

MODELLGESTÜTZTE PROJEKTIERUNG VON AUTOMATISIERUNGSSYSTEMEN

W.Bär

Lehrstuhl für Regelungstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg
Cauerstr. 7, D-91058 Erlangen
w.baer@rt.e-technik.uni-erlangen.de

L.Feldmann, V.Lapko, A.Moldovanov, V.Svjatnyj

Fakultät für Rechentechnik und Informatik, Technische Universität Donezk
Artemstr. 58, 83000 Donezk
svjatnyj@cs.dgtu.donetsk.ua

Abstract

W. Bär, L. Feldmann, V. Lapko, A. Moldovanov, V. Svjatnyj: Simulation-aided development of automated systems. A simulation-oriented approach for the development of automated systems is proposed. The different stages of the computer-aided design are considered. The requirements for the simulation environment and the CAD-system are defined. The concept of the simulation-oriented design tool is described.

1. Einleitung

Automatisierungssysteme besitzen eine zunehmende Bedeutung für den wunschgemäßen, möglichst ökonomischen und gleichzeitig ressourcensparenden Betrieb von industriellen Prozessen. Verbunden mit gestiegenen Anforderungen an die Anlagensicherheit und Produktqualität bedeutet dies bei neuen verfahrenstechnischen Lösungen fast immer deutlich erhöhte Anstrengungen bei der Auswahl und der Realisierung von Automatisierungseinrichtungen. Nachdem in den meisten Fällen Verfahrensmuster nicht existieren bzw. die erste Anlage bereits im gewünschten Sinne produzieren soll, stellt die Simulationstechnik, d.h. die funktionelle Untersuchung eines dynamischen Systems mit Hilfe eines geeigneten mathematischen Modells, die einzig mögliche Methode dar, Systeme detailliert zu planen und ihr Verhalten gründlich und umfassend zu untersuchen. Dabei ist es nötig, für jede Projektphase, also vom Lastenheft des Entwurfs bis hin zur Realisierung des Projektes bzw. zum Betrieb der Anlage, die entsprechenden Modelle und Simulationsmittel bereitzustellen.

Gegenwärtige Simulationspakete für dynamische Systeme sind vor allem dazu konzipiert, die Modellierung effektiv zu unterstützen und – weiterhin – ein adäquates Systemverständnis beim Anwender zu erzeugen. Dazu besitzen sie eine systemgerechte Benutzeroberfläche, erlauben (meist) eine flexible Modellierungstechnik und (manchmal auch) die Integration leistungsfähiger Fremdmodelle sowie in gewissem Umfange den Einsatz von mathematischen Werkzeugen und Technologien.

Für die Projektierung von Automatisierungssystemen für komplexere Anlagen sind CAD/CASE-Entwurfswerkzeuge anzustreben, die es erlauben, übergeordnete Gesichtspunkte,

wie etwa eine problemgerechte Anwenderunterstützung für jede Projektphase (Modellentwicklung, Projektmanagement, Produktverwaltung, Change-Management), zu berücksichtigen. Dies kann erreicht werden durch eigenständige Werkzeuge für konkrete Anwendungsbereiche mit einer geschlossenen Arbeitsumgebung oder aber durch universelle Systeme, die ein breiteres Einsatzspektrum ermöglichen wollen und deshalb eine offene, modulare Systemstruktur besitzen und sich durch eine besondere Integrationsfähigkeit für Fremdprodukte auszeichnen.

Universelle CAD/CAE-Werkzeuge verfügen bisher nur in sehr geringem Umfange über Mittel zur Spezifikation (Spezifikationssprachen), Entwicklung und Erstellung von Modellen sowie über Simulations-Experimentierumgebungen für die einzelnen Projektphasen, das Projektmanagement bzw. die Modellverwaltung. Desweiteren gibt es keine Möglichkeiten, parallele Organisationsstrukturen einzusetzen, wenn es der Modellaufbau bzw. die Komplexität des Automatisierungskonzeptes sinnvoll erscheinen läßt.

Im Folgenden soll das Konzept eines universellen Entwurfssystems für die modellgestützte Projektierung von Automatisierungssystemen vorgestellt werden.

2. Die rechnergestützte Projektierung von Automatisierungssystemen

Abb.1 zeigt die einzelnen Entwicklungsstufen bei der Projektierung von Automatisierungssystemen (AS) für industrielle technische Prozesse. Sämtliche Phasen sollen problemorientiert und möglichst effektiv ablaufen, alle Bearbeitungsetappen werden in einer CAD/CASE-Umgebung durchgeführt und für ein verfügbares Ziel-Automatisierungssystem entworfen. Die Projektierung wird unterstützt durch

-Spezifikationssprachen für die einzelnen Entwicklungsetappen:

- Erstellung des Lasten- und Pflichtenheftes,
- Systementwurf,
- Dokumentation;

-Projektmanagementmittel für:

- Planung,
- Verwaltung,
- Kontrolle,
- Produktverwaltung,
- Qualitätssicherung;

-Benutzerschnittstellen zur

interaktiven Kommunikation mit den CAD/CASE-Ressourcen in allen Etappen [LaGö99].

Die AS-Entwicklung basiert auf der Aufgliederung (Dekomposition) in Teilaufgaben für Subsysteme (Sub), die ihrerseits in Funktionsmodule (MD) und elementare Entwurfsobjekte (EO) verfeinert werden [EPOS 92]. Entsprechend der Aufgliederung werden die Entwurfsobjekte (EO) ausgewählt und implementiert bzw. realisiert. Der Systementwurf basiert auf den realisierten Entwurfsobjekten und entsteht als hierarchischer Kompositionsprozeß, der die Komplexität des Projektierungsobjektes widerspiegelt. Als Ergebnis des Systementwurfs (SE) erhält man eine funktionelle Struktur, die nach entsprechender Überprüfung sowie unter Berücksichtigung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in ein konkretes AS-Projekt überführt werden kann. Sämtliche HW/SW-Realisierungsetappen werden vom Projektmanagement zur Einschätzung der Entwicklungsarbeiten begleitet und funktionell dokumentiert.

Nach der Inbetriebnahme erfolgt eine Analyse der Projekterfahrungen, bei der die AS-Funktionalitäten überprüft und aufgetretene Fehler korrigiert werden. Neben der Standard-Dokumentation wird eine projektübergreifende Archivierung für Projektprodukte angestoßen.

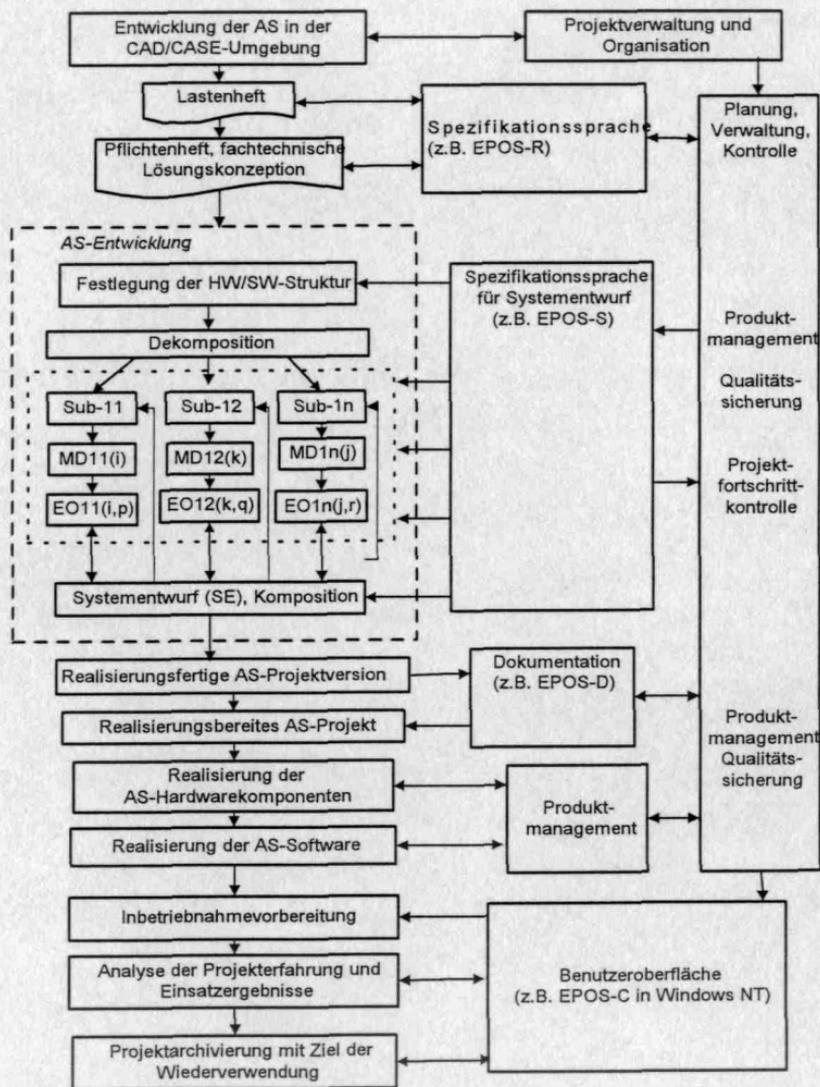


Abb. 1. Rechnergestützte Projektierung von Automatisierungssystemen

3. Die Anforderungen an die Software-Entwicklungs-Werkzeugsysteme

Die in [LaGö99] aufgeführten Eigenschaften von CASE-Werkzeug bilden auch die Hauptanforderungen für CASE-Werkzeuge zur rechnergestützten AS-Projektierung:

1. integrierte Rechner- und Modellunterstützung für Entwicklung, Projektmanagement und zur Produktverwaltung.
2. Nutzung von Simulationstechniken zur Qualitätssicherung des Projektes.
3. Möglichkeiten für umfassende statische und dynamische Prüfungen einschließlich eines horizontalen und vertikalen Rapid Prototyping auf der Basis der Simulation der entwickelten Entwurfsobjekte, Module und Subsysteme.
4. Rechner- und Modellunterstützung für Software- und Hardware-Entwicklung.
5. Rechner- und Modellunterstützung für Pflege und Wartung, sowie zur Schulung des Bedienpersonals.
6. Offenheit für andere Werkzeuge und Möglichkeit zur Einbeziehung in einen Software-Integrationsrahmen, d.h. Integration der modellgestützten AS-Projektierung in vorhandene sequentielle und/oder parallele Simulationsumgebungen.

Die Werkzeuge zur rechner- und modellgestützten AS-Projektierung sollen sich ergänzend durch die folgenden Merkmale auszeichnen:

1. Unterstützung aller Projektetappen.
2. Modellierungsmöglichkeiten entsprechend den jeweiligen Projektaufgaben.
3. Konzipierung von Automatisierungsstrukturen für komplexe Systeme unter realistischen Randbedingungen.
4. Möglichkeiten zur Lösung unter Echtzeitbedingungen.
5. Kopplungsfähigkeit mit vorhandenen Hardware-Strukturen.
6. Automatische Formulierung der Modellgleichungen für komplexe Objekte (AS).
7. Dialogfähigkeit.
8. Funktions- und/oder Strukturähnlichkeit von Modellen und simulierten Objekten.
9. Verfügbarkeit von Mitteln zur Visualisierung, Registrierung und Analyse der Simulationsergebnisse sowie zur Archivierung der Modelle.
10. Integration mit Systemen der rechnergestützten Projektierung.
11. Verwendbarkeit der entwickelten Automatisierungssysteme zum Training und zur Schulung des Bedienpersonals.

4. Die modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen

Die modellgestützte AS-Projektierung basiert auf dem Zusammenwirken zugeordneter Projekt- und Modellebenen und zeichnet sich durch vielfältige Dekompositions- und Kompositionsabläufe aus, Abb.2. Für alle Projektebenen, Subsysteme, Module, Entwurfsobjekte und Projektetappen stehen entweder entsprechende Modelle zur Verfügung oder werden parallel zur Projektlösung entwickelt und in einer geeigneten Simulationsumgebung realisiert. Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist die Entwicklung von Simulationsverfahren und problemangepaßten Simulationswerkzeugen für Automatisierungsobjekte (Prozesse), die durch partielle Differentialgleichungen (PDGL) beschrieben werden, desweiteren die Realisierung und Implementierung der konzipierten Verfahren mit Hilfe von leistungsfähigen Rechenhilfsmitteln sowie deren Erprobung bei der

rechnergestützten Projektierung von Automatisierungskonzepten für kontinuierliche – und auch kontinuierlich-diskrete – Systeme.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, daß bei realen Automatisierungsaufgaben die Komplexität der aus Teilobjekten zusammengesetzten Modelle und Strukturen sehr rasch ansteigt, so daß für die Simulationsumgebung – ab einer gewissen Komplexitätsschwelle – die Anwendung parallel arbeitender Ressourcen sinnvoll erscheint [PaSi99]. Deshalb wird die Entwicklung von Simulationsverfahren, die mit parallelen Algorithmen arbeiten, sowie deren Integration in den Systementwurf berücksichtigt.

Die vorhandenen CAD/CASE-Werkzeuge haben üblicherweise keine vorbereiteten Schnittstellen, die Fremdprodukte bzw. Simulationswerkzeuge nutzen können. Im Folgenden wird daher auf die Eigenschaften dieser CAD/CASE-Schnittstelle (Abb.2) einzugehen sein,

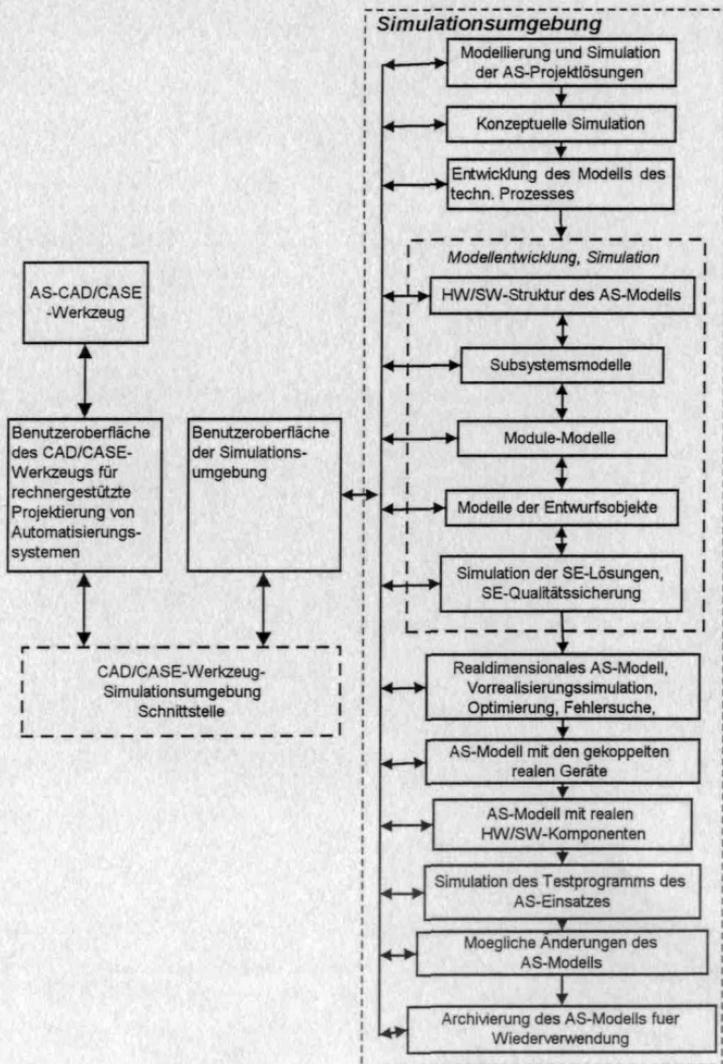


Abb. 2. Zur Konzeption der modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen

5. Die Verfahrensschritte der modellgestützten Projektierung

Das Projektmodell der rechnergestützten Projektierung von Automatisierungssystemen hat einen entscheidenden Einfluß auf die Organisation der Modellunterstützung für die einzelnen Projektablaufe. Bisher wurden die folgenden Gesichtspunkte betrachtet und in der Entwicklungsumgebung des CAD/CASE-Werkzeugs EPOS analysiert [LaGö99]:

- Berücksichtigung funktioneller, konstruktiver bzw. technologie-orientierter Aspekte bei der AS-Projektierung;
- Früherkennung von Fehlern;
- Verifikation der Projektlösungen;
- Einbettung von Simulationsmitteln für Automatisierungssysteme;
- Unterstützung verschiedener Projektierungsverfahren (funktions-, informations-, daten-, ereignis-, modul-, gerätetechnisch-, objektorientierte Projektierung [LaGö99].

Auf der Basis der vorgeschlagenen Struktur zur modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen (Abb.2) wurde in der vorliegenden Untersuchung ein offenes Entwurfswerkzeug konzipiert [Svja99]. Es erlaubt den Einsatz eines EPOS-Projektmodelles und die Verwendung von Simulationsmodellen zur modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen für Objekte mit verteilten Parametern. Die Struktur des Entwurfswerkzeuges und seine Komponenten sind in den Abbildungen Abb.3 bis Abb.6 dargestellt. Entsprechend den obigen Ausführungen und dem gewählten AS-Projektmodell werden die folgenden Methoden zur modellgestützten AS-Projektierung für Objekte mit verteilten Parametern (OVP) vorgeschlagen.

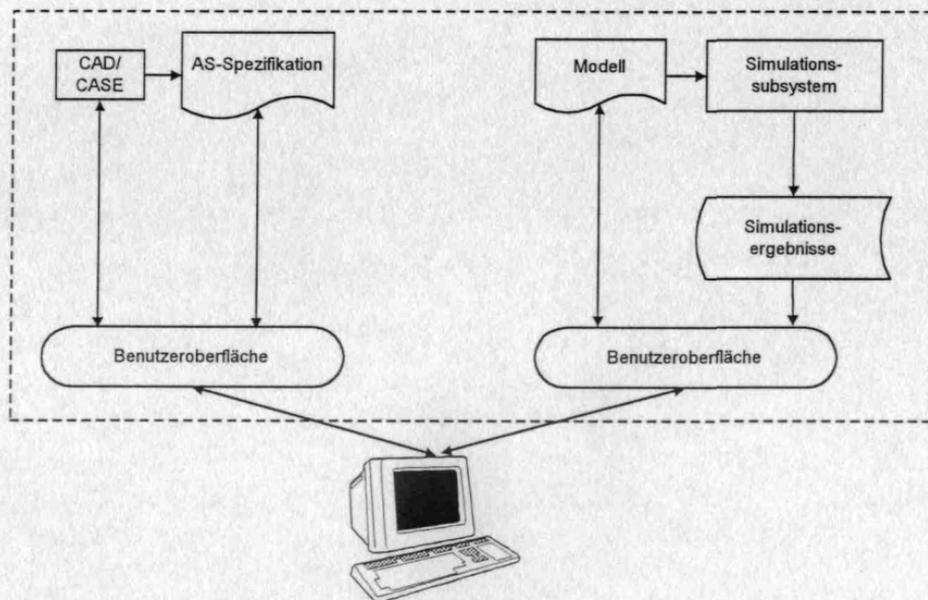


Abb. 3. Struktur des offenen Entwurfswerkzeugs

5.1. Die Dekomposition des Automatisierungssystems

Beim Dekompositionsansatz wird der Prozess ähnlich wie beim AS-Projektmodell untergliedert. Die Untergliederung berücksichtigt den Prozess mit verteilten Parametern sowie das (vorgeschlagene) Automatisierungskonzept. Das Ziel der Aufgliederung besteht darin, Projektobjekte zu erhalten, die für die rechnergestützte Projektierung in der CAD/CASE-Umgebung geeignet sind. Nachdem die CAD/CASE-Werkzeuge zunächst keine Unterstützung zur Dekomposition anbieten, kann der Projektentwickler – abhängig von der konkreten Situation – seine Erfahrungen einbringen und sowohl funktionale Strategien als auch formale Verfahren einsetzen. Im allgemeinen wird die OVP-AS-Dekomposition eine kombinierte Vorgehensweise sein:

- Die OVP-AS-Struktur wird aus der Systemstruktur entwickelt.
- Die OVP-Prozesse basieren auf den beschreibenden partiellen Differentialgleichungen und werden als funktionale Dekompositionseinheiten behandelt.

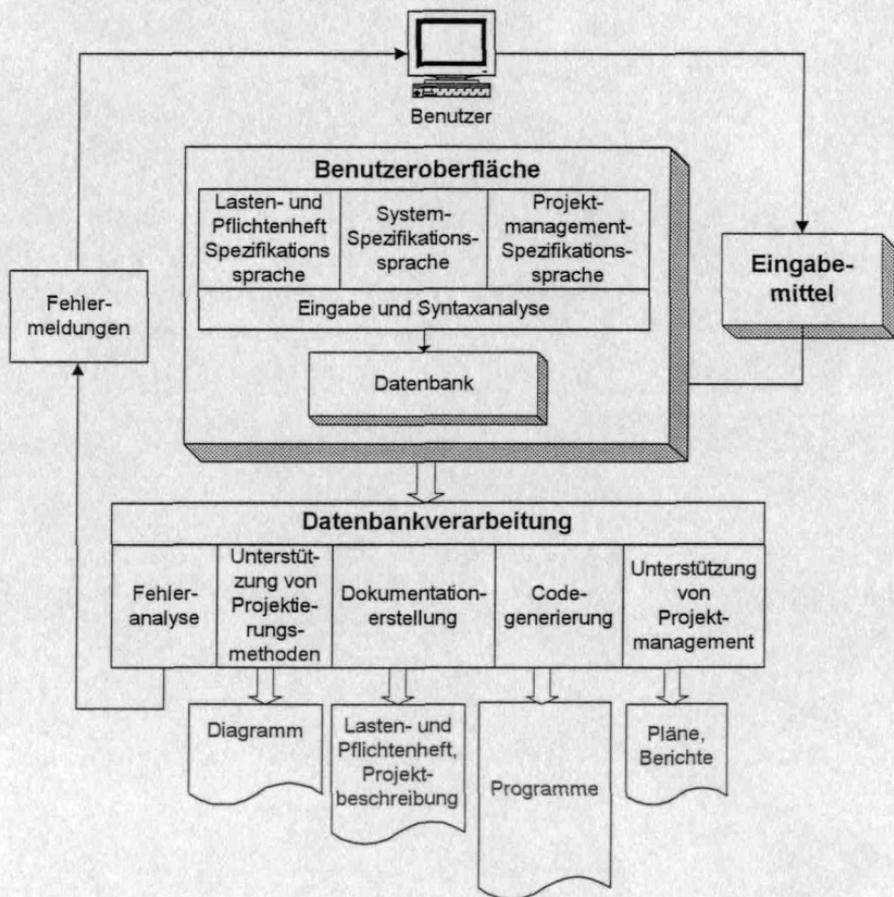


Abb. 4. CAD/CASE-Struktur

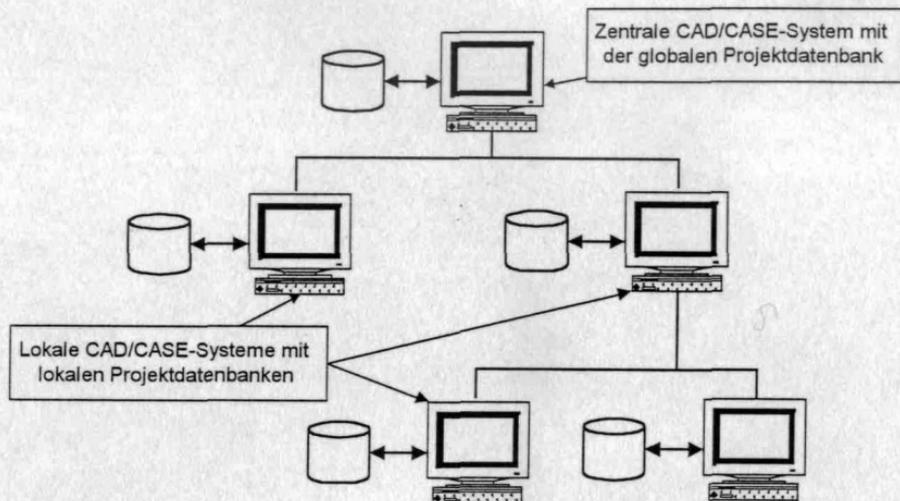


Abb. 5. CAD/CASE in einem Netz

5.2. Die Modellerstellung für Projektobjekte

Für alle bei der Dekomposition erhaltenen Komponenten des OVP-Automatisierungssystems sind Modelle zu entwickeln. Einfache Komponenten, die z.B. durch gewöhnliche Differentialgleichungen beschrieben werden, können mit Hilfe der blockorientierten Simulationssprache SIMULINK als Simulink-Modelle realisiert werden, während für kompliziertere Objekte mit verteilten Parametern eine rechnerunterstützte Modellerstellung vorgeschlagen wird, die mit dem Topologischen Analysator, dem Gleichungsgenerator und dem Gleichungslöser arbeitet.

5.3. Die Validierung der Projektlösung durch Simulation der Projektobjekte

Die in CAD/CASE-Umgebung erhaltenen Projektlösungen werden nach folgender Methodik (durch Simulation) geprüft:

- Entwurf eines Plans für die Simulationsexperimente:
 - Definition der Betriebsarten der Projektobjekte entsprechend dem Pflichtenheft;
 - Entwicklung von Testbedingungen für jede Betriebsart (Randbedingungen, Störungen, Eingangsvariable, Dauer der Betriebsarten, Wechselwirkungen zwischen den Projektobjekten des OVP-AS, usw.);
 - Ermittlung der Auswirkungen, die – im Vergleich zu den hochgenauen Simulationsmodellen – die Verwendung der vereinfachten Entwurfsmodelle der Projektierung auf die Qualität der Projektlösungen hat (Einfluß von Nichtlinearitäten, Berücksichtigung der räumlichen Systemausdehnung, reale Störungen, sicherheitskritische Aspekte, usw.);
- Initialisierung der Projektobjekte mit den aktuellen Parametern;

- Durchführung von Simulationsexperimenten und Protokollierung der Ergebnisse;
- Erstellung einer Prüftabelle auf der Basis von Anforderungen des Projektmanagements;
- Analyse der Prüftabelle durch Projektexterten und ggf. Korrekturen mit Hilfe von Projektmanagementmitteln;
- Simulation der überarbeiteten Projektlösung und Prüfung auf Qualitätsverbesserungen;
- Archivierung der Modelle der Projektobjekte einschließlich der Simulationsergebnisse; Dokumentation in der Projektbeschreibung.

5.4. Die Fusion der Projektobjekte zum Gesamt-Systementwurf

Nach der Entwicklung und Prüfung der Projektlösungen für die einzelnen Entwurfsobjekte soll im Projektablauf als nächstes ein "Kompositionsprozeß von unten nach oben" zu einem Gesamt-Systementwurf vorgenommen werden. In der CAD/CASE-Umgebung kann hierzu auf die fertigen Komponenten zurückgegriffen werden. Die einzelnen, nacheinander auszuführenden Kompositionsstufen sind:

- KS-1: Zusammenfassung von Teilregelkreisen zu Mehrgrößenregelungssystemen bzw. -modulen für Objekte mit verteilten Parametern mit der Möglichkeit zur Anwendung von regelungstechnischen Analyse- und Synthese-Werkzeugen;
- KS-2: Zusammenfassung von Teilsteuerungen zu ebenenübergreifenden Gesamtsteuerungs-Modulen;
- KS-3: Zusammenfassung von Modulen zu Subsystemen;
- KS-4: Zusammenfassung zum OVP-Automatisierungssystem.

Der Modellierungsschritt KS-1 betrifft die Verkopplung der Teilregelstrecken-Entwurfsmodelle über das zugrunde liegende OVP-Modell. Die weiteren, höheren Kompositionsstufen greifen auf die Teil- und Subsystemmodelle der niedrigeren Stufen zurück. Ebenso wie für die Entwurfsobjekte lassen sich für die zusammengefaßten Modelle numerische Algorithmen sowie Daten und Parameter zur Modellinitialisierung angeben. Entsprechend dem Vorgehen bei den Entwurfsobjekten wird für jede Kompositionsstufe ein Satz von Simulationsexperimenten festgelegt und mit der Prüfung der Projektlösungen auf der niedrigsten Kompositionsstufe KS-1 begonnen. Die Simulationsuntersuchung für die Kompositionsstufe KS-2 wird in zwei Etappen durchgeführt. Zunächst wird die Arbeitsweise jedes einzelnen Steuerungsmoduls in Verbindung mit KS-1 überprüft; bei Fehlfunktionen werden Korrekturen angebracht. Danach wird die Gesamtfunktionalität von KS-2 mit KS-1 simuliert, geprüft und bedarfsweise korrigiert. Die Vorgehensweise für die weiteren Kompositionsstufen ist ähnlich, wobei für einzelne OVP-Automatisierungssysteme eine Unterscheidung nach KS-2 und KS-3 nicht immer möglich ist.

Das Modell des gesamten OVP-Automatisierungssystems umfaßt alle geprüften Modelle der vorigen Kompositionsstufen, die Module oberen, algorithmischen Ebene sowie das Bedien-Oberflächen-Modul. Zur Festlegung der Simulationsexperimente wird auf die Testaufgaben der niedrigeren Kompositionsstufen zurückgegriffen und der Forderungskatalog des Pflichtenheftes berücksichtigt. Bedarfsweise können vom Projektmanagement – auf Grund der erhaltenen Simulationsergebnisse – Korrekturen für das OVP-AS-Projekt abgeleitet werden.

Nach Abschluss der umfangreichen Simulationen steht eine realisierbare, im Rahmen der formulierten Randbedingungen erprobte Version des OVP-AS-Projektes zur Verfügung.

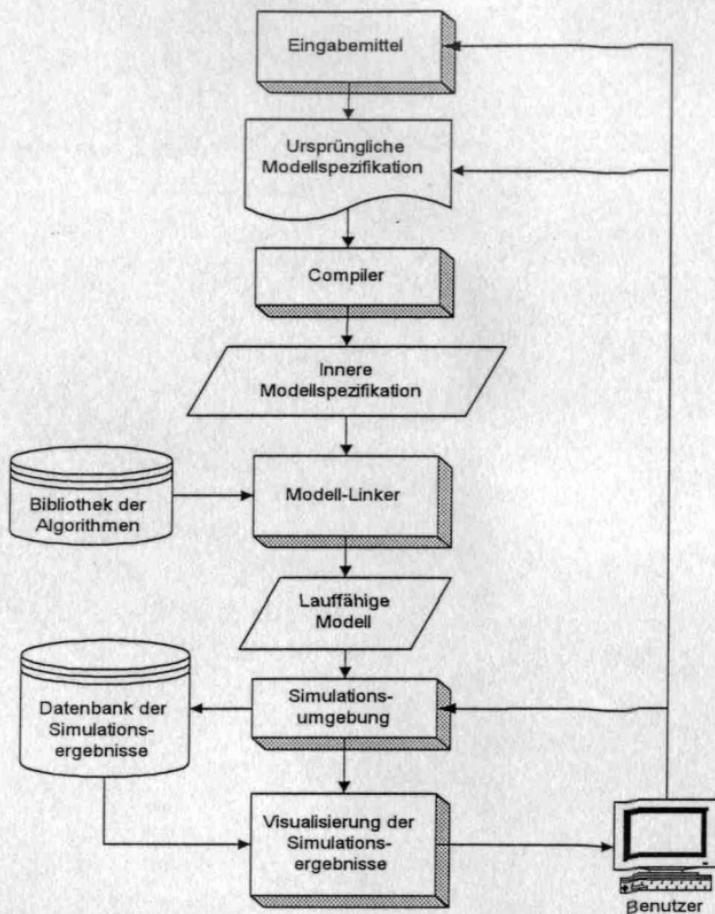


Abb. 6. Simulationssystem

5.5. Integration von Hardware-Komponenten und Inbetriebnahme des Gesamtsystems

Das entwickelte Programmsystem zur modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen ist als offenes Entwurfswerkzeug konzipiert und eröffnet damit auch die Möglichkeit zur Integration von Hardware-Funktionalitäten, d.h. von realisierten Komponenten, Geräten, Modulen und Subsystemen, insbesondere zur Qualitätssicherung und Validierung bzw. Verifikation. Dies kann wie folgt geschehen:

- Bereitstellung aller gerätetechnischer Komponenten incl. notwendiger Rechnerressourcen auf den einzelnen Kompositionsebenen;
- Prüfung der Hardware-Ressourcen zusammen mit den KS-1-Modellen;
- Programmiergenerierung und -debugging; Erstellung der AS-Software entsprechend der Module- und Subsystem-Struktur;

- Prüfung der AS-Software;
- Simulation der Inbetriebnahme;
- Verifikation der Simulationsergebnisse nach der Inbetriebnahme.

5.6. Projektmanagement

Zur Zeit haben die (hochentwickelten) CAD/CASE-Werkzeuge noch keine Möglichkeiten, die Methode der modellgestützten Projektierung unter Führung eines Projektmanagementsubsystems unmittelbar zu realisieren [LaGö99]. Bisher werden die Simulationsaufgaben nach ihrer Formulierung durch das Projektteam außerhalb der Projektumgebung – und meist von anderen Fachleuten – behandelt. Die Erfahrungen bei der vorliegenden Untersuchung zeigen jedoch, daß eine Integration von System-Spezifikations- und Simulationsprachen in die vorhandene Projektmanagementumgebung sinnvoll ist.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein Konzept zur modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen vorgeschlagen, das im Rahmen des gemeinsamen Projektes PROAUT realisiert wurde. Die entwickelten Methoden und Modelle werden am Beispiel eines Kohlegruben-Bewerternetzes erprobt. Es konnten bisher die Grundlagen zur Entwicklung eines Automatisierungssystems für die Ukrainischen Kohlegruben geschaffen werden. Die Anpassung der Projektlösungen an die realen Gegebenheiten erfolgt im Modell-Service-Zentrum der Grubenanlagen. Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie unter dem Förderkennzeichen 01IR704 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- [EPOS92] EPOS Software Product Description. GPP mbH, 1992.
- [LaGö99] R.Lauber, P.Göhner. Prozeßautomatisierung 2. Springer, 1999.
- [PaSi99] Parallele Simulationstechnik. / L.Feldmann, V.Svjatnyj, V.Lapko, E.-D.Gilles, M.Zeitz, A.Reuter, K.Rothermel /. – in diesem Band.
- [Svja99] V.Svjatnyj. Probleme der parallelen Simulation von komplexen dynamischen Systemen. – Informatics, Cybernetics and Computer Science (ICCS-99). Collected volume of scientific papers. Donetsk State Technical University, Donetsk, 1999, p.6-14 (Ukrainisch).