

## 3-D-Projektierung und Simulation von Ablaufsteuerungen

D. Spath, R. Landwehr

**Inhalt** Steuerungsprogramme für Ablauf- und Verknüpfungssteuerungen werden immer noch oft in sehr maschinennahen Sprachen wie AWL erstellt. Diese klassische Methode verursacht Probleme, weil beim Aufbau oder dem Projektieren von SPS-gesteuerten Anlagen verschiedene Verantwortliche aus verschiedenen Abteilungen mit verschiedenen Hintergründen zusammen verantwortlich sind. Im vorliegenden Beitrag wird eine Möglichkeit gezeigt, wie SPS-Programme grafisch und interaktiv in einer VR-Umgebung erstellt werden können.

### Three-dimensional programming and simulation of PLC-controlled manufacturing systems

**Abstract** Software development for programmable logical controllers is usually based on low-level languages such as instruction list or ladder diagram. This classical method causes a lot of problems since this special view upon the production systems to be controlled does not suit the people from different departments in charge. It is the aim of the paper to show a way developing PLC-software graphically and interactively within a Virtual Reality (VR) based system.

## 1 Einleitung

Der Automatisierungsmarkt befindet sich derzeit in einem dramatischen Wandel. Seit dem Übergang von festverdrahteten Schütz- und Relais-Schaltungen hin zu Frei- oder Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) Ende der 60er Jahre ergaben sich keine derart durchgreifenden Änderungen mehr [1, 2]. Nach dem Durchbruch von Standard-Hard- und Software aus dem Massenmarkt „Office-PC“ in das bis dato von herstellerspezifischen, hardware-orientierten Systemen dominierte Angebot an Automatisierungsgeräten bieten sich neue Anwendungen und Anbieter an, Preisgefüge werden aufgebrochen, Innovationen entstehen [3].

### 1.1 Problemstellung

„Simultaneous Engineering“ ist in den letzten Jahren zu einem Schlagwort bei der Entwicklung neuer Produkte und der entsprechenden Produktionsanlagen geworden. Es steht für die konsequente Parallelisierung von Projektierungsabläufen und den ständigen Informationsaustausch zwischen den Mitgliedern des Projektteams. So wird einerseits die Durchführungszeit erheblich gesenkt, andererseits werden Fehler in frühen Phasen der Planung schneller gefunden und behoben. Das spart Zeit und senkt damit Kosten.

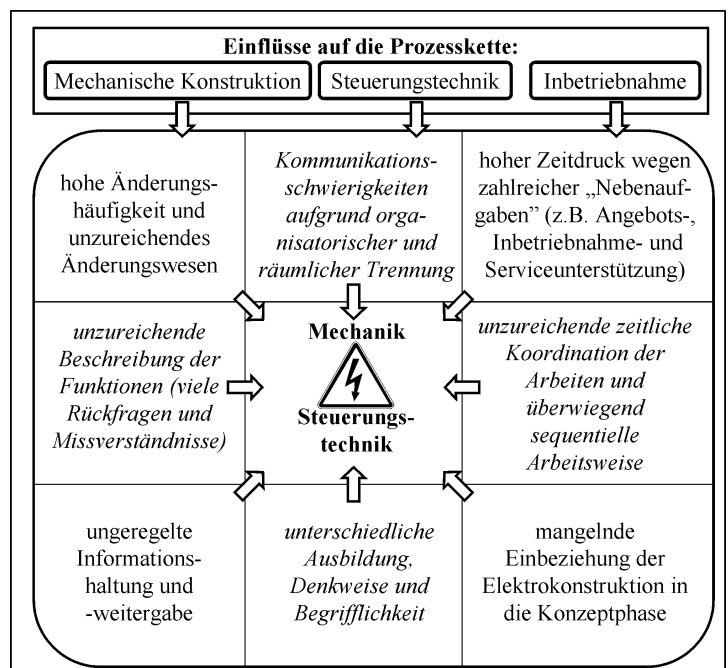
o. Prof. Dr.-Ing. D. Spath, Dipl.-Ing. R. Landwehr  
Universität Karlsruhe (TH)  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik  
Kaiserstr. 12, D-76128 Karlsruhe  
E-Mail D. Spath: Dieter.Spath@mach.uni-karlsruhe.de  
E-Mail R. Landwehr: Robert.Landwehr@mach.uni-karlsruhe.de

Bei der Projektierung einer automatisierten Montage- oder Fertigungseinrichtung ergeben sich mehrere Aufgaben: Neben der Konfiguration der Anlage ist vor allem die Programmierung der Einzelelemente und der Anlage als Ganzes wichtig. Während Fertigungsanlagen vorwiegend mit NC-Programmen arbeiten, finden sich in der automatisierten Montage und bei Handhabungseinrichtungen vor allem „Speicherprogrammierbare Steuerungen“ (SPS).

In der Praxis zeigt sich leider, dass der Ansatz, vor dem Aufbau der Anlage Programmierung und Test der SPS-Programme durchzuführen, häufig an der Komplexität der Aufgabe scheitert. Das liegt einerseits an den eingeschränkten Entwicklungs- und Testwerkzeugen der klassischen, verknüpfungsorientierten Programmiermethoden, und andererseits an den unterschiedlichen Sichtweisen der an der Leistungserstellung beteiligten Fachbereiche (**Bild 1**). Besonders sei hier der Konflikt zwischen Mechanik und Steuerungstechnik genannt.

Letztlich führt dies dazu, dass der Test der Programme im Wesentlichen an der schon aufgebauten Anlage vorgenommen wird. Erst hier werden Programmierfehler sowie Diskrepanzen bei Hard- und Software entdeckt und müssen mit langen Inbetriebnahmezeiten bezahlt werden.

Verschiedene Untersuchungen zeigten, dass speziell die Software-Entwicklung der Steuerungstechnik für den Großteil der in dieser Phase auftretenden Fehler verantwortlich ist (**Bild 2**).



**Bild 1. Probleme der sequenziellen Prozesskette zur Projektierung und Wartung von SPS-Software in Unternehmen des Maschinenbaus am Beispiel der Schnittstelle Mechanik/Steuerungstechnik/Inbetriebnahme**

## 1.2 Forderungen an ein integrierendes Projektierungswerkzeug

Wegen der unmittelbaren optischen Anzeige und Visualisierung und der Möglichkeit der direkten Manipulation verfügen diese von der Technologie der Virtuellen Realität genutzten Schnittstellen über ein hohes Motivationspotential. Allerdings erfahren diese Systeme aufgrund ihrer Zweidimensionalität Einschränkungen, sobald eine dreidimensionale Darstellung für das Verständnis der Aufgabe nötig oder zumindest hilfreich wäre. Neue Ansätze finden sich daher in der dreidimensionalen Modellierung der Anlage.

Mit Virtual-Reality-Systemen ist das natürliche Problemlösungsverhalten des Menschen weit mehr als mit den bisherigen Benutzerschnittstellen nutzbar. Das ist möglich, weil die realitätsnahe Gestaltung synthetischer Umgebungen und die Möglichkeit der 3-D-Interaktion in Echtzeit stets einen Bezug zu realen Verhältnissen herstellt. Dem Benutzer ist es deshalb möglich, intuitiv oder erfahrungsbasiert zu handeln und so auch komplexere räumliche Probleme zu behandeln, ohne dabei von Limitationen gehemmt zu sein.

Das Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik, Karlsruhe, erarbeitet im Rahmen des Leitprojekts „Innovative Technologien und Systeme für die virtuelle Produktentstehung“ (kurz iViP) in den Teilprojekten 4.3 und 5.1 ein Konzept, das die SPS-Prozesskette mit den vorn skizzierten Defiziten mittels der Technologie der Virtuellen Realität verbessern soll [6]. Dieses soll auf grafisch interaktive Weise, mit Hilfe grafischer Repräsentationen der Aktionen und Wechselschaltbedingungen sowie einfacher Benutzerdialoge zur logischen Verknüpfung realisiert werden. Schnittstellenverluste über den Entstehungsprozess der Anlage werden somit durch diese für jeden an der Prozesskette Beteiligten verständliche Darstellungsform erheblich reduziert. Der eigentliche SPS-Code wird letztendlich automatisch erzeugt. Das dynamische 3-D-Modell mit hinterlegter Steuerungsfunktionalität kann zudem als integrierte Simulationsumgebung dienen [7].

Aufgrund der Kopplung technologischer und steuerungstechnischer Informationen an die dreidimensionale VR-Darstellungsform wird die Wiederverwendbarkeit bestehender Software-Bausteine erleichtert. Unternehmensbereiche, die den eigentlichen Kernbereichen der SPS-Projektierung (das sind Konstruktion und Steuerungstechnik) vorgelagert (z.B. Vertrieb) oder nachgelagert (z.B. Inbetriebnahme) sind, werden von der VR-Kommunikations- und Kooperationsplattform unterstützt. Diese erlaubt gemeinsames Arbeiten ohne temporäre oder lokale Restriktionen.

## 2 Forderungen

Das Erstellen fehlerfreier, lauffähiger SPS-Programmen für automatisierte Produktionsanlagen ist ein wichtiges Teilziel des Planungsprozesses. Test und Simulation der SPS-Programme während der Planungsphase werden künftig im Zuge des zunehmenden Zeit- und Kostendrucks weiter steigende Bedeutung haben.

Bisher verfügbare Programmier-, Test- und Simulationsumgebungen werden den künftig komplexeren, mehrdimensionalen Forderungen an die Steuerungsaufgabe nicht gerecht: Sie fordern eine vollständig neue Denkweise in der Software-Erstellung.

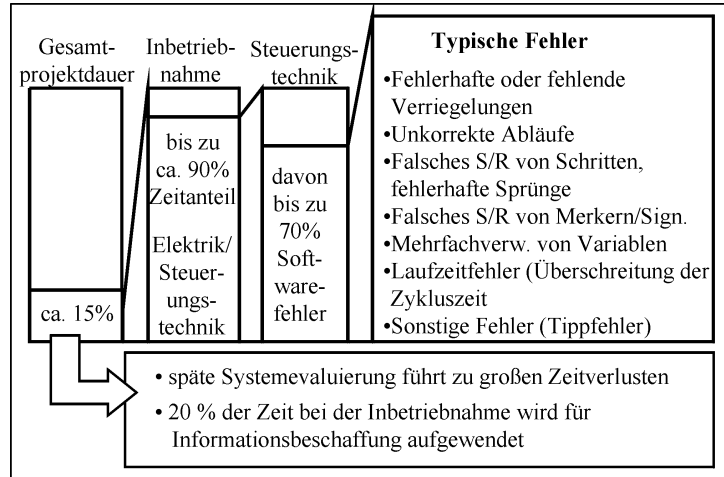


Bild 2. Untersuchungsergebnisse von Inbetriebnahmeanalysen [4, 5]

Ziel der laufenden Entwicklungen am Institut ist die Konzeption und Entwicklung eines Software-Werkzeugs, das die Prozesskette der SPS-Projektierung nachhaltig verbessert. Die verwendete VR-Methodik und das dynamische 3-D-Modell sollen dazu beitragen, die Qualität der entstehenden Software zu erhöhen. Umgesetzt werden kann das mittels einer deutlich vereinfachten Programmiermethodik und der Möglichkeit der frühzeitigen Simulation der Abläufe, den Engineeringprozess zu parallelisieren und somit zu verkürzen [8].

Voraussetzung für das Erreichen dieses Ziels sind das Konzept eines konsistenten Datenmodells sowie eine einfache, intuitive und für alle an der Prozesskette beteiligten Abteilungen verständliche Programmiermethodik. In Kombination mit Forschungsergebnissen aus der Netzwerk- und Kommunikationstechnik lässt sich daraus eine VR-Applikation zum räumlich verteilten Projektieren aufbauen.

## 3 Vorstellung eines VR-gestützten SPS-Projektierungswerkzeugs

### 3.1 Aufbau des Systems und prototypische Anwendung des Projektierungswerkzeugs

Die Teilschritte der Projektierung und Spezifikation VR-gestützter SPS-Programme lassen sich unterscheiden in:

- Festlegen der Geometrie und anderer rein äußerlicher Ausprägungen der Komponenten in der Betriebsmittelbibliothek,
- Festlegen der Komponenten-Grundfunktionalitäten in der Betriebsmittelbibliothek,
- interaktives Konfigurieren der Anlage mit Hilfe von Betriebsmittelbibliotheken,
- logische Verknüpfung der Sensoren und Aktoren zu Funktionsbausteinen mit Hilfe grafischer Repräsentationen,
- sequentielle Verknüpfung der Funktions- zu Ablaufbausteinen,
- Übertragung des erzeugten Ablaufs in einen Steuerungscode,
- Simulation des Steuerungscode im VR und
- gegebenenfalls Online-Kopplung Steuerung / VR.

Eine Übersicht hierzu bietet das Bild 3. Die Modellierung der entsprechenden Projektierungswerkzeuge erfolgt derzeit in

der kommerziell erhältlichen VR-Umgebung AnySIM der Fa. Tecnomatix.

### 3.1.1 Modellierung der Betriebsmittel und Aufbau der Betriebsmittel-Bibliotheken

Aufgrund der noch unzureichend zur Verfügung stehenden 3-D-Schnittstellen zu CAD-Programmen erfolgen Strukturierung und Modellierung der Betriebsmittel in der VR-Umgebung. Damit wird bisher eine Redundanz der geometrischen Modellierung zwangsweise in Kauf genommen. Im Bundesleitprojekt „iViP“ [6] werden diese Probleme von der ganzen Produktentwicklungsprozesskette bearbeitet. Allerdings kann bei der VR-basierten Modellierung konkret auf den für die Projektierung wichtigen Informations- und Funktionsgehalt der grafischen Objekte eingegangen werden. Ziel ist die Abbildung des für die SPS-Programmierung wichtigen Verhaltens, also beispielsweise das Schaltfeld eines Näherungssensors oder die Wirkung eines Pushers auf Werkstücke oder Werkstückträger. Das wird in **Bild 4** als die funktionale Eigenschaft der Komponenten für die Betriebsmittelbibliothek (f) bezeichnet, die sich an die reine geometrische Modellierung (g) anschließt. Wie die geometrischen Eigenschaften eines Betriebsmittels lassen sich auch dessen Funktion und physikalische Eigenschaften je nach VR-System fast unbegrenzt detailliert abbilden. Die modellierten Betriebsmittel werden in einer Bibliothek abgelegt, um mit den im Folgenden beschriebenen Werkzeugen aufgerufen, eingefügt und manipuliert zu werden.

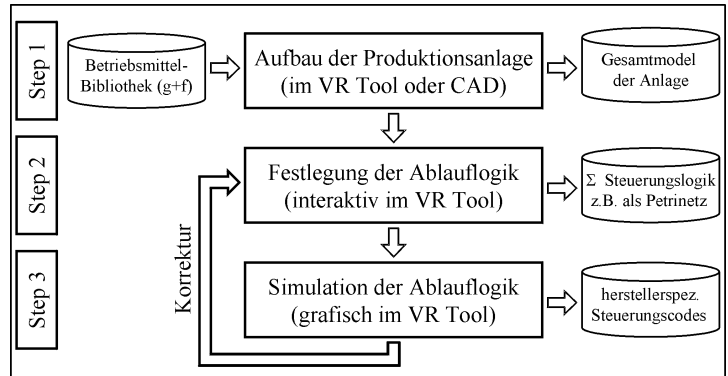
### 3.1.2 Festlegen der Ablauflogik

Im Anschluss an die Bereitstellung parametrisierter Komponenten in der Bibliothek der steuerungstechnischen Komponenten wird die Anlage im VR zusammengestellt, und die Komponenten werden zueinander geometrisch ausgerichtet. Es folgt die logische Verschaltung einzelner Sensoren, Merker und Aktoren zu kleinsten Steuerungsnetzwerken, die danach zur Gesamtlogik der Anlagensteuerung (z.B. als Petrinetz) aneinander gefügt werden (**Bild 5**). Hierbei sind je nach Aufgabe sequenzielle Ansätze wie die Schrittkettenprogrammierung oder aber nichtsequenzielle Ansätze wie die Zustandsgrafiken denkbar.

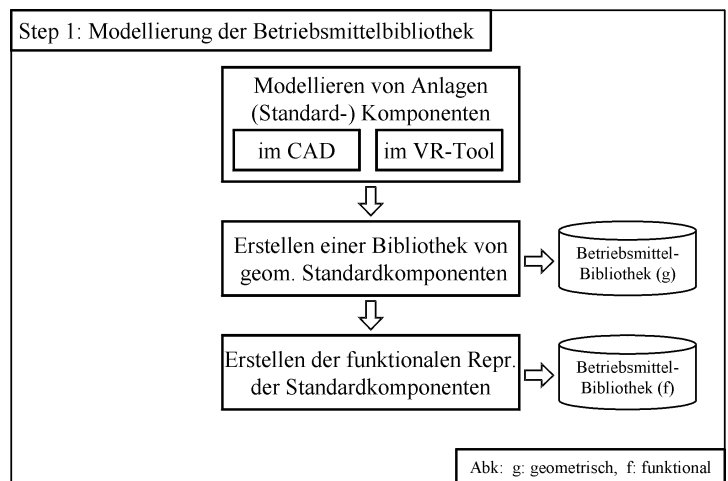
Als rechnerinternes Datenmodell wird an dieser Stelle aufgrund der guten Analysierbarkeit ein Petrinetz verwendet [9]. Diese Möglichkeit der Hinterlegung von Steuerungslogik kann in Tabellenform von relationalen Datenbanken ohne großen Programmieraufwand erfasst werden. Anhand frei verfügbarer Algorithmen ist ihre Verklemmungsfreiheit nachweisbar.

### 3.2 Funktionskontrolle der SPS-Software mittels Simulation

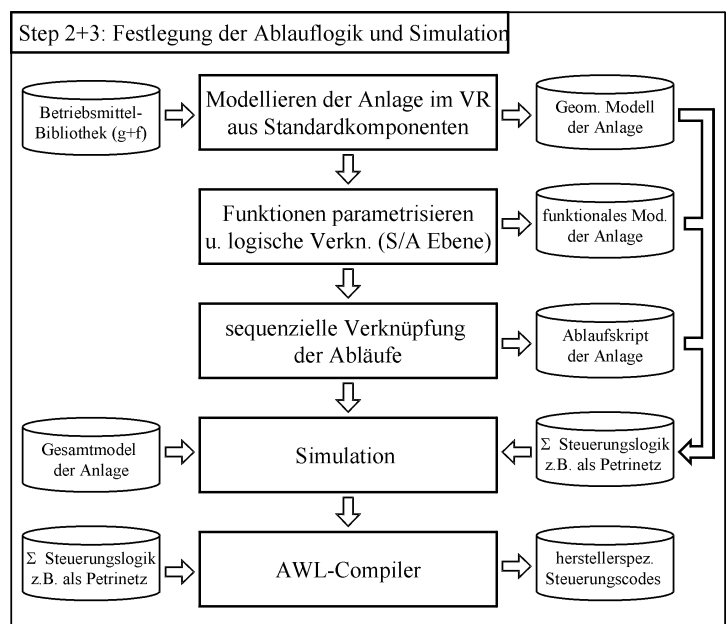
Die Trennung zwischen Projektierung und Simulation der Software lässt sich anhand des beschriebenen VR-Modells (Geometrie und Ablauflogik) aufheben. Ziel ist eine integrierte Umgebung, in der sowohl die Online- als auch die Offline-Simulation realisiert ist. **Bild 6** zeigt die Optionen, die parallel möglich sein müssen, um größtmögliche Transparenz und Flexibilität der verwendeten Werkzeuge zu gewährleisten und um den Benutzer nicht auf eine einzige Vorgehensweise zu beschränken:



**Bild 3. Vorgehensweise bei der grafisch-interaktiven Steuerungserstellung mit Virtual Reality**



**Bild 4. Modellierung der Betriebsmittelbibliothek, bestehend aus Sensoren und Aktoren (zuerst geometrisch und anschließend funktional)**



**Bild 5. Geometrischer Aufbau der Produktionsanlage aus der Betriebsmittel-Bibliothek mit logischen Verschaltungen**

**Simulation 1**

Der auf der Basis der Visuellen Programmiermethodik erzeugte Ablauf wird in der VR-Umgebung simuliert und validiert. Ein Compiler setzt den systeminternen Ablaufcode in eine der SPS verständliche Sprache um.

**Simulation 2**

In herkömmlichen Programmiersprachen erstellte Programme werden vom VR-Modell interpretiert und ausgeführt. Besondere Schnittstellen und der hohe Grad an Interaktivität mit Modell und Funktionalität erlauben die Simulation von Betriebsarten wie „Hand“ oder „Tipp“.

**Simulation 3**

Eine Verbindung zwischen VR-Modell und der E/A-Ebene der SPS erlaubt die direkte Kopplung zwischen Simulation und SPS. Die SPS schickt zu definierten Zeitpunkten ein Systemabbild an das VR-Modell, das die Aktionen ausführt. Zum nächsten Zyklus liest die SPS den geänderten Systemzustand wieder ein. Eine enge Koordination von Zykluszeit der SPS und Programmbearbeitung des VR-Modells ist notwendig. Bei vorliegendem SPS-Programm besteht auch hier die Möglichkeit der direkten Beeinflussung des Ablaufes, z.B. mit virtuellen Bedien-Einheiten.

**3.3 Aktueller Stand des VR-gestützten SPS-Projektierungswerkzeugs**

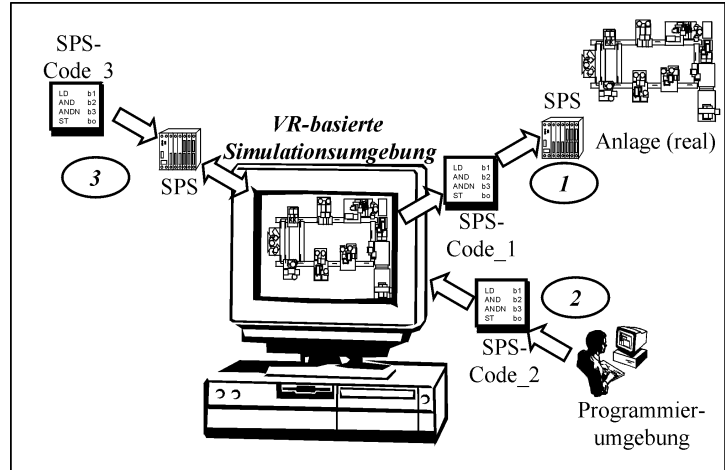
Das am Institut entwickelte Tool unterstützt derzeit die Virtual-Reality-Umgebungen von Tecnomatix (AnySIM) und von VRT (Superscape). Die Funktionalitäten der Programmierschnittstellen der Softwarepakete sind sehr verschieden, somit unterscheiden sich auch die jeweiligen adaptiv entwickelten SPS-Projektierungswerkzeuge sehr voneinander. Für Geometrie und Funktionalität der steuerungstechnischen Komponenten werden jeweils anwendungsspezifische Formate benutzt. Diese sollen langfristig durch ein durchgängiges Datenformat (3-D-CAD-Modell = VR-Modell) ersetzt werden.

Bisher wurde die Funktionalität der Vorgehensweise an zwei Prototypen nachgewiesen [9]. Im Rahmen des BMBF-Projekts iViP wird das Tool weiterentwickelt und verfeinert. Es soll eine breite Datenbasis (Geometrie und Funktionalität) für das Erstellen einer SPS-gesteuerten Produktionsanlage entstehen, die den einfachen Aufbau aus parametrisierten Standardbauteilen möglich macht (Bild 7).

Des weiteren sollen steuerungstechnische Aufgaben wie das virtuelle Verdrahten (Bild 8) und das verschalten der Komponenten (Sensoren und Aktoren) intuitiver als bisher gestaltet werden (Bild 9).

**4 Zusammenfassung**

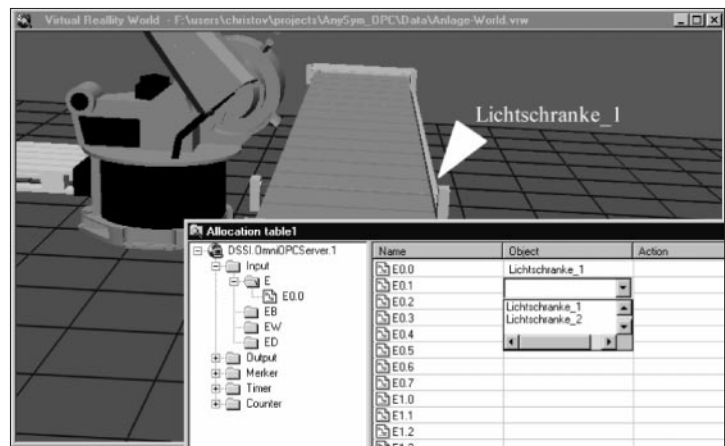
Die Entwicklung der rechnergestützten Hilfsmittel zum Steuerungsentwurf und die Programmiersprachen für Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) konnten mit der Entwicklung der Funktionalität der Steuerungen und der zunehmenden räumlichen und organisatorischen Trennung von den an der Projektierung beteiligten Fachabteilungen nicht Schritt halten. Zudem erfüllen die der Konstruktion und Steuerungstechnik zwischengeschalteten Beschreibungsformen einer Fertigungsaufgabe ihren Zweck als ein



**Bild 6. VR-basierte Simulation**



**Bild 7. Komponenten aus der Bibliothek einfügen und ausrichten**



**Bild 8. Virtuelles Verdrahten am Beispiel einer Lichtschranke**

allseits verständliches Integrationsmedium nur unzureichend [10].

Die in den letzten Jahren entwickelte und zur Anwendungsnähe gebrachte Technologie der „Virtuellen Realität“, der dynamischen dreidimensionalen Darstellung von Produkten und Prozessen, verbunden mit Möglichkeiten der Interaktion mit Objekten und Funktionen, ist eine Lösungsmöglichkeit dieser Problematik.



Ziel der vorgestellten Arbeit ist eine auf der Basis grafischer Repräsentationen und der Interaktion mit den Objekten basierende Programmiermethodik für SPS-Software. Hierzu wird ein hierarchisch aufgebautes VR-Modell definiert, das von der Sensor-/Aktor-Ebene bis hin zur Anlagen-Ebene ausgeht [9].

Schließlich können aus modular aufgebauten Betriebsmittel- oder Anlagenbibliotheken und entsprechend hinterlegter Steuerungsfunktionalität Steuerungsprogramme grafisch interaktiv erzeugt und vor der eigentlichen Inbetriebnahme am virtuellen Modell simuliert und getestet werden. Zudem bietet sich das VR-Modell als Diskussions-, Schulungs- und Integrationsmedium an.



Bild 9. Komponenten (Sensoren und Aktoren) verknüpfen

## Literatur

- [1] v. Raven, M.: Der Wandel des globalen Automatisierungsmarktes – Herausforderung für alle. atp 39 (1997) H. 6, S. 15–20  
 [2] Scherff, B.: Globalisierung des Marktes erfordert offene, integrierte Automatisierungslösungen. VDI/VDA-GMA Fachtag. Steuerungstech. u. Methodik komplex. Anwendungen. Langen, 30.9./1.10.1997  
 [3] Wucherer, K.: Totally integrated automation: A concept for manufacturing and process industries. ARC's Automation Strategies Forum, Boston (USA), 24.6.1997  
 [4] VDW-Ber. 0162: Abteilungsübergreifende Projektierung komplexer Maschinen und Anlagen. WZL Aachen, 1997  
 [5] Schelberg, H.-J.: Objektorientierte Projektierung von SPS-Software. Diss. Univ. Karlsruhe 1994

- [6] Krause, L. u.a.: Rahmenantrag zum Leitprojekt „Virtuelle Produktentstehung“, Projekte 4.3 u. 5.1. Fraunhofer IPK Berlin, VW AG Wolfsburg, Siemens Business Services Paderborn, Jan. 1998  
 [7] Spath, D.; Landwehr, R.: Planung komplexer Produktionssysteme durch Techniken der virtuellen Realität. Abschl.kolloq. DFG Schwerpkt-progr. Modellieren in der Produktion (Laufzeit 1994–1997), Univ. Hannover; IFA, 08.03.2000  
 [8] Spath, D.; Landwehr, R.: Virtual methods in programming and simulation of programmable logic controlled manufacturing systems. 2000-Int. CIRP Design Semin., Haifa (Israel), 16.-18.5.2000  
 [9] Osmers, U.: Projektieren Speicherprogrammierbarer Steuerungen mit Virtual Reality. Diss. Univ. Karlsruhe 1998  
 [10] Osmers, U.; Weber, J.: Unterstützung von Planungssystemen durch Techniken der Virtuellen Realität. wt Werkstattstechnik 86 (1996) H. 3