

Rapid Control Prototyping: Steuerungen für den Sondermaschinenbau

Der praktische Einsatz von Rapid Control Prototyping-Methoden ist auch für kleine und mittelständische Unternehmen des Sondermaschinenbaus von zunehmendem Interesse. Mit „SimVA IMS“ steht ein seit mehreren Jahren für konkrete Applikationen eingesetztes Werkzeug zur Verfügung, das im Besonderen den Aspekten modellgestützter Entwurf und Methodenintegration des Rapid Control Prototyping genügt.

Hartmut Weber

Skalierbarkeit werden zur Maschinensteuerung im Sondermaschinenbau i. d. R. speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) eingesetzt, bestehend aus Hardwarekomponenten, Steuerungsprogrammen sowie Engineering-Werkzeugen zur Entwicklung der Steuerungsprogramme.

Wesentliche Aufgaben im Control Engineering für Sondermaschinen sind die Auswahl und die Konfiguration der von den Steuerungsherstellern angebotenen

Control Engineering im Sondermaschinenbau

Als Sondermaschinen werden Produkte des Maschinenbaus bezeichnet, die in hohem Maße auf den individuellen Bedarf eines einzelnen Kunden ausgerichtet sind. Sie werden immer auftragsbezogen entwickelt und basieren i. d. R. auf einem Komponentenbaukasten des Maschinenherstellers. Hinzu kommen weitere Komponenten, die auftragspezifisch neu entwickelt werden müssen. Es wird angenommen, dass die kundenorientierte Erstellung von Maschinen zu Lasten des Serienmaschinenbaus zukünftig noch weiter zunehmen wird [1].

Zur Regelung der Antriebe der mechanischen Komponenten von Sondermaschinen werden in der Praxis kommerzielle elektrische Antriebssysteme mit Umrichtern, Servoverstärkern, Lagegebern und weiteren Baugruppen eingesetzt, die vom Maschinenhersteller mittels zugehöriger Engineering-Werkzeuge so zu parametrieren sind, dass das gewünschte Verhalten erreicht wird.

Die Steuerung der Maschine betrifft Aufgaben wie die Kommunikation und Synchronisation der einzelnen mechatrischen Komponenten zur Erzielung der geforderten Maschinenfunktionalität, die Interaktion mit dem Bediener und mit peripheren Komponenten sowie die senso-

rische Überwachung der Maschinenfunktionalität und der -sicherheit. Aufgrund ihrer hohen Verfügbarkeit und guten

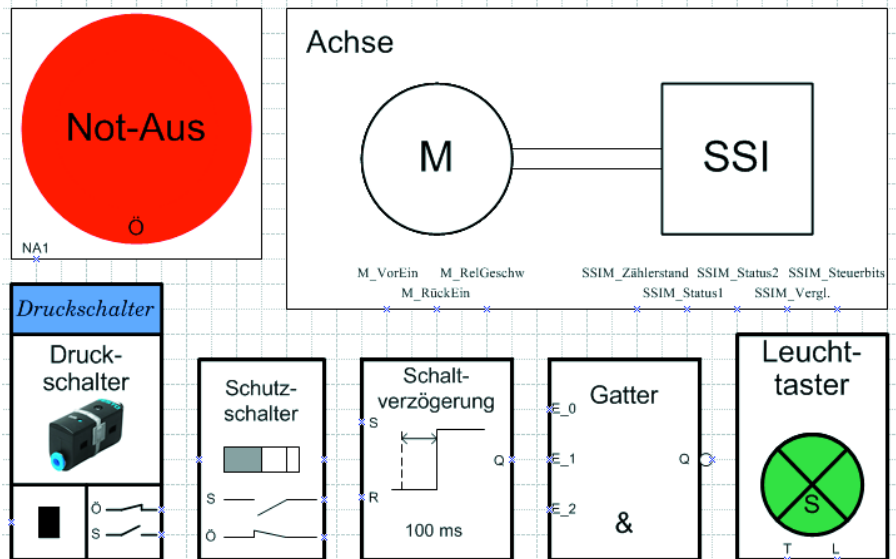


Bild 1. Beispiele von Simulationsobjekten in „SimVA IMS“

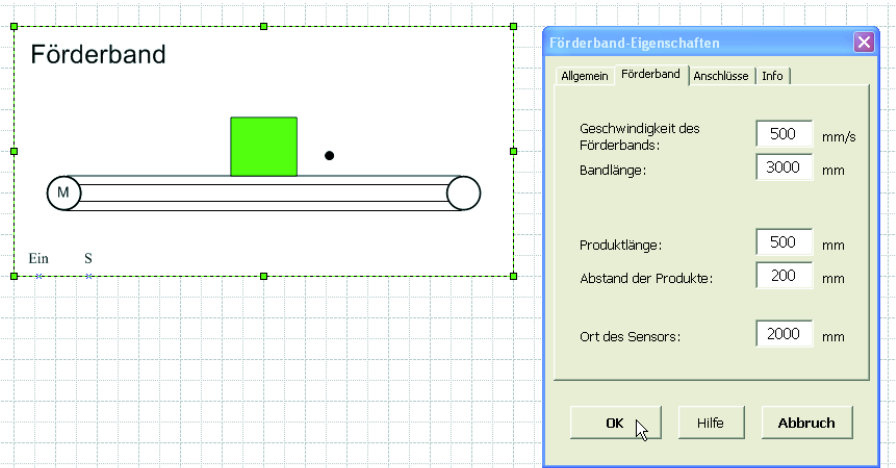


Bild 2. Beispiel eines Simulationsobjekts zur Modellierung mehrerer physikalisch gekoppelter steuerungstechnischer Objekte

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Weber, VDE, war bis Mitte dieses Jahres technischer Leiter der SimVA GmbH in Gronau (Westf). Er wurde mit Wirkung zum August 2006 als Professor an die FH Gießen-Friedberg berufen.
E-Mail: hartmut.weber@simva.de



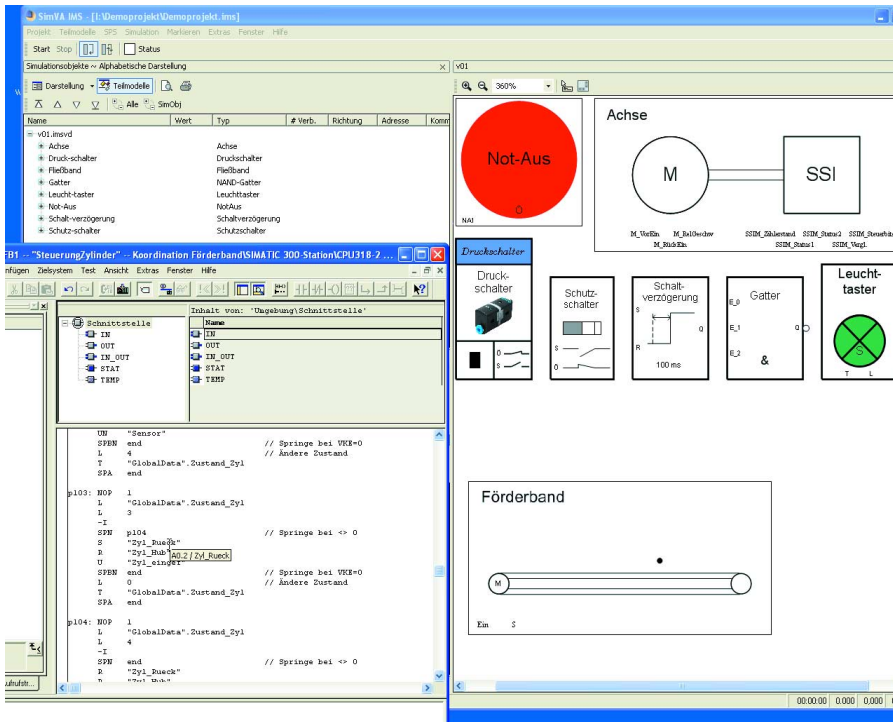


Bild 3. Quasi-parallele Entwicklung des Maschinenmodells und des Steuerungsprogramms

Hardwarekomponenten sowie die Entwicklung der produktspezifischen Steuerungssoftware. Diese erfolgt nach der klassischen Vorgehensweise mittels einer informellen Spezifikation des Sollverhaltens der Maschine, wobei häufig Beschreibungen des ungesteuerten Prozesses, Anforderungen an den gesteuerten Prozess und Anforderungen an den Steueralgorithmus miteinander vermischt sind [2]. Auch der eigentliche Steuerungsentwurf erfolgt in der Praxis weitgehend informell auf der Basis von Erfahrungen mit ähnlichen Steuerungsprojekten.

Eine Alternative zu diesem heuristischen Steuerungsentwurf stellt der modellgestützte Steuerungsentwurf dar, dessen Weiterentwicklung zum Konzept des Rapid Control Prototyping führt [3]. Merkmal des modellgestützten Steuerungsentwurfs ist der Test der zu entwickelnden Steuerungssoftware gegen ein Modell der Maschine. Der Entwicklungsprozess wird durch dieses sogenannte virtuelle Testen im Vergleich zum Testen des realen mechatronischen Gesamtsys-

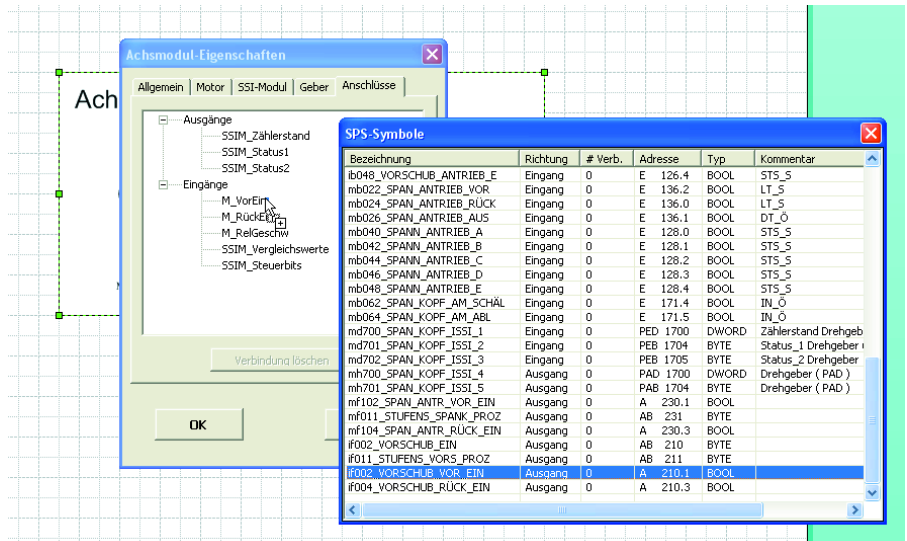


Bild 4. Kopplung des Maschinenmodells mit dem Steuerungsprogramm durch Drag and drop

tems „Maschine“ vereinfacht und optimiert, denn

- Tests ohne Hardware der realen Maschine sind möglich, sodass eine Maschinenentwicklung nach dem Konzept des Simultaneous Engineering [4] unterstützt wird;
- Tests werden ohne reale Energieumwandlung durchgeführt, sodass auch im

Fehlerfall Schäden der Maschine oder ihrer Umgebung sicher ausgeschlossen sind.

Trotz dieser Vorteile kommen entsprechende Verfahren und Werkzeuge in der Praxis bisher nur selten zum Einsatz. Dafür gibt es zwei wichtige Gründe [5]:

- Die explizite Modellierung des ungesteuerten Prozesses mit Sensoren und Aktoren ist aufwendig.

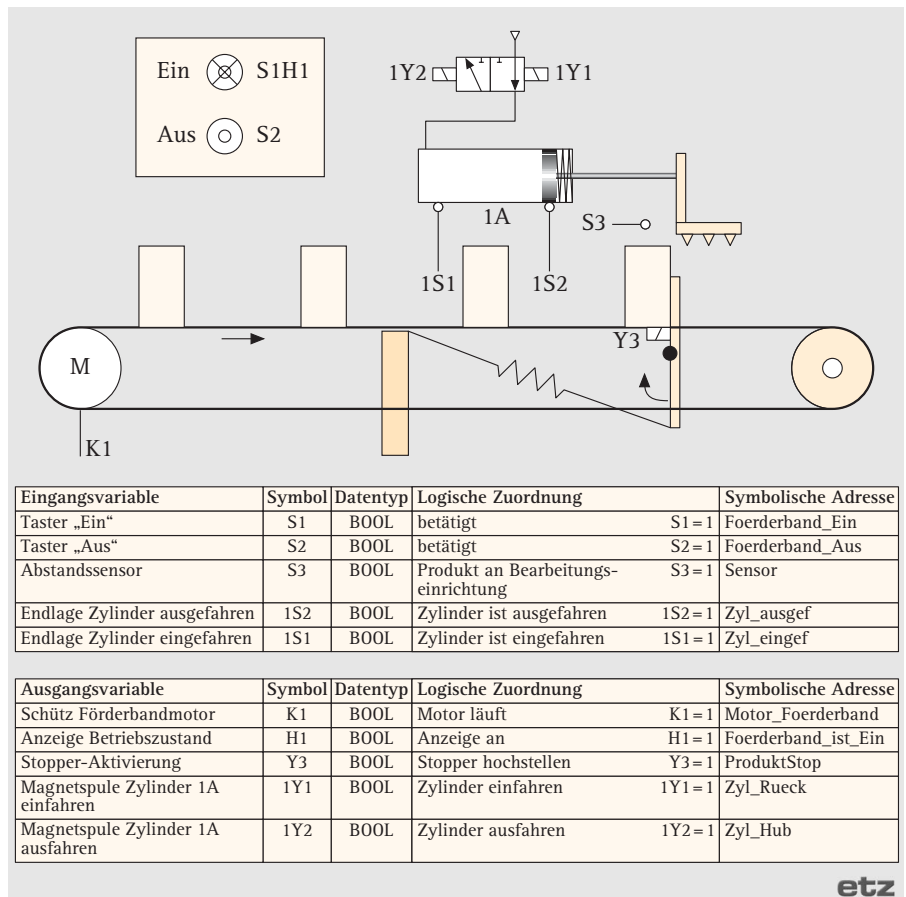


Bild 5. Technologieschema der als Beispiel gewählten Automatisierungsaufgabe



- Die Durchgängigkeit eines Entwicklungsprozesses mit modellgestütztem Steuerungsentwurf wird durch kommerzielle Werkzeuge bisher nur unzureichend unterstützt.

Im Folgenden wird ein Werkzeug zum virtuellen Testen vorgestellt, das in der Zusammenarbeit mit einem Unternehmen des Sondermaschinenbaus entstanden ist. Ein wesentliches Ziel der Werkzeugentwicklung war es, die auch von diesem Entwicklungspartner genannten Kritikpunkte der Praxis an den bisherigen Verfahren und Werkzeugen zum virtuellen Testen zu entkräften.

Modellgestützte Steuerungsentwicklung mit „SimVA IMS“

Der Ansatz des Werkzeugs „SimVA IMS“ [6] zur Reduktion des Modellierungsaufwands besteht in der Beschränkung der Modelldomäne auf den Bereich der Steuerungstechnik. Dazu werden die in der Realität eingesetzten steuerungstechnischen „Hardwareobjekte“ einer Maschinensteuerung – z. B. Sensoren und Aktoren einschließlich zugehöriger Firmware-Komponenten sowie Bedienelemente – durch endliche Automaten modelliert, die ausschließlich steuerungstechnische (elektrische) Signale und/oder interaktive Signale des Anwenders (Interaktion mit der Maus) nutzen.

Diese Einschränkung ermöglicht einerseits eine einfache Modellierung und Simulation, bedeutet jedoch andererseits natürlich einen Verlust an physikalischer Realität. So reagiert z. B. ein Näherungssensor in „SimVA IMS“ nicht auf Objekte in seiner Umgebung, sondern wird interaktiv durch den Anwender oder durch eine spezielle Logik ausgelöst. Die Diskussion mit Nutzern des Werkzeugs zeigt jedoch, dass der gewählte Ansatz für die meisten praktischen Probleme im Bereich der Steuerungstechnik für Sondermaschinen ausreichend ist.

Die steuerungstechnischen Objekte werden grafisch symbolisiert und zur Laufzeit ani-

miert. Bild 1 zeigt einige Beispiele dieser sogenannten Simulationsobjekte. Sie werden zur Modellierungszeit per Drag and drop aus einer Bibliothek vorgegebener Objekttypen in das zu erstellende Modell gebracht, mit einem frei wählbaren Namen versehen und parametrisiert.

Für Modelle, bei denen die Einschränkung auf steuerungstechnische Eingangs-

signale problematisch ist, stehen Simulationsobjekte zur Verfügung, die intern mehrere physikalisch gekoppelte steuerungstechnische Objekte der Realität modellieren. Typisch ist dies bei Antrieb/Geber-Kombinationen. Bild 2 zeigt als weiteres Beispiel ein Förderband mit den steuerungstechnischen Objekten Antrieb und Sensor.

Durchgängigkeit des Entwicklungsprozesses

Die Durchgängigkeit des Entwicklungsprozesses wird in „SimVA IMS“ durch den Ansatz unterstützt, eng mit den vom Anwender präferierten Werkzeugen zur steuerungstechnischen Entwicklung und zur SPS-Simulation zusammenzuarbeiten. Vorausgesetzt werden dazu API-Schnittstellen (API – Application Programming Interface) dieser Werkzeuge, die die notwendige Funktionalität bereitstellen. Nachfolgend wird der Entwicklungsprozess mit den Siemens-Werkzeugen „Simatic Manager“ [7] zur Steuerungsentwicklung und PLCSIM [8] zur SPS-Simulation, die über entsprechende Schnittstellen verfügen, exemplarisch dargestellt. Dabei wird nur auf die im Einsatz von „SimVA IMS“ beruhenden zusätzlichen Schritte im Entwicklungs-

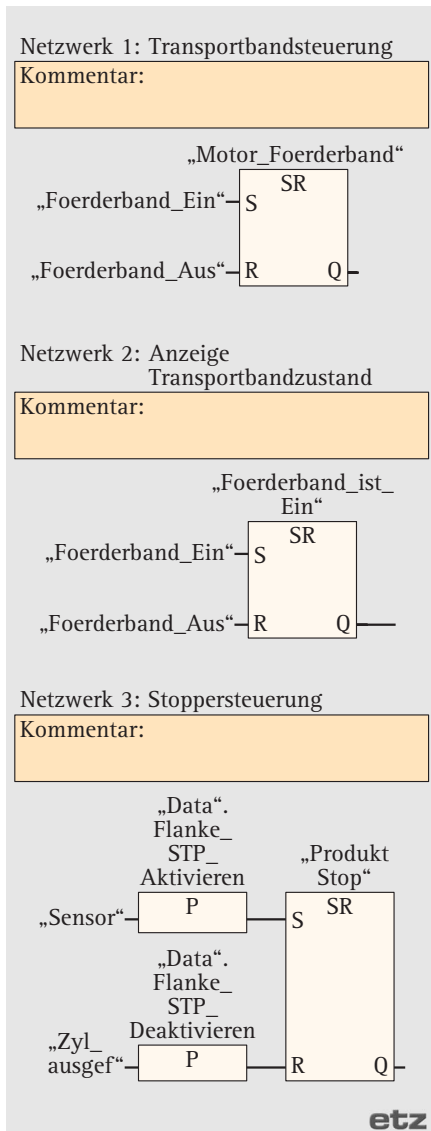


Bild 6. SPS-Programm der als Beispiel gewählten Automatisierungsaufgabe

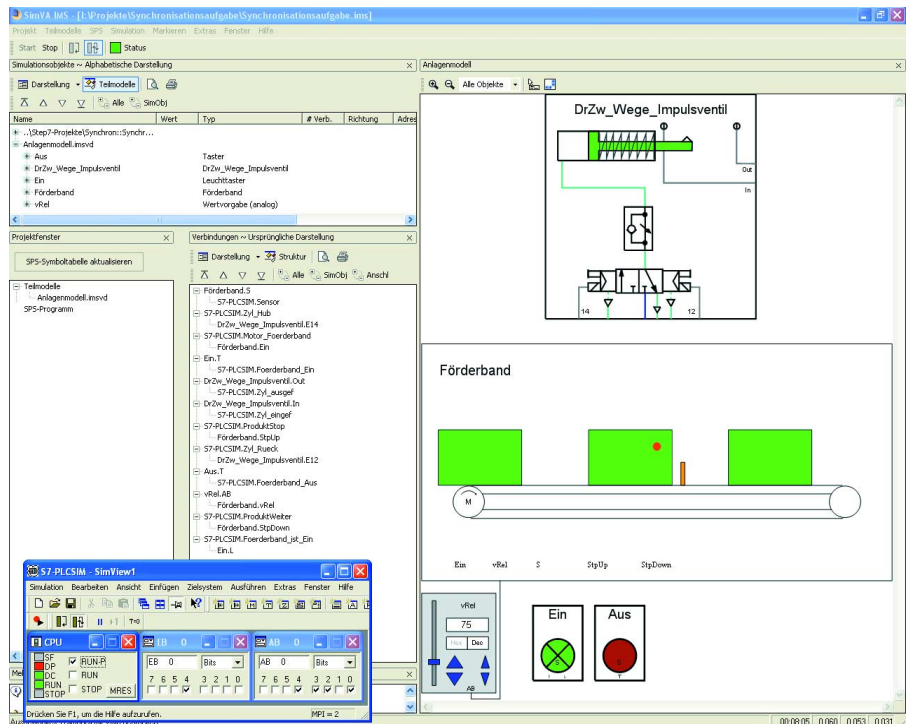


Bild 7. Simulation der als Beispiel gewählten Automatisierungsaufgabe mit SPS-Programm nach Bild 6

prozess eingegangen. Dies sind die Modellerstellung, die Kopplung des Maschinenmodells mit dem Steuerungsmodell sowie die Simulation des gekoppelten Gesamtsystems aus Maschinenmodell und Steuerungsmodell.

Die Modellerstellung

Die Modellerstellung kann auf der Werkzeugebene völlig unabhängig von der Steuerungsentwicklung erfolgen. Der Entwickler ist aber frei, durch Mechanismen des Betriebssystems (MS-Windows [9]) beide Schritte quasi-parallel in kontinuierlicher Fortentwicklung sowohl des Modells wie auch des Steuerungsprogramms durchzuführen (Bild 3).

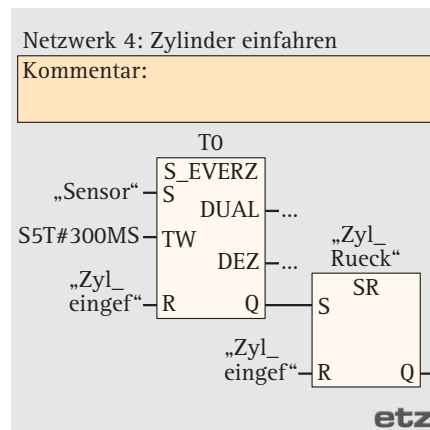


Bild 8. Modifikation des Netzwerks 4 aus Bild 6

Kopplung des Maschinenmodells mit dem Steuerungsmodell

Nachdem der Anwender im „Simatic Manager“ die Ein- und Ausgangssignale seines Steuerungsprojekts mit symbolischen Namen versehen hat, stehen diese Signale auch in „SimVA IMS“ zur Verfügung. Zur Kopplung müssen die Signale lediglich per Drag and drop mit den Anschlüssen der Simulationsobjekte des Maschinenmodells verbunden werden (Bild 4). Der SPS-Simulator PLCSIM wird aus dem „Simatic Manager“ gestartet und das Steuerungsprojekt in PLCSIM genau so geladen, als wäre eine reale SPS an den „Simatic Manager“ angeschlossen. Die durch das Modell dargestellte Steuerung ist also bezüglich des Steuerungsprogramms identisch mit der realen Maschinensteuerung.

Simulation des gekoppelten Gesamtsystems

Im Sinne der Durchgängigkeit der Prozesskette erfolgt deren Erweiterung um die Stufe der Simulation in „SimVA IMS“ durch eine enge Kopplung der Simulation im SPS-Simulator mit der Simulation der steuerungstechnischen Objekte des Maschinenmodells. Der Anwender startet lediglich die Simulation in „SimVA IMS“, von der aus automatisch die SPS-Simulation in PLCSIM ausgeführt wird. Dabei werden zyklisch alle durch die Kopplung zwischen Ma-



schinen- und Steuerungsmodell definierten Ein- und Ausgangssignale ausgetauscht, sodass sich ein realitätsnahes Verhalten des Gesamtsystems in steuerungstechnischer Sicht ergibt. Die Qualität der Simulation ist abhängig von der Qualität der Simulationsobjekte sowie dem durch die Hardware des Simulationsrechners und seines Betriebssystems gegebenen Zeitverhalten des Gesamtmodells. Für die Steuerungsentwicklung im Sondermaschinenbau ist die auf einem Standard-PC unter Windows XP [9] erreichbare Qualität nach den bisherigen Erfahrungen mit mehreren großen Steuerungsprojekten absolut ausreichend.

Beispiel zur Steuerung einer Synchronisationsaufgabe

Der Einsatz von „SimVA IMS“ im Rahmen der Steuerungsentwicklung wird anhand einer einfachen Automatisierungsaufgabe beispielhaft dargestellt: Ein Transportband führt kontinuierlich Produkte in konstantem Abstand an einer Bearbeitungseinrichtung vorbei. Das Eintreffen eines Produkts an der Bearbeitungseinrichtung wird durch einen Abstandssensor erfasst. Die Bearbeitung des Produkts soll dann bei laufendem Band durch die Hubbewegung eines Pneumatikzylinders erfolgen, der über ein 3/2-Wege-Impulsventil gesteuert wird. Dabei ist das in der Bearbeitung befindliche Produkt zeitlich synchron zur Hubbewegung des Pneumatikzylinders mittels eines feststehenden Stoppers bei laufendem Band zu fixieren. Die folgenden (informellen) Anforderungen werden an die Automatisierungslösung gestellt:

1. Start und Stopp des Transportbands mittels zweier Taster „Ein“ und „Aus“, wobei Taster „Ein“ als Leuchttaster die Bewegung des Transportbands anzeigen soll.
2. Sobald der Sensor ein Produkt signalisiert, ist der Stopper zu aktivieren.
3. Der Stopper ist zu deaktivieren, sobald die Bearbeitung

mittels Hubbewegung des Pneumatikzylinders beendet ist.

4. Sobald der Sensor ein Produkt signalisiert, ist der Pneumatikzylinder zur Bearbeitung des Produkts einzufahren.
5. Nachdem der Pneumatikzylinder vollständig eingefahren wurde, soll er wieder vollständig ausgefahren werden.

Die zur Steuerung der Einrichtung benutzten Signale sind im Technologieschema in Bild 5 dargestellt.

Aus den Anforderungen wird ein SPS-Programm entwickelt, das in Bild 6 als Funktionsplan dargestellt ist. Dabei wird den Anforderungen 1 bis 5 durch die Netzwerke 1 bis 5 entsprochen.

Die Simulation mit „SimVA IMS“ (Bild 7) zeigt einen Fehler der Automatisierungslösung, der durch eine unpräzise (und damit fehlerhafte) Anforderung begründet ist: Da der Abstand zwischen Förderbandbewegung größer null ist, wird das Produkt durch das Programm nach Bild 6 bereits dann bearbeitet, wenn es noch nicht durch den Stopper fixiert wurde. Dies ist durch die in Bild 7 dargestellte Kolbenstellung direkt erkennbar.

Eine erste Modifikation des Netzwerks 4 durch Einfügen einer Einschaltverzögerung um 300 ms, die sich aus der Bandgeschwindigkeit und dem Abstand des Sensors zum Stopper ergibt, ist in Bild 8 dargestellt.

Die Simulation mit „SimVA IMS“ zeigt zunächst das gewünschte Verhalten der

lenden Banddynamik. Er zeigt sich in der Momentaufnahme des Bilds 9 dadurch, dass der Leuchttaster „Ein“ im Gegensatz zu Bild 7 nicht mehr leuchtet.

Der Steuerungsentwickler ist in der Praxis nicht selten mit ähnlich unpräzisen oder fehlerhaften Anforderungen wie in diesem Beispiel konfrontiert. Ein steuerungstechnisches Simulationsmodell kann ihn während des gesamten Lebenszyklus einer Steuerungslösung unterstützen:

- Die Anforderungsanalyse wird durch die realitätsnahe Darstellung steuerungstechnischer Objekte während der Analyse erleichtert.
- Das Ergebnis jedes Schritts wie auch das Ergebnis der Gesamtheit der (bisherigen) Programmentwicklung ist

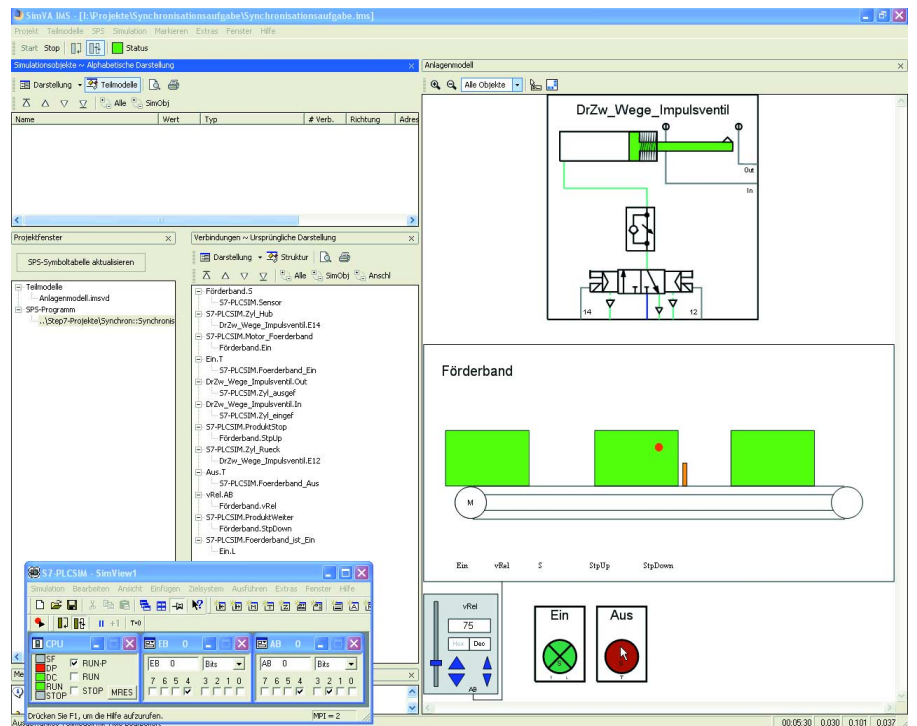


Bild 9. Simulation der beispielhaften Automatisierungsaufgabe mit SPS-Programm nach Bild 8

Automatisierungslösung. Durch Interaktion mit den Bedienelementen stellt man jedoch auch hier rasch ein unerwünschtes Verhalten fest, wie Bild 9 verdeutlicht: Beendet man die Bandbewegung durch Druck auf den Taster Aus genau dann, wenn sich die rechte Produktkante zwischen Sensor und Stopper befindet, wird das Produkt bearbeitet, obwohl es nicht durch den Stopper fixiert wurde.

Dies ist in Bild 9 anhand der Kolbenstellung direkt erkennbar: Den Bandstillstand erkennt man während der Simulation unmittelbar, anhand der feh-

lenden Banddynamik. Er zeigt sich in der virtuellen Umgebung testbar.

- Die Verfeinerung des Programms kann auch während des Aufbaus der realen Maschine zunächst am Entwicklungsarbeitsplatz erfolgen, ohne mit den Montagearbeiten zu kollidieren.
- Die Inbetriebnahme kann auf der Basis vorhergehender virtueller Tests rascher erfolgen.
- Die Anwenderschulung zur Bedienung einer komplexen Steuerungslösung (für eine Maschine oder Anlage) kann zunächst anhand des Modells durchgeführt werden.



- Für Servicearbeiten nach Auslieferung einer komplexen Steuerungslösung ist mithilfe des ablauffähigen Modells jederzeit ein konsistenter Wechsel zwischen der Bedienerseite auf die Maschine und der Sicht des Steuerungsentwicklers möglich.

Praxisbeispiel

„SimVA IMS“ wird seit mehreren Jahren erfolgreich im Sondermaschinenbau eingesetzt. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf einen Hersteller von kundenindividuellen Bearbeitungsmaschinen für Rundmaterial aus Spezialstählen, die zum Schälen, Richten und Polieren sowie für Zusatzarbeitsgänge wie Drahtziehen und Endenbearbeitung eingesetzt werden. Die Maschinen verfügen über Justiereinrichtungen zum Messen und Prüfen sowie über Handhabungssysteme zum Zu- und Abführen des Materials. Je nach Ausführung werden bis zu 30 elektrische Antriebe eingesetzt, die ein kontinuierliches Schälen und Weiterbearbeiten fortlaufend zugeführter Stangen ermöglichen.

Die Auslegung der Maschine richtet sich nach den spezifischen Eigenschaften des zu bearbeitenden Materials sowie nach der max. Bearbeitungsgeschwindigkeit und dem Durchmesserbereich des Materials, der auch sehr groß sein kann. So wird beispielsweise zum kontinuierlichen Schälen 10 m langer Stäbe (d. h. die Bearbeitung erfolgt ohne Unterbrechung zwischen den Stäben) eines gut zerspanbaren hitzebeständigen Stahls mit 280 mm Rohdurchmesser (Stabgewicht ca. 10 t) bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 1 m/min eine Schälantriebsleistung von 500 kW benötigt.

Die Einrichtung und Bedienung der Maschine erfolgt über Bedienpanels und Bedienpulte mit Leuchttastern, Schaltern und Anzeigeelementen. Die Bearbeitungs- und Transporteinrichtungen der Maschine sowie ihre Sicherheits- und Bedienelemente

werden über einen Feldbus von einer oder mehreren speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) sowie Motion-Control-Komponenten erfasst und gesteuert. Je SPS sind einige Hundert IO-Punkte zu berücksichtigen.

Obwohl das grundlegende Maschinenkonzept unverändert bleibt, ist die Maschinenproduktion regelmäßig mit der

Entwicklung einer kundenindividuellen Steuerung verbunden:

- Es kommen individuelle Quer- und Längsfördereinrichtungen zur Integration in Fertigungslinien zum Einsatz.
- Der Grad der Automatisierung wird kundenspezifisch ausgelegt.
- Die Bedieneinrichtungen werden individuell gestaltet.

Daher wird „SimVA IMS“ während aller Phasen der Steuerungsentwicklung eingesetzt. Einen Eindruck des „SimVA IMS“-Einsatzes während des Prüfens von Maschinenmeldungen zeigt Bild 10. Man erkennt vier in „SimVA IMS“ geöffnete Teilmodellfenster mit mehreren Sensoren, Schutzschaltern und Bedienelementen. Das Gesamtmodell mit ca. 400 Simulationsobjekten besteht aus weiteren Teilmodellen, von denen einige auf Reitern hinter dem Teilmodell mit dem Namen „Vorsch_R“ erkennbar sind. Weiterhin sind andere Engineering-Werkzeuge zu erkennen, mit denen „SimVA IMS“

in der Phase der Programmentwicklung geprüft und gegebenenfalls verbessert werden. Die inkrementelle Programmentwicklung führt mit den in mehreren Zyklen durchgeführten Schritten „Entwurf – Codierung – Test“ zu einer kontinuierlichen Qualitätsverbesserung des Steuerungsprogramms. Als Folge davon muss während der Inbetriebnahme der Maschine oder Anlage ein deutlich geringerer Aufwand für Programmverbesserungen – im Idealfall keinerlei zusätzlicher Aufwand mehr – betrieben werden. Der zur Modellerstellung notwendige Aufwand

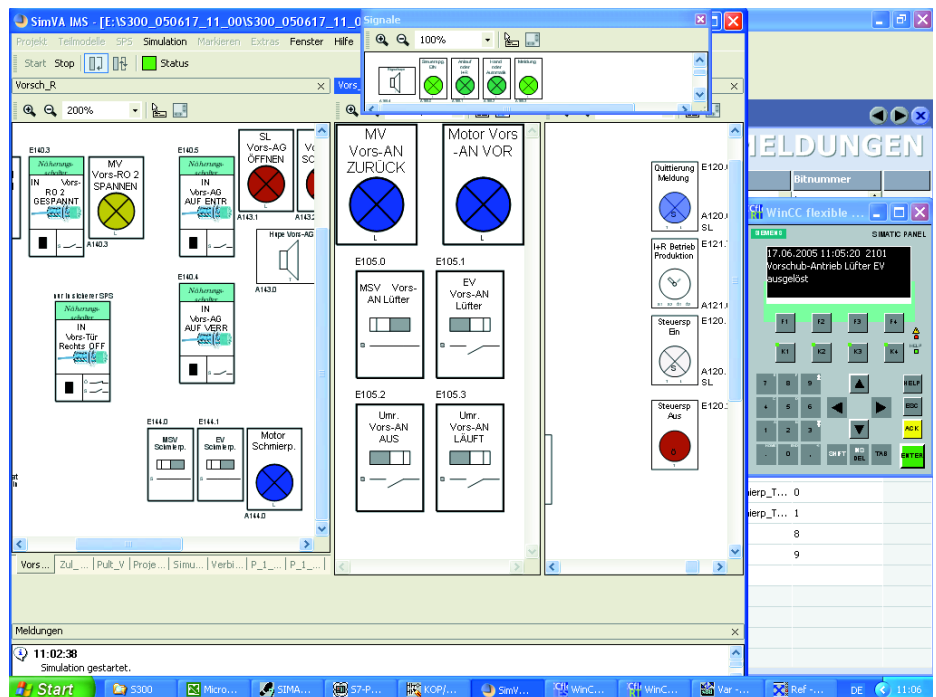


Bild 10. Rapid Control Prototyping während des virtuellen Testens von Maschinenmeldungen

während der Simulation zusammenarbeitet. Zum Beispiel erfolgt die Meldung zur Überwachung eines Verbraucherabzweigs auf ein Entwicklungswerkzeug für das Operator-Panel OP 77B.

Durch die integrierte Simulation ist es unabhängig von den realen Maschinenkomponenten möglich, die SPS-Programme zu entwickeln und im Besonderen auch realitätsnah zu testen. Somit können kritische Maschinenfunktionalitäten, wie

- Einzelaggregatsteuerung,
- Materialverfolgung,
- Not-Halt,
- Verhalten bei Sensorfehlern,
- Anlaufverhalten nach Not-Halt oder Sensorfehler,
- kundenindividuelles Bedienkonzept, nicht erst bei der Inbetriebnahme, sondern bereits zuvor während der jewei-

ligen Phase der Programmentwicklung geprüft und gegebenenfalls verbessert werden. Die inkrementelle Programmentwicklung führt mit den in mehreren Zyklen durchgeführten Schritten „Entwurf – Codierung – Test“ zu einer kontinuierlichen Qualitätsverbesserung des Steuerungsprogramms. Als Folge davon muss während der Inbetriebnahme der Maschine oder Anlage ein deutlich geringerer Aufwand für Programmverbesserungen – im Idealfall keinerlei zusätzlicher Aufwand mehr – betrieben werden. Der zur Modellerstellung notwendige Aufwand

Rapid Control Prototyping und „SimVA IMS“

Als wesentliche Merkmale des Rapid Control Prototyping werden in [4] genannt:

- Einsatz eines Prozessmodells (modellgestützter Entwurf);
- Entwicklung eines automatisierten Systems durch Simulation von Prozess und Automatisierung;
- Nutzung einer grafischen Umgebung;
- Bereitstellung einer durchgehenden Werkzeugkette zur Methodenintegration;

- Weiterentwicklung des modellbasierten Testens, sodass Aspekte der Simulation mit denen von Analyse, Verifikation und Synthese vereint werden können.

Der Vergleich dieser Merkmale mit der hier beschriebenen Steuerungsentwicklung mittels „Simatic Manager“ und „SimVA IMS“ zeigt, dass der diskutierte Ansatz grundlegende Merkmale des Rapid Control Prototyping für praktische Anwendungen im Bereich des Spezialmaschinenbaus erfüllt:

- Einsatz eines Prozessmodells: Ein mit „SimVA IMS“ aufgebautes Maschinenmodell modelliert die steuerungstechnischen Aspekte des Gesamtsystems „Maschine“. Weitere Aspekte können durch entsprechende Simulationsobjekte komponentenbezogen modelliert werden.
- Simulation von Prozess und Automatisierung: Das steuerungstechnische Maschinenmodell und seine Steuerung werden mittels „SimVA IMS“ simuliert, wobei die Steuerungssimulation im hier vorgestellten Einsatz durch PLCSIM erfolgt.
- Nutzung einer grafischen Umgebung: „SimVA IMS“ nutzt zweidimensionale Grafik zur realitätsnahen Visualisierung realer steuerungstechnischer Objekte. Die Visualisierung anderer Objekte ist komponentenbezogen möglich. Die Entwicklung der Automatisierungslösung kann mithilfe grafischer Werkzeuge der steuerungstechnischen Entwicklungsumgebung erfolgen.
- Bereitstellung einer durchgehenden Werkzeugkette: Zur Kopplung des Maschinenmodells mit dem Steuerungsmodell und zur Simulation des gekoppelten Gesamtsystems arbeitet „SimVA IMS“ eng mit der steuerungstechnischen Entwicklungsumgebung und der dazugehörigen SPS-Simulation zusammen.

- Modellbasierte Analyse, Verifikation und Synthese: Die Analyse von Steuerungsproblemen ist mit „SimVA IMS“ möglich, jedoch werden Verifikation und Synthese bisher nicht unterstützt.

Verfahren zur Verifikation sind noch Forschungsgegenstand. Der technisch mögliche Einsatz von Verfahren zur Synthese stößt bei Praktikern des Control Engineering im Sondermaschinenbau auf große Skepsis: Man befürchtet, dass synthetisierte Programme nicht fehlerfrei und nicht manuell korrigierbar sind.

Literatur

- [1] Berkermann, U.; Büchner, H.: Maschinenbau in Deutschland – Traditionsbranche mit hoher Innovationskraft. IKB-Report. Düsseldorf: IKB Deutsche Industriebank, 2004. Online-Dokument unter: www.ikb-pe.de/content/de/Service/Maschinenbau_Juni_2004.pdf
- [2] Lunze, J.: Automatisierungstechnik – Methoden für die Überwachung und Steuerung kontinuierlicher und ereignisdiskreter Systeme. München: Oldenbourg, 2003 (ISBN 3-486-27430-9)
- [3] Abel, D.; Bollig, A.: Rapid Control Prototyping – Methoden und Anwendungen. Berlin-Heidelberg: Springer, 2006 (ISBN 3-540-29524-0)
- [4] Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren – Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. Springer, 2005
- [5] Orth, P.: Rapid Control Prototyping diskreter Steuerungen mit Petrinetzen. VDI-Fortschrittsbericht Nr. 1 085. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2005 (ISBN 3-18-508508-6, ISSN 0178-9546)
- [6] SimVA Software & Services GmbH, Gronau (Westf): www.simva.de
- [7] Step 7 Basispaket. Siemens A & D, Erlangen: www.automation.siemens.com/simatic/industriesoftware/html_00/produkte/software-step7.htm
- [8] S7-PLCSIM – Das Simulationswerkzeug. Siemens A & D, Erlangen: www.automation.siemens.com/simatic/industriesoftware/html_00/produkte/software-s7-plcsim.htm
- [9] Windows. Microsoft, Redmont, Washington/USA: www.microsoft.com