, Band 23, Berlin 1992
- [4] Beitz, W.: Konstruktionsleitsystem als Integrationshilfe, in: Rechnerunterstützte Produktentwicklung – Integration von Konstruktionsmethodik und Rechnereinsatz (S. 181 – 201), VDI-Berichte 812, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1990
- [5] Feldhusen, J.: Durchgängige und flexible Rechnerunterstützung in der Konstruktion, in: Konstruktion (41. Jhrg., S. 47 – 56), Springer-Verlag, Berlin, 1989
- [6] Sonderforschungsbereich 203: Rechnerunterstützte Konstruktionsmodelle im Maschinenwesen, Abschlußbericht, Technische Universität Berlin, 1992
- [7] Sonderforschungsbereich 281: Demontagefabriken zur Rückgewinnung von Ressourcen in Produkt- und Materialkreisläufen, Teilprojekt D2, Finanzierungsantrag 2001-2003, Technische Universität Berlin
- [8] Weigt, M.: Analyse wissenschaftlicher Ansätze zur Unterstützung der Arbeit des Konstrukteurs in Bezug auf die Möglichkeit ihrer rechnerischen Umsetzung. Diplomarbeit an der Technischen Universität Berlin, 2001
- [9] Düsselmann, S., Ahrens, G.: A Concept for the Support of an Efficient Search for Product Data. Proceedings zu „Design Engineering Technical Conferences and CIE“ (S. 21234), ASME, Pittsburgh, 2001

Dipl.-Ing. Bruno Gries

Fachgebiet Konstruktionstechnik und Entwicklungsmethodik, Technische Universität Berlin

Sekretariat H10, Straße des 17. Juni 135 - D-10623 Berlin

Tel: +49-30-314-23161; Fax: +49-30-314-26481

Email: gries@ktem.tu-berlin.de; URL: <http://www.ktem.tu-berlin.de>