Kooperative Anlagenplanung durch integrierte Modellbeschreibung*

Olaf Wolter, Ulf Böger
Institut für Förder- und Baumaschinentechnik, Stahlbau, Logistik (IFSL)
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
PSF 4120 - D-39016 Magdeburg
Email: {olaf.wolter|ulf.boeger}@mb.uni-magdeburg.de

Kurzfassung

Die hohen Erwartungen bzgl. einer rechnerunterstützten Gestaltung durchgängig kooperativer Modellentwicklungen materialflußtechnischer Anlagen konnten bisher nur z. T. eingelöst werden. Integrationsfähige Lösungen erfordern eine realitätsnahe, ganzheitliche Sicht auf den Planungsgegenstand. Integrierte Beschreibungsformen können hier eine effiziente und konsistente Modellabbildung anwendungsspezifischer Planungsdaten ermöglichen.
Im Rahmen des Beitrages wird anhand der Domäne „Planung von Materialflußanlagen“ vorgestellt, wie werkzeugabhängige Planungsdaten für z. B. CAD, Prozeßsimulation und -animation zur kooperativen Modellierung durch eine integrierte Modellbeschreibung verknüpft werden. Eine derartige gemeinsame Modellbeschreibung erleichtert eine Daten- und Ablaufintegration über den Konfigurierungsprozeß der Materialflußplanung.

1 Einführung

Die Planung von Materialflußanlagen ist eine Problemstellung der industriellen Praxis, in der kooperative Modellierungsprozesse den Anlagenentwurf vorantreiben. Der Planungsprozeß umschließt u. a. Aufgaben der Anlagenprojektierung, Prozeß- und Bewegungssimulation, Prozeßanimation sowie des Steuerungsentwurfs zur Entwicklung des Materialflußsystems und des Materialflußprozesses. Das Planungsproblem besteht darin, eine Materialflußanlage zu spezifizieren, die eine gestellte materialflußtechnische Aufgabenstellung erfüllt (z. B. eine Stückgutsortierung von Paketen mit bestimmtem Paketdurchsatz und Sortierkriterien – vgl. Abbildung 1). Die Vorgaben der Planung sind dabei neben der technischen Spezifikation des Materialflußgutes, der Systemlast und Problemstellung auch Zielvorgaben (z. B. gewünschte Ausbringung), die erfüllt werden müssen, und sonstige Randbedingungen (insbesondere Restriktionen – z. B. Gebäudevorgaben), die nicht verletzt werden dürfen.

Der Problemlösungsprozeß bei der Planung von Materialflußanlagen wird als evolutionärer, mehrdeutiger, sehr komplexer und iterativer Prozeß mit Stufen- und Schleifen-, Varianten- und Versionenentwicklung und als Fortschreiten vom Ganzen zum Detail charakterisiert. Im Mittelpunkt des Prozesses steht die Modellierung verschiedener Modellwelten (Funktionsmodell, Funktionsträgermodell und Systemgestaltmodell). Das Materialflußsystem (Abbildung 1) und der Materialflußprozeß werden zeitparallel geplant, da ein wechselseitiger Einfluß besteht. Dabei müssen Aufgaben des technischen Systems und Prozesses erfüllt werden und die Modelle bzw. Teilmodelle überführbar und kombinierbar sein. Bei der Entwicklung von Lösungen wechseln sich analysierende Arbeitsschritte mit schöpferischen, synthetisierenden Arbeitsschritten ab, die eine geeignete Kooperation erfordern.

* Teile der in diesem Beitrag dargestellten Arbeiten werden vom Land Sachsen-Anhalt im Rahmen der Vorhaben 1969A/025 und 1957A/025 gefördert.

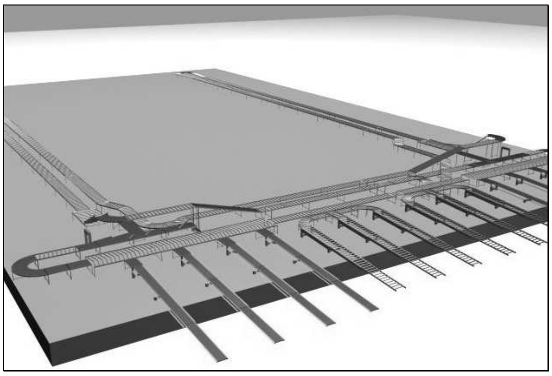

Abbildung 1: Übersichtsmodell einer Stückgutsortieranlage für einen Paketdienst

Die Stufen des Planungsprozesses bilden sich in aufeinander aufbauende Modelle von unterschiedlicher Granularität ab, die eine Assoziation mit der Aufbaustruktur des Systems (Stückliste) aufweisen. Das Modell (die Materialflußanlage) wird im vorliegenden Kontext als System fördertechnischer Ausrüstungen (Modellelemente) beschrieben. Untergeordnete Baugruppen und Einzelteile werden über Merkmalsbeschreibungen dem Modellelement zugeordnet.

2 Problembereich

Gegenwärtig werden in der Anlagenplanung unterschiedliche Werkzeuge eingesetzt, die die Layoutentwicklung, Dokumentationserstellung, CAD-Konstruktion und CAD-Projektierung sowie Prozeßsimulation und -animation unterstützen. Trotz teilweise integrativer Techniken fehlt die Möglichkeit der integrierten und kooperativen Nutzung wesentlicher Werkzeuge im Planungsprozeß. Aktuelle Forschungsarbeiten beziehen sich schwerpunktmäßig auf integrierte, proprietäre Konstruktionssysteme (vgl. z. B. [Fel89, Wei91, Rud91, Sch96]), die nur den konstruktiven Teil der Planung oder besser den Entwurf von Baugruppen und Einzelteilen unterstützen. Vielversprechendere Integrationsansätze finden sich im Umfeld der Entwicklung offener Systeme (integrierte Ingenieursysteme, Frameworks) (vgl. z. B. [CD91, RS92, Göe93, Abe95, GHS96, JKQS96, PSK96, ADJP97, BBK97, ERW97, RM97]) und anwendungsübergreifender Produktmodelle (vgl. z. B. [Pät91, GAP93, KCR+94, MS94, Gen95, Rad95]). Diese Ansätze beziehen sich jedoch ebenfalls vorrangig auf das Anwendungsfeld Konstruktion und lassen somit Aspekte des technischen Prozesses und speziell des Zusammenhangs technisches System und Prozeß unberücksichtigt, wie sie in der Anlagenplanung zu finden sind. Darüber hinaus basieren die meisten Integrationsansätze auf dem a-priori-Ansatz, bei dem neue Umgebungen aus speziell für die Integration entwickelten Systemen zusammengefügt werden. Gegenwärtig existiert in den Unternehmen eine andere Werkzeugbasis, die sich bereits mehr oder minder bewährt hat, so daß geeignete a-posteriori-Ansätze gesucht sind. Weitere Arbeiten beschäftigen sich mit der Integration unterschiedlicher Aspekte der Planungsproblematik und –methoden betreffs der Auslegung und Optimierung von Produktionssystemen mit Abgrenzung auf Fertigungs- und Montageanlagenplanung sowie Kombination von CAD (Projektierung auch in einfachen Funktionsmodellen – Layoutplanung), Simulation und Aktionsplanung (Herstellungsprozeß) (vgl. z. B. [HH90, Lan93, Had95, GKNO96, KVK96]).

Schwachstellen der obigen Ansätze lassen sich, wie auch in der Charakteristik von Bullinger [BMG93] zur Fertigungskonstruktion ausgeführt, vor allem in Bezug auf eine fehlende planungsphasenbezogene Differenzierung und Hierarchisierung der Informationen, einer unzureichenden Versionen-, Varianten- und Historienverwaltung und einer fehlenden erkenntniszielorientierten Vorgehensweise finden.

Ein entscheidendes Anwenderkriterium für zukünftige Integrationsätze von Ingenieursystemen bildet die Berücksichtigung, daß der Planungsablauf nur selten im voraus in Form einer festen Kopplung von Planungsmethoden und Modellwelten definiert werden kann. Die Wahl der Methoden hängt vielmehr von der erreichten Planungsphase, dem Planungsstand, den verfügbaren Daten, dem Informationsumfang, der -tiefe und des -inhalts [BMG93] sowie vom beabsichtigten nächsten Problemlösungsschritt und dem damit verbundenen Erkenntnisziel ab. Dies bedeutet auch, daß die Modellnutzung in Abhängigkeit vom notwendigen Kontext des Werkzeuges erfolgt. Hierzu müssen die notwendigen Modellaspekte spezifiziert und zur Verfügung gestellt werden. Zum Ausdruck kommt dies darin, daß Planungswerkzeuge unterschiedliche Schwerpunkte auf die Modelle setzen und dabei ausgewählte Partialmodelldaten nutzen.

3 Kooperative Modellentwicklung

3.1 Einführung

Konventionelle Vorgehensweisen, wie das methodische Entwickeln von Lösungsprinzipien (vgl. [VDI96]), müssen mit den zu nutzenden informationstechnisch basierten Planungswerkzeugen verbunden und aufeinander abgestimmt werden, um das Planungsgeschehen logisch konsistent zu halten. Das betrifft sowohl die Funktionalität der einzelnen Planungswerkzeuge als auch den Umfang diskreter, lokal durchzuführender Planungsschritte. Sinnvoll erscheint es, für bestimmte Planungsaufgaben anwendungsspezifische Modellsichten zu definieren, die effiziente Kontrollroutinen zur Konsistenzsicherung und Fortschrittskontrolle zulassen. Partialmodelle wie das Aufbau-, das Ablauf- oder das Kinematikmodell, mit denen die prinzipielle Lösung der Planungsaufgabe beschrieben wird, eignen sich hierfür besonders gut [RW97].

3.2 Planungsszenarium

Als typisches Planungsszenarium wird die schrittweise Entwicklung funktionsfähiger, virtueller Prototypen einer Materialflußanlage (Planungsvarianten), z. B. für Sortieranlagen, mit ausgewählten Werkzeugen zur Modellierung und Analyse mechanischer Baugruppen, Komponenten und Ausrüstungen (Gestalt, Kinematik) und der darauf ablaufenden logistischen Prozesse (Auftragseinlastung, Steuerung, Material- und Informationsflüsse) zugrunde gelegt (Abbildung 2). Der entstehende virtuelle Prototyp der materialflußtechnischen Anlage soll das Materialflußsystem (Gestaltmodell und Kinematikmodell) sowie den Materialflußprozeß (Steuerungsmodell und Flußmodell) repräsentieren und die Aufbaustruktur des Systems (Stückliste) liefern.

Hierzu werden heterogene Planungsumgebungen aus dem Bereich CAD, Simulation und Animation (z. B. VRML-Prototypen-Bibliothek) rechentechnisch für ein kooperatives Modellieren durch eine integrierte Modellbeschreibung gekoppelt.

Mit Hilfe des CAD-Werkzeuges wird die geometrische Gestalt des technischen Systems in statischer Sicht entwickelt und in Form von geometrischen Beschreibungen der Bausteine (Formen, Konturen, Koppelpunkte, Bewegungsbahnen, ...) abgelegt [ZRW96]. Die im Anfangsstadium der Layoutplanung zu definierenden Systemlinien für die Auswahl, Dimensionierung und Positionierung von Fördermitteln sind planungsmethodisch kinematischen Ketten zur Beschreibung der Gutbewegung gleichzusetzen. Der weitere Aufbau des Gestaltmodells orientiert sich an diesen Bewegungslinien. Für die Steuerungsspezifikation übernimmt der Layoutentwurf die Positionierung von steuerungstechnischen Elementen auf den Bewegungslinien. Die Positionierung von Relativlagen des Gutes (oder des Fördermittels) auf der Förderstrecke erlaubt eine Visualisierung von einzuhaltenden Freiräumen im CAD-Layout. Die technischen Parameter des Kinematikmodells dienen direkt der Auswahl von technischen Baugruppen und Ausrüstungen.

Simulations- und Animationssysteme helfen, funktionale und dynamische Sichten auf die Struktur und Parameter technischer Systeme zu definieren und zu beurteilen (Abbildung 2).

Mit der geometrisch definierten kinematischen Kette werden nach Festlegung der bewegungscharakteristischen Kennwerte mit Kinemationswerkzeugen Bewegungssimulationen durchgeführt, die Geschwindigeits- und Beschleunigungsanalysen, aber auch Untersuchungen zur Geometrie (Kollision) und Belastung (Verformung) einzelner Körper (Glieder) der kinematischen Kette ermöglichen. Die Ergebnispräsentation konzentriert sich in Kinematikmodulen auf die Visualisierung von Bewegungsparametern in der fördertechnischen Baugruppe bzw. auf das Zusammenwirken von Fördermitteln im materialflußtechnischen Prozeß. Die Verwendung materialflußkinematisch sinnvoller Gelenkdefinitionen erlaubt derartige Analysen auf beliebigen Abstraktionsebenen. Die im Layoutentwurf positionierten Steuerungselemente werden zusammen mit den Steuerungsstrategien u. a. zur Bewegungssimulation zeitlich versetzter Bewegungsabläufe von Gütern genutzt. Dazu notwendige prozeßcharakteristische Kennwerte werden im Dialog eingegeben, aber auch der Steuerungslogik oder aus Ereignislisten entnommen.

Animationssysteme, die auf eine möglichst naturgetreue Präsentation von Prozeßabläufen orientiert waren, integrieren zunehmend physikalisch-technische Gesetzmäßigkeiten in ihre Modellbausteine zur realistischen Darstellung bausteinbezogener, lokaler Bewegungsabläufe.

Die Visualisierung von kinematisch realistischen Prozeßabläufen auf einem 3D-Gestaltmodell wird sich zum Normalfall in der Präsentation des technischen Angebotes entwickeln (siehe hierzu [ZLR97, WRH97]).

Für die Bestimmung der Verweilzeiten von Gütern auf oder in Fördermitteln werden kinematische Ersatzmodelle verwendet, die auf Geometriedaten und technische Parameter der jeweiligen Fördermittelklasse zugreifen. Aus kinematischer Sicht bestimmt die Prozeßablaufsteuerung die notwendigen Zwangsbedingungen für die Erzeugung einer definierten Gutbewegung auf einem bestimmten Abstraktionsniveau. Die Materialflußsimulation erzeugt mit der Abbildung dynamischer materialflußtechnischer Prozesse zeitabhängig stellenbezogene Relativlagen materialflußtechnischer Objekte, die dem Animationssystem als Ereignisliste zur Visualisierung des Prozesses zur Verfügung gestellt werden.

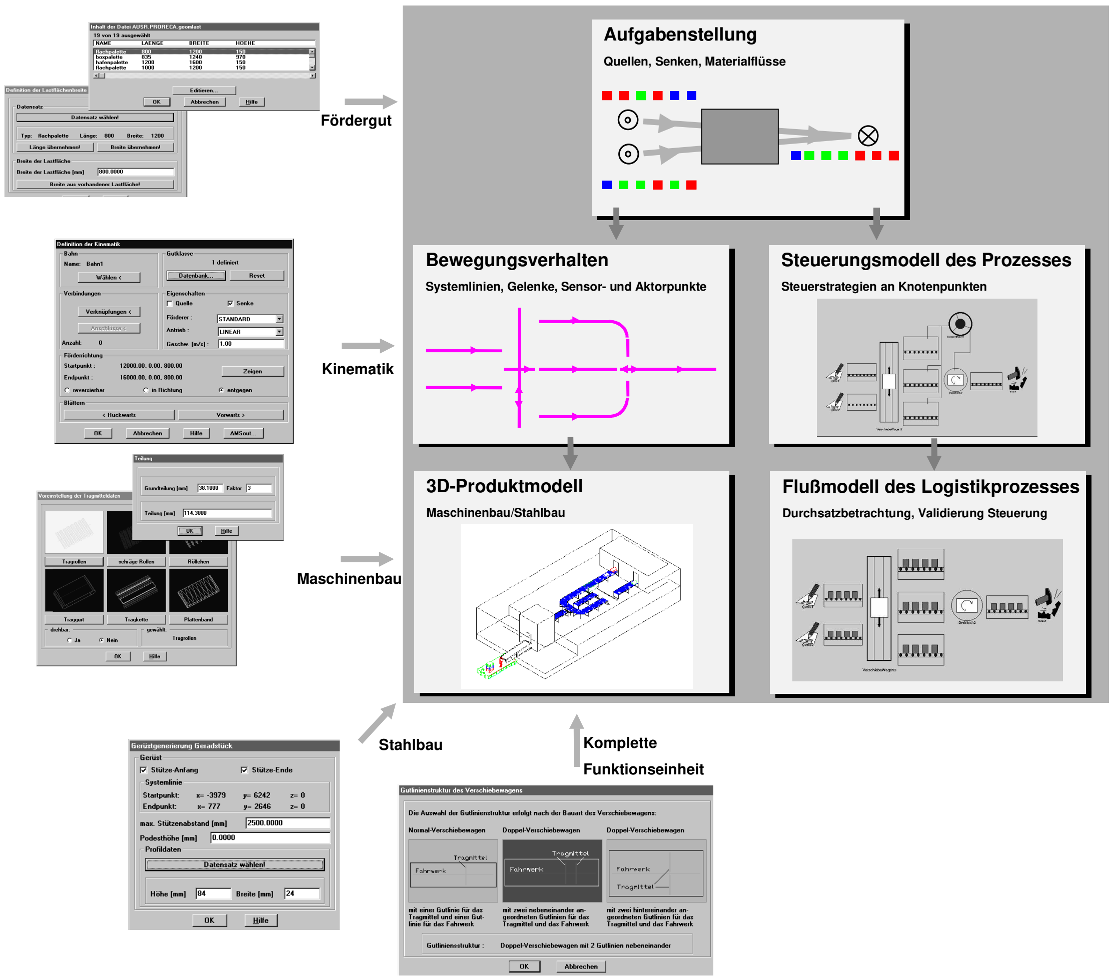

Abbildung 2: Planungsphasen von Materialflußanlagen mit Focus auf die CAD-Projektierung

3.3 Kommunikation der Werkzeuge

Die Kommunikation der Werkzeuge erfolgt durch eine gemeinsame Nutzung von Datenbereichen einer Datenbank und den Austausch von Daten über diesen Datenbereich. Im gemeinsamen Datenbereich werden werkzeugübergreifende Daten (globale Daten) abgelegt und mittels werkzeugorientierter Sichten recherchiert. Durch Mechanismen des Checkin und Checkout werden die Modelle in die Datenbank übertragen bzw. aus der Datenbank gelesen. Zur strukturierten Beschreibung der globalen Daten wurde ein anwendungsorientiertes Datenmodell entwicklet, das durch eine **A**bstrakte **M**odell**S**truktur (AMS) charakterisiert ist und die Schnittmenge gemeinsam genutzter Daten der Werkzeuge definiert (Abbildung 3).

AMS fokussiert auf die effiziente Verknüpfung von steuerungstechnischen, kinematischen und Gestaltinformationen zum effizienten Austausch von Modellen zwischen heterogenen Werkzeugen. Vergleiche mit STEP-10303/105 haben die Konformität in der Beschreibung der Datenstruktur zum Kinematikmodell bestätigt.

Hierdurch wird ein integratives Wechselspiel von Anforderungsbearbeitung, Produktstrukturierung sowie Funktions- und Lösungsfindung gewährleistet, das für einen effizienten und angepaßten Planungsprozeß ein unerläßliches Hilfsmittel darstellt.

Die spezifischen Vorteile der Integration über ein anwendungsorientiertes Datenmodell sind aus informationstechnischer Sicht

- Verbesserung des Zusammenspiels von Teillösungen unterschiedlicher Art (Material, Prozeß, Information, Organisation u. a.),
- Verbesserung der Datenkonsistenz und Reduzierung der Datenredundanz,
- höhere Transparenz der Modelle durch realitätsnahe, einheitliche Weltbeschreibungen (Meta-Modell) und Nutzung von Partialmodellen,
- Sicherung änderbarer und anwendungsgerechter Modelle nach einheitlichem Konzept,
- wahlfreie Zwecksichten auf Modelle und Integration der Planungsdatenbestände,
- Modifizierungen an Modellbeschreibungen im dafür geeigneten Planungswerkzeug und
- werkzeugübergreifende Visualisierung der Modellbeziehungen und Verarbeitungsresultate.

Die Planungswerkzeuge bearbeiten die im Laufe des Planungsprozesses entwickelten Modelle, indem sie auf die globalen Daten und auf die im anwendungsspezifischen Bereich lokal abgelegten Daten zugreifen. In den Werkzeugen existieren die im kooperativen Entwicklungsprozeß zu entwickelnden und zu untersuchenden anwendungsorientierten Modelle lokal und nebeneinander. Es liegt eine funktionale und datenorientierte Unabhängigkeit der Werkzeuge vor, so daß dort ständig strukturell vollständige Planungsmodelle vorhanden sind, die eine konsistente Weiterentwicklung der Lösung ermöglichen.

In Abhängigkeit vom Verarbeitungskontext werden die relevanten Daten, die durch Schemata beschrieben sind, aus dem globalen Datenbereich für den Entwicklungsprozeß im Planungswerkzeug bereitgestellt. Die Beziehungen zu den relevanten Datenstrukturen sind den Werkzeugen durch die Projektion der werkzeugorientierten Sichten auf das AMS bekannt und erlauben so eine effiziente Nutzung und Konsistenzsicherung (vgl. Abbildung 3).

Die Darstellung des Planungs- bzw. Lösungsprozesses erfolgt durch eine modellbasierte Elaboration der abstrakten Modelle des gemeinsamen Datenbereiches, die den Problemlösungsprozeß dokumentiert. Ausgehend von einem initialen Modell (Problembeschreibung) werden Modelltransformationen durch die Verwendung der Planungsmethoden erzielt. Die Elaboration bildet ein Netzwerk von Modellen und charakterisiert die unterschiedlichen Beziehungen zwischen Modellen auf verschiedenen Entwicklungs- und Abstraktionsebenen.

Vorzüge des kooperativen Ansatzes bilden neben der weiterhin bestehenden funktionalen und datenorientierten Unabhängigkeit der Werkzeuge (Kapselung), die Bereitstellung problemadäquater Methoden zur Datenmanipulation, die Austauschbarkeit von Datenbanken und die Offenheit des Ansatzes, der eine Integration weiterer Werkzeuge gestattet.

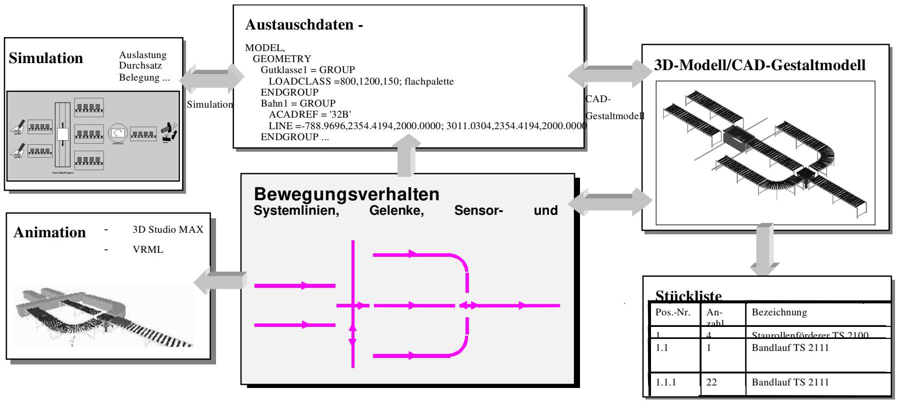

Abbildung 3: Modelldatenaustausch im kooperativen Entwicklungsprozeß

4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem vorgestellten Konzept werden Möglichkeiten des Zusammenspiels zwischen CAD-Projektierung, Materialflußsimulation und -animation für den Einsatz bei mittelständischen Systemanbietern der Branche Materialflußtechnik untersucht. Dazu muß die Funktionalität der Planungswerkzeuge teilweise erheblich erweitert werden, um planungsmethodische Zusammenhänge abbilden zu können. Die realisierten Softwaretools für die CAD-Projektierung haben gezeigt, daß planungsspezifische CAE-Applikationen die Funktionalität heutiger CAD-Systeme erheblich verbessern und auch frühe Phasen des Planungsprozesses in hoher Qualität unterstützen können. Im Bereich Logistik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg wird derzeit an der Weiterentwicklung von Methoden und Techniken zur ganzheitlichen Planung von Materialflußsystemen in der Angebotsprojektierung gearbeitet.

Erste Ansätze zur Integration heterogener Werkzeuge wie der CAD-Projektierung, Bewegungsanalyse und der Funktionsmodellierung werden gegenwärtig erarbeitet. Zukünftig sollen weitere planungsunterstützende Werkzeuge (z. B. Materialflußsimulation, VRML-Animation) und Office-Werkzeuge (z. B. Word, Excel) eingebunden werden. Weitere Arbeiten beschäftigen sich mit der Konzeption und Einbindung einer den Planungsvorgehensprozeß unterstützenden Komponente. Diese umfaßt Funktionen, die die Spezifikation von Planungsprozessen sowie die Führung der Benutzer im Vorgehensprozeß assistiert, wie es beipsielsweise bereits in Ansätzen des Designflow [NM97] zu finden ist. Dabei sind assistierende Problemlösungsmethoden nach [GKNO96] vorstellbar; Interpretation expliziten Problemlösungswissens, Elimination „fehlerhafter“ Planungsalternativen durch Prüfung von Konsistenzkriterien, Zuordnung spezifischer Bearbeitungsmethoden durch Zustandsanalyse der Lösung u. a.

Darüber hinaus werden Möglichkeiten des kooperativen Arbeitens im Anlagenentwicklungsprozeß, basierend auf Kommunikationsnetzwerken wie dem Internet erarbeitet.

5 Literatur

[Abe95] O. Abeln: CAD Referenzmodell. Stuttgart [u. a.]: Teubner, 1995.

[ADJP97] R. Anderl, B. Daum, H. John, C. Pütter: Architektur einer Konstruktionsumgebung für das rechnerunterstützte und kooperative Entwickeln umweltgerechter Produkte. In: Beiträge des Workshop Arbeitsplatzrechner-Integration zur Prozeßverbesserung im Rahmen der 27. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, 23. September 1997 in Aachen. Softwaretechnik-Trends, 17(3):5-8, 1997.

[BBK97] K. Bender, K. Bindbeutel, A. Karcher: Integration von Rechnerwerkzeugen der Produktentwicklung mit Rahmensystemen. In: Beiträge des Workshop Arbeitsplatzrechner-Integration zur Prozeßverbesserung im Rahmen der 27. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, 23. September 1997 in Aachen. Softwaretechnik-Trends, 17(3):9-12, 1997.

[BMG93] H.-J. Bullinger, F. Marcial, A. Gräble: Fertigungsgerecht konstruieren. In: ZwF Zeitung für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 88(5):215-217, 1993.

[CD91] J.S. Colton, J.L. Dascanio: An Integrated, Intelligent Design Environment. In: Engineering with Computers, (7):11-22, 1997.

[ERW97] W. Eversheim, P. Ritz, M. Walz: Integration von Anwendungssystemen in einer Engineering-Infrastruktur. In: Beiträge des Workshop Arbeitsplatzrechnerintegration zur Prozeßverbesserung im Rahmen der 27. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, 23. September 1997 in Aachen. Softwaretechnik-Trends, 17(3):35-38, 1997.

[ERW97] W. Eversheim, P. Ritz, M. Walz: Integration von Anwendungssystemen in einer Engineering-Infrastruktur. In: Beiträge des Workshop ArbeitsplatzrechnerIntegration zur Prozeßverbesserung im Rahmen der 27. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, 23. September 1997 in Aachen. Softwaretechnik-Trends, 17(3):35-38, 1997.

[Fel89] J. Feldhusen: Systemkonzept zur durchgängigen und flexiblen Rechnerunterstützung in der Konstruktion. Berlin, Technische Universität, Dissertation, 1989.

[GAP93] H. Grabowski, R. Anderl, A. Polly: Integriertes Produktmodell. Berlin: Beuth, 1993.

[Gen95] M. Genderka: Objektorientierte Methode zur Entwicklung von Produktmodellen als Basis integrierter Ingenieursysteme. Aachen: Shaker, 1995.

[GHS96] J. Gausemeier, A. Hahn, W. Schneider: Kooperatives Modellieren auf Basis transienter Objekte. In: D. Ruhland, Hrsg., Verteilte und intelligente CAD-Systeme: Tagungsband CAD '96; Kaiserslautern, 7./8. März 1996. Bonn: Ges. für Informatik; Kaiserslautern: Dt. Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, 1996, S. 311-325.

[GKNO96] P. Ganghoff, A. Köhne, G. Näger, U. Osmers: KNOSPE Ein unterstützendes Planungssystem für die integrierte Montagesystemplanung. In: Informatik, Forsch Entw., 11(1):37-43, 1996.

[Göe93] J. Göers: Ein neues Konzept zur integrierten CIM-Informationsverwaltung und seine Realisierung am Beispiel eines CADund Objektbanksystems. Aachen: Shaker, 1993.

[Had95] S. Hader: Einsatz von Simulation beim Konfigurieren. In: A. Günter, Hrsg., Wissensbasiertes Konfigurieren: Ergebnisse aus dem Projekt PROKON. Sankt Augustin: Infix, 1995, S. 229-235.

[HH90] V. Horn, J. Hein: Komplexe Produktionssysteme planen. In: ZwF Zeitung für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 85(6):300-304, 1990.

[JKQS96] U. Jasnoch, H. Kress, R. Quester, A. Stork: Eine plattformübergreifende Umgebung zur kooperativen Produktentwicklung. In: D. Ruhland, Hrsg., Verteilte und intelligente CAD-Systeme: Tagungsband CAD '96; Kaiserslautern, 7./8. März 1996. Bonn: Ges. für Informatik; Kaiserslautern: Dt. Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, 1996, S. 384-399.

[Joe97] G. Joeris: Characterization of Integrated Process and Product Management. In: Beiträge des Workshop Arbeitsplatzrechner-Integration zur Prozeßverbesserung im Rahmen der 27. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, 23. September 1997 in Aachen. Softwaretechnik-Trends, 17(3):17-20, 1997.

[KCR+94] F.-L. Krause, M. Ciesla, E. Rieger, A. Ulbrich, M. Stephan: Features als semantische Objekte integrierter Prozeßketten. In: J. Gausemeier, Hrsg., Produktdatenmodellierung und Prozeßmodellierung als Grundlage neuer CAD-Systeme: GI-Fachtagung CAD '94, Paderborn, 17./18.3.1994. München [u. a.]: Hanser, 1994, S. 125-148.

[KVK96] J. Klussmann, M. Vöge, J. Krauth: Neutrales Produktdatenmodell zur Einbindung der Simulation in betriebliche Abläufe. In: Wt: Produktion und Management, 86(6):333-336, 1996.

[Lan93] V. Lange: Entwerfen von Fertigungsanlagen mit Modellund Erfahrungsunterstützung. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 2 Nr. 302. Düsseldorf: VDI-Verl., 1993.

[MS94] J. Mohrmann, H.-J. Speck: Das Produktmodell als Integrationsplattform für Prozeßketten. In: J. Gausemeier, Hrsg., Produktdatenmodellierung und Prozeßmodellierung als Grundlage neuer CAD-Systeme: GI-Fachtagung CAD'94, Paderborn, 17. /18.3.1994. München [u. a.]: Hanser, 1994, S. 93-110.

[Pät91] B. Pätzold: Integration rechnerunterstützter Verfahren für die Konstruktion auf der Basis eines objektorientierten Produktmodellansatzes. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 20 Nr. 53. Düsseldorf: VDI-Verl., 1991.

[PSK96] G. Paul, K.-U. Sattler, F. Kreutzmann: Eine Integragtionsarchitektur für Ingenieursysteme im CAD/CAM-Bereich. In: CAD-CAM-Report, 3(März):130-138, 1996.

[Rad95] M. Radtke: Konzept zur Gestaltung prozeß und integrationsgerechter Produktmodelle. Kaiserslautern, Universität, Dissertation, 1995.

[RM97] N. Ritter, B. Mitschang: Die Assistenzfunktion kooperativer Designflows. In: Informatik, Forsch Entw., 12(2):91-100, 1997.

[RS92] F. J. Rammig, B. Steinmüller: Frameworks und Entwurfsumgebungen. In: Informatik Spektrum, 15(1):33-43, 1992.

[Rud91] S. Rude: Rechnerunterstützte Gestaltfindung auf der Basis eines integrierten Produktmodells. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 20 Nr. 52. Düsseldorf: VDI-Verl., 1991.

[Sch96] G. Scholz: Heterogene konzeptuelle Modelle und Interoperabilität im Elektronischen CAD. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 20 Nr. 198. Düsseldorf: VDI-Verl., 1996.

[WRH97] Wolter, O.; Richter, K.; Höpner, C.: Prozeßfähige Virtual-Reality-Modelle der Materialflußtechnik. Fortschritte in der Materialflußtechnik: 11. Symposium Simulationstechnik (ASIM '97), Dortmund, 11.-14. November 1997. Kuhn, A.; Wenzel, S. (Hrsg.). Braunschweig [u.a.]: Vieweg, 1997, S. 563-568.

[ZRW96] Ziems, D.; Richter, K.; Wolter, O.: CAD-Modelle mit Planungs-Knowhow zur Konfigurierung von Materialflußsystemen. In: Verteilte und intelligente CAD-Systeme: Tagungsband CAD ‘96; Kaiserslautern, 7./8. März 1996. Hrsg. von Detlev Ruhland. Bonn: Ges. für Informatik; Kaiserslautern: Dt. Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, 1996, S. 135-149.

[ZLR1997] D. Ziems, P. Lehmann, K. Richter: Gestaltung funktionsfähiger virtueller Prototypen von Paketsortieranlagen. In: Informationsverarbeitung in der Konstruktion '97: Neue Generation von CAD/CAM-Systemen: erfüllte und enttäuschte Erwartungen; Tagung München, 28./29. Oktober 1997, (VDI-Berichte; 1357), VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb. Düsseldorf: VDI-Verl., 1997, S. 459-477.

[VDI96] VDI-Richtlinie 2222: Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Entwurf Blatt 1, Ausgabe 7/96, 1996.

[Wei91] D. Weigel: Entwicklung einer modularen Systemarchitektur für die rechnerintegrierte Produktgestaltung. Braunschweig, Technische Universität, Dissertation, 1991.