



ARBEITSPAPIERE DER NORDAKADEMIE

ISSN 1860-0360

Nr. 2014-07

Das Kreismodell als Grundlage der Entwicklungsmethodik für cyber-physikalische Systeme

Prof. Dr.-Ing. Volker Ahrens, Dipl.-Inf. (FH) Martin Hieronymus

November 2014

Eine elektronische Version dieses Arbeitspapiers ist verfügbar unter:
www.nordakademie.de/de/arbeitspapiere/



Köllner Chaussee 11
25337 Elmshorn
www.nordakademie.de

Das Kreismodell als Grundlage der Entwicklungsmethodik für cyber-physikalische Systeme

Volker Ahrens, Martin Hieronymus

NORDAKADEMIE – Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

Abstract: Der Beitrag stellt zunächst ein weiterentwickeltes Vorgehensmodell zur Entwicklung mechatronischer Systeme vor, das das u. a. aus der VDI-Richtlinie 2206 bekannte V-Modell um die Phase des Systembetriebs sowie um eine zeitliche Dimension ergänzt und auf diese Weise zu einem Kreismodell bzw. Spiralmodell ausbaut. Anhand eines konkreten Beispiels zur hybriden Inbetriebnahme mechatronischer Systeme wird der Nutzen derartiger Vorgehensmodelle diskutiert.

1 Spezialisierung versus Generalisierung

Technische Produkte sind heute ebenso wie die zu ihrer Herstellung erforderlichen Produktionsprozesse zumeist eine Kombination aus Mechanik, Elektrotechnik/Elektronik sowie Datenverarbeitungs- und Kommunikationstechnik bzw. Informatik. Daher bezeichnet man sie mit dem Kofferwort „Mechatronik“ (VDI 2004). Darin sind allerdings nur Teile der Begriffe „Mechanical Engineering“ und „Electronic Engineering“ miteinander verschmolzen, was sich historisch damit begründen lässt, dass die Informatik zu Beginn der Entwicklung noch eine geringere Rolle spielte. Inzwischen hat sie allerdings eine dominante Rolle eingenommen. Daher erscheint es durchaus sinnvoll, dies durch eine neue Bezeichnung zum Ausdruck zu bringen.

Dafür gibt es viele Angebote, so zum Beispiel das Internet der Dinge, womit die Verbindung der physikalischen Welt der Dinge mit der virtuellen Welt der Kommunikationsnetzwerke zum Ausdruck gebracht werden soll, oder smarte Technologien, womit gemeint ist, dass Technologien aller Art mit künstlicher Intelligenz ausgestattet werden sollen. Ob und gegebenenfalls welcher der zahlreichen neuen Begriffe sich durchsetzen wird, ist nicht absehbar. Daher hat auch die Charakterisierung neuer Technologien als cyber-physikalische Systeme (CPS), die im Folgenden bevorzugt wird, nur vorläufigen Charakter. Begründen lässt sich diese Wahl damit, dass dieser Begriff nicht nur die Verbindung der gegenständlichen, also physikalischen Welt mit der virtuellen Cyber-Welt zum Ausdruck bringt. Hinzu kommt, dass der Cyber-Begriff nicht nur alles umfasst, was mit der Hard- und Software von Computern und Computer-Netzwerken in Verbindung steht, sondern auch auf die Kybernetik verweist, die in ihrer Ausprägung als Regelungstechnik den Kern der Automatisierungstechnik bildet, die wiederum in der aktuellen Entwicklung eine zentrale Rolle einnimmt. Und nicht zuletzt ist der System-Begriff hinreichend abstrakt, um Technologien aller Art umfassen zu können, zugleich aber in der Umgangssprache so weit verankert, dass sich auch Laien darunter etwas vorstellen können.

Was keiner der hier genannten und auch keiner der hier nicht genannten Begriffe zur Charakterisierung neuer Technologien zum Ausdruck bringt, sind die stark gestiegene Bedeutung der Wirtschaftlichkeit und die neuen Herausforderungen, die in gesellschaftspolitischer und juristischer Hinsicht zu bewältigen sind.

- Angesichts der hohen Wettbewerbsintensität, die heute auf nahezu allen Märkten vorherrscht, müssen Preise eng auf die Zahlungsbereitschaft der Kunden ausgerichtet werden. Daraus folgt, dass sich Produkteigenschaften daran orientieren müssen. Der Entwicklung von Produkten und Produktionssystemen bleiben dadurch für Innovationen immer weniger Spielräume. Um trotzdem erfolgreich zu sein, müssen die verbleibenden Spielräume noch intelligenter als bisher genutzt werden.
- Die immense Zunahme elektronisch Speicherbarer Daten und deren Personenbezogenheit und Personenbeziehbarkeit bergen ein Missbrauchspotenzial in bisher unbekanntem Ausmaß und führen tendenziell zu einer Machtakkumulation sowohl bei Privatunternehmen als auch bei staatlichen Institutionen mit bisher noch weitgehend unabsehbaren Folgen für die Zivilgesellschaft.

Für die Entwicklung von CPS bedeutet die damit einher gehende signifikante Zunahme an Komplexität, dass die dafür erforderlichen Kompetenzen in zwei Richtungen ausgeweitet werden müssen:

- Innerhalb der Einzeldisziplinen wie Mechanik (Maschinenbau), Elektrotechnik/Elektronik, Informatik (Datenverarbeitungs- und Kommunikationstechnik), Betriebswirtschaft und Recht lassen sich die anstehenden Aufgaben nur durch eine weiter zunehmende Spezialisierung bewältigen.
- Die Integration der Funktionen unter dem Primat der Wirtschaftlichkeit und der gesellschaftlichen Akzeptabilität bringt einen weiteren Ausbau der interdisziplinären Zusammenarbeit der Einzeldisziplinen mit sich. Dies erfordert eine Generalisierung von Kompetenzen.

Der Notwendigkeit einer Kompetenzausweitung steht die Einsicht entgegen, dass menschliche Verarbeitungskapazitäten begrenzt sind. Zwar lässt sich nicht objektiv erkennen, ob die Grenzen bereits erreicht sind. Faktisch wird der Kompetenzzuwachs jedoch derzeit unter anderem dadurch beschränkt, dass Zeiten verkürzt werden, die ganz wesentlich dem Aufbau von Kompetenzen dienen: die Reduzierung der Schulzeit bis zum Abitur von 13 auf 12 Jahre und die Kürzung von Studienzeiten im Zuge des Bologna-Prozesses sind Beispiele dafür.

Etwas anders sieht die Situation bei technischen Systemen aus. Das von Moore (1965, 114 ff.) formulierte Gesetz, nach dem sich die Komplexität und damit die Verarbeitungskapazität integrierter Schaltkreise etwa alle ein bis zwei Jahre verdoppelt, scheint noch immer gültig zu sein. Insoweit sind Hoffnungen nicht ganz unbegründet, den Komplexitätszuwachs durch Einsatz neuer Datenverarbeitungssysteme zumindest insoweit bewältigen zu können, als dies technisch möglich und sinnvoll ist. Allerdings ist davon auszugehen, dass dadurch nicht alle Defizite ausgeglichen werden können, die durch die Begrenztheit menschlicher Verarbeitungskapazitäten entstehen¹.

Kybernetisch fundierte Überlegungen sollen im Folgenden helfen, diese noch immer etwas unscharf umrissene Situation exakter zu erfassen. Den Ausgangspunkt bildet das von Ashby (1956, 202) formulierte Law of Requisite Variety, nach dem ein System, das ein anderes komplexes System zu lenken beabsichtigt, über möglichst viele eigene Variationsmöglichkeiten verfügen sollte, um auf möglichst viele Situationen angemessen reagieren zu können. Daraus folgt aus Sicht des lenkenden Systems in abstrakter Form die Notwendigkeit, angesichts einer hohen Außenkomplexität die Binnenkomplexität zu erhöhen, wie sie oben bereits aus der konkreten Situation hergeleitet wurde. Theorie und Praxis stimmen insoweit also überein. Führt

¹ Eine Begründung dieser Annahme, die hier vom eigentlichen Thema wegführen würde, lässt sich mit Hilfe der Überlegungen Arthur Gehlens (1957, 8) zur Organprojektion herleiten (vgl. auch Ropohl 2009, 181 ff.).

man die abstrakten Überlegungen fort, so stellt man fest, dass das lenkende System in der Folge aber nicht nur die Außenkomplexität, sondern zusätzlich auch seine Binnenkomplexität bewältigen muss. Und auch das bindet Ressourcen, auch dafür ist Komplexität erforderlich, die dann aber nicht mehr zur Bewältigung der Außenkomplexität zur Verfügung steht. Dies führt zu der Erkenntnis, dass eine Ausweitung von Komplexität zur Bewältigung von Komplexität zwar notwendig, aber nicht hinreichend ist, da stets mit Komplexitätsdefiziten gerechnet werden muss. Dieses Defizit müssen durch eine ergänzende Strategie kompensiert werden.

2 Modellbasiertes Systems Engineering

Allgemein lässt sich diese ergänzende Strategie als Selektion bezeichnen (Luhmann 1984, 74). Das bedeutet, dass die Fülle realer Erscheinungen auf eine möglichst kleine Menge derjenigen Aspekte reduziert wird, die für die jeweilige Situation relevant sind. Der sogenannte Konstruktivismus verallgemeinert dies zu der Annahme, dass jede menschliche Wahrnehmung der Wirklichkeit auf einer solchen Reduktion basiert (vgl. Roth 1986, 168). Von Modellbildung bzw. Modellierung soll im Folgenden gesprochen werden, wenn diese Reduktion bewusst auf der Basis begründeter Regeln erfolgt (Ahrens 1998, 14 ff.).

In technischen Disziplinen ist die Modellierung bereits seit Jahrzehnten etabliert. Besondere Bedeutung kommt in dieser Hinsicht dem Systems Engineering zu. Wesentlicher Bestandteil dieses Konzepts ist das Systemdenken (vgl. Haberfellner et al. 2012, 33 ff.). Die Systemtheorie hat ihre Wurzeln in der Kybernetik und dient wie diese als Basis für die Formulierung interdisziplinärer Ansätze. Im Unterschied zur Kybernetik legt sie den Schwerpunkt jedoch auf die Bereitstellung formaler Ordnungsmittel, mit deren Hilfe man den Aufbau und das Verhalten komplexer Objekte in beliebigen Wirklichkeitsbereichen zusammenhängend verstehen und in einer einheitlichen Sprache beschreiben kann (Ahrens 1998, 12 ff.). Daher sind die vorliegenden Ausführungen eher der Systemtheorie und in dieser Hinsicht insbesondere dem Systems Engineering zuzurechnen als der Kybernetik.

Trotz der Selbstverständlichkeit, mit der Modelle heute zur Problemlösung herangezogen werden, haben sich in den letzten Jahren Defizite offenbart. In der Praxis leidet man unter anderem darunter, dass nach wie vor ein großer Teil der Arbeit auf mehr oder weniger unstrukturierten Dokumenten basiert (Ahrens 2013, 251 ff.). Gestützt von einflussreichen internationalen Organisationen wie dem International Council on Systems Engineering (INCOSE) wird inzwischen daran gearbeitet, die Modellierung noch weiter auszubauen: „Model-based systems engineering (MBSE) is the formalized application of modeling to support system requirements, design, analysis, verification and validation activities beginning in the conceptual design phase and continuing throughout development and later life cycle phases. MBSE is part of a long-term trend toward model-centric approaches adopted by other engineering disciplines, including mechanical, electrical and software. In particular, MBSE is expected to replace the document-centric approach that has been practiced by systems engineers in the past and to influence the future practice of systems engineering by being fully integrated into the definition of systems engineering processes“ (INCOSE 2007, 15).

Orientierung bietet in dieser Hinsicht das sogenannte V-Modell als Vorgehensmodell zur Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme gemäß VDI-Richtlinie 2206 (Abb. 1). Darin

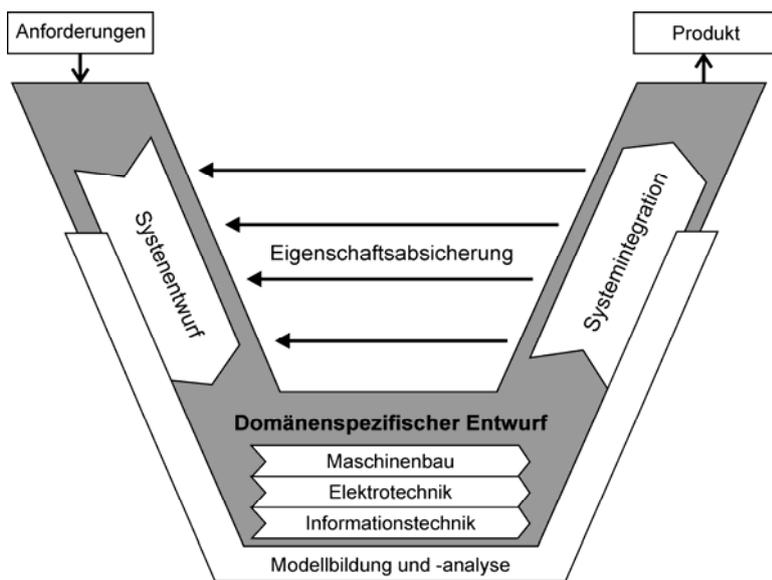


Abb. 1: V-Modell gemäß VDI-Richtlinie 2206 (VDI 2004, 27)

wird der interdisziplinäre Charakter heutiger Entwicklungsprozesse durch die parallele Darstellung von Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik angedeutet, und die Modellunterstützung soll den Prozess vom Systementwurf bis zur Systemintegration möglichst durchgängig unterstützen. Dieses Ausgangsmodell wurde von vier Lehrstühlen des Fachbereichs Maschinenbau und Verfahrenstechnik der Technischen Universität (TU) Kaiserslautern zusammen mit einem Industriekonsortium sowie in Kooperation mit der ProSTEP AG und der Gatech in Atlanta inzwischen erweitert

(Eigner 2013, 101). Wie Abb. 2 im Vergleich zu Abb. 1 zeigt, besteht der wesentliche Unterschied darin, dass die Modellbildung in Richtung Identifikation der Anforderungen² an das zu entwickelnde Produkt sowie in Richtung Systemintegration ausgeweitet wird. Dies trägt dem oben erläuterten Ziel einer Ausweitung der Modellunterstützung Rechnung.

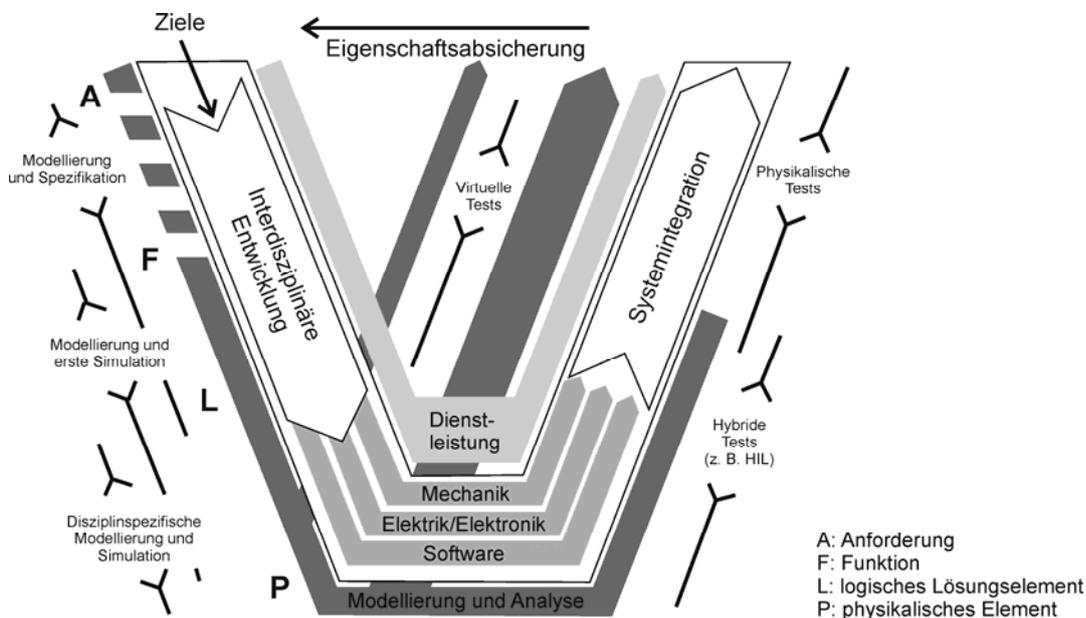


Abb. 2: Erweitertes V-Modell der TU Kaiserslautern in Anlehnung an Eigner (2012, 102)

Beiden Vorgehensmodellen ist jedoch gemeinsam, dass sie die Nutzungsphase technischer Systeme nicht mit einbeziehen. Dies mag auf den ersten Blick damit begründet sein, dass sich das

² Unklar erscheint in diesem Zusammenhang allerdings, warum die im ursprünglichen V-Modell benannten Anforderungen im erweiterten Modell als Ziele bezeichnet werden.

Modell nur auf den Entwicklungsprozess bezieht. Bei näherer Betrachtung wird allerdings deutlich, dass die Nutzungsphase ganz wesentliche Informationen für die Entwicklung liefert, was zur Folge hat, dass sich die Entwicklung in dieser Phase alles andere als passiv verhält. Vielmehr begleitet sie diese Phase beispielsweise durch intensive Marktbeobachtungen und gegebenenfalls durch kontinuierliche Verbesserungen, die sowohl auf technische Aspekte wie zum Beispiel Funktionalität und Zuverlässigkeit als auch auf wirtschaftliche Aspekte wie zum Beispiel Kostenreduzierung als Folge eines oft zu beobachtenden Preisverfalls betreffen.

Weiterhin vernachlässigen die beiden genannten Vorgehensmodelle Versuche, Modelle auch in der Nutzungsphase weiterzuverwenden. Ein Beispiel für solche Ansätze ist die Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Dazu erklärt die VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1 in Kapitel 2.3 (VDI 2010) ausdrücklich die Absicht, Simulationen auch in der Betriebsphase einzusetzen, so zum Beispiel für die Auswahl von Dispositionsalternativen in der Fertigungssteuerung, für die Überprüfung von Notfallstrategien hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Ausbringung oder für die Ausbildung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern.

Angesichts dieser Defizite wurde das V-Modell zu dem in Abb. 3 dargestellten Kreismodell weiterentwickelt³. In der zweidimensionalen Ansicht ermöglicht der Kreis die Integration der Betriebsphase besser als die V-Form. Erweitert man, wie in der rechten Bildhälfte skizziert, die

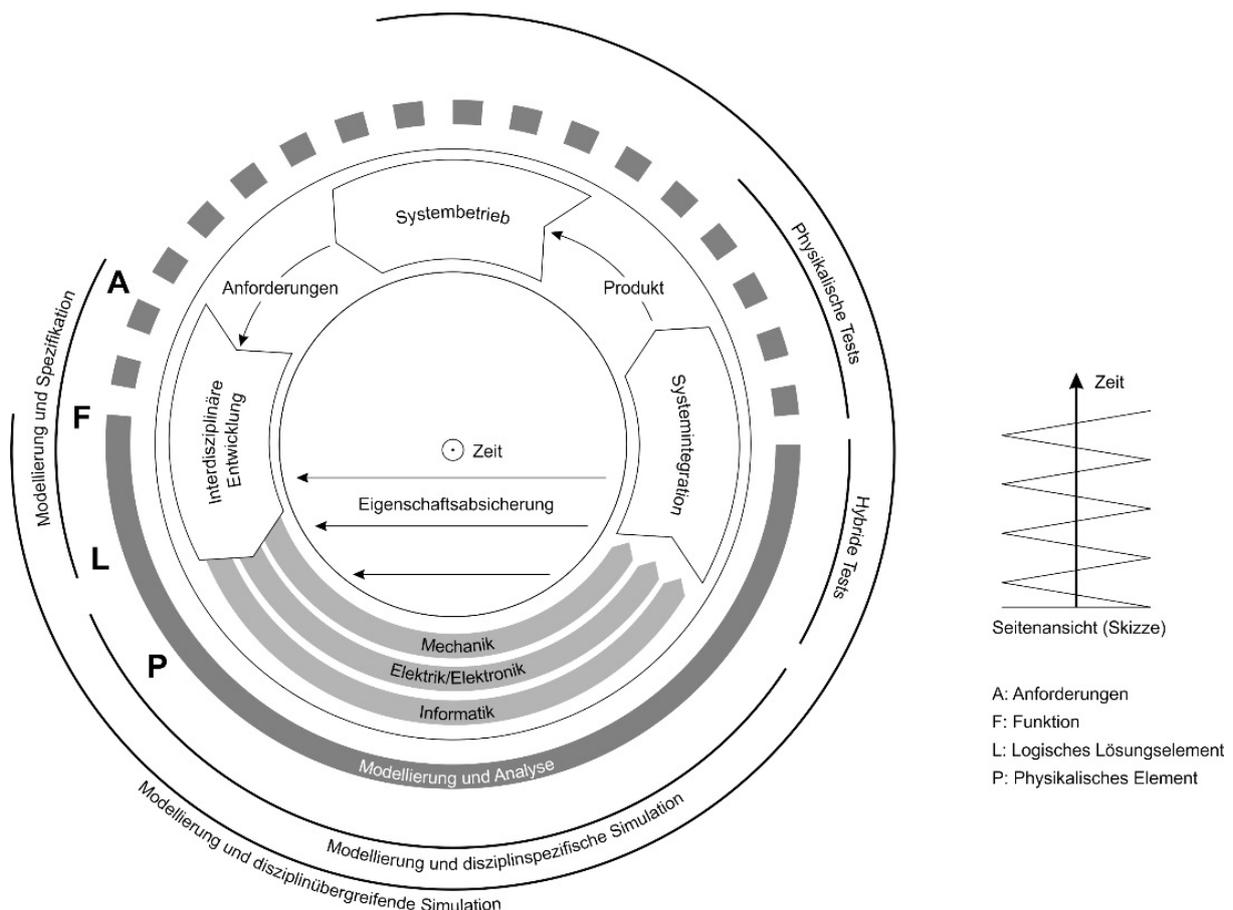


Abb. 3: Kreismodell als Grundlage der Entwicklungsmethodik für cyber-physikalische Systeme

³ Selbstkritisch ist anzumerken, dass die oben angesprochenen Aspekte der Wirtschaftlichkeit und der gesellschaftlichen Akzeptabilität auch in diesem Vorgehensmodell nicht explizit zum Ausdruck gebracht werden.

zweidimensionale Ansicht um die dritte Dimension, so wird der zeitliche Verlauf von Entwicklungsprozessen deutlich, der sich im Sinne eines kontinuierlichen Fortschritts als Spirale darstellen lässt. In der zweidimensionalen Ansicht ist die Spitze des Zeitstrahls in seiner Draufsicht enthalten. Ferner wird im Kreismodell die Absicht visualisiert, Modelle möglichst durchgehend im gesamten Produktlebenszyklus einzusetzen. Dabei zeigt die obere, gestrichelt dargestellte Hälfte des entsprechenden Kreises den vorrangigen Handlungsbedarf; in diesen Phasen ist die Modellunterstützung bisher noch nicht befriedigend. Doch auch in den Phasen, in denen die Modellunterstützung bereits weit fortgeschritten ist, sind noch immer zahlreiche Probleme zu lösen, so zum Beispiel die Schaffung von Schnittstellen zwischen verschiedenen Modellwelten.

3 Beispiel: Hardware in the Loop

Ein Beispiel für die Ausweitung der Modellunterstützung in die Phase der Systemintegration ist die Weiterverwendung von Simulationsmodellen, die bereits im Zuge der interdisziplinären Entwicklung erstellt wurden, um ein logistisches System zu entwerfen. Bevor reale Prototypen und später die reale Anlage zur Verfügung stehen, können Teile der Modelle quasi als virtuelle Prototypen dienen, um beispielsweise mit der Codierung der Software so früh wie möglich beginnen zu können und dazu die Möglichkeit zu schaffen, diese an der virtuellen Hardware zu testen. Dies wird als hardware in the loop (HiL) oder Emulation bezeichnet (siehe Abb. 2).

Im Rahmen des grundlagenorientierten Forschungsprojekts OMSIS (On-the-fly-Migration und Sofort-Inbetriebnahme von automatisierten Systemen) wurde an der Technischen Universität Dresden in Kooperation mit zahlreichen Verbundpartnern aus Industrie und Dienstleistung im Vorfeld zu den hier erläuterten Forschungsarbeiten eine Schnittstelle zwischen einer Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) und dem Simulationsprogramm Enterprise Dynamics (ED) der Firma INCONTROL Simulation Solutions aus Utrecht (Niederlande) entwickelt (Theiss et al. 2010, 10 f.). Dabei wurde die grundsätzliche Möglichkeit einer auf einer solchen Konfiguration basierenden Emulation anhand eines mit Fischertechnik gebauten Modells einer Montageanlage bereits nachgewiesen. Ob sich diese Lösung allerdings auch in der Praxis bewährt, konnte dort mangels einer realen Montageanlage nicht gezeigt werden.

Um diesen auf die praktische Anwendung zielenden Nachweis im Zuge einer anwendungsnahen Forschung zu erbringen, wurden die Ergebnisse der universitären Grundlagenforschung an der NORDAKADEMIE, einer privaten, staatlich anerkannten Fachhochschule in Elmshorn, aufgegriffen und weiterentwickelt, denn hier steht eine reale Montageanlage für Forschungszwecke zur Verfügung (Abb. 4).

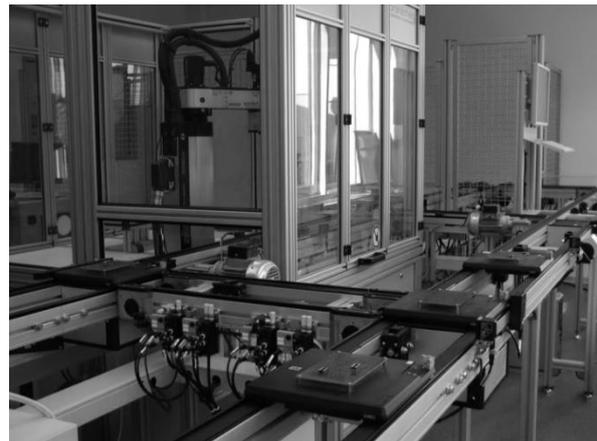


Abb. 4: Reale Anlage an der NORDAKADEMIE

Dem Kreismodell (Abb. 3) folgend, wird ein Simulationsprogramm wie ED zur Entwicklung und Auslegung der Funktionen (in Abb. 2 und 3 mit „F“ gekennzeichnet) und der logischen Elemente (in Abb. 2 und 3 mit „L“ gekennzeichnet) eingesetzt. Zu diesem Zweck bildet der Simulator nicht nur die Hardware ab, sondern auch die Steuerungslogik. In der darauf folgenden, in Abb. 2 und 3 mit „P“ gekennzeichneten Phase beginnt die Realisierung der physikalischen Elemente (Hardware). Parallel

dazu wird die Software codiert. Für den Test des Codes sind an sich die physikalischen Elemente erforderlich. Solange diese noch nicht zur Verfügung stehen, können sie durch ihre Modelle (virtuelle Hardware) ersetzt werden. Dazu werden hier die mit dem Simulationsprogramm ED in den vorausgegangenen Planungs- und Konzeptionsphasen bereits erstellten Modelle verwendet. Da die Steuerung aber nun durch die SPS erfolgt, wird die Steuerungslogik des Simulators nun quasi überbrückt. Die Modellelemente folgen also nicht mehr der in ED programmierten Logik, sondern der Logik der SPS, die nun von außen auf die Modellelemente des Simulators zugreift. Der Test erfolgt durch einen Vergleich der ursprünglich innerhalb des Simulators programmierten Verhaltensweise des Simulationsmodells und der Verhaltensweise des Modells, das nun von der externen SPS gesteuert wird. Dabei gilt die Verhaltensweise des Simulationsmodells als Referenz. Stimmt die Verhaltensweise des von der SPS gesteuerten Modells damit überein, so ist der Test erfolgreich.

Abb. 5 zeigt die dazu erforderliche Konfiguration in einer vereinfachten Darstellung, in der zur Wahrung der Übersichtlichkeit auf die Darstellung untergeordneter Geräte wie z. B. eines Systemanschlusses zur Verbindung eines Computers mit dem PROFIBUS (CP 5512) oder einer SIMATIC ET 200 zur Anbindung verteilter Steuerungselektronik an die zentrale SPS verzichtet wurde. Mit Hilfe des Programmiergeräts (PG) wird zunächst die Anlagenkonfiguration modelliert und die entsprechende Steuerung programmiert. Das Programm wird anschließend in die SPS übertragen. Solange die reale Anlage (linker Ast des Feldbusses) noch nicht zur Verfügung steht, kann deren Verhalten mit Hilfe der am rechten Ast des Feldbusses angekoppelten virtuellen Anlage nachgebildet werden. Dazu wird die Konfiguration der projektierten Anlage in die Hardwareschnittstelle (SIMBApro) des Simulators überspielt. Diese Schnittstelle verhält sich gegenüber der SPS genauso wie die Ein- und Ausgangssignale der realen Feldgeräte. Auf der anderen Seite dieser Schnittstelle werden die Ein- und Ausgangssignale an den Simulator weitergegeben und dort zur Visualisierung des dynamischen Verhaltens der projektierten Anlage aufgrund des für die SPS entwickelten Steuerungsprogramms verwendet.

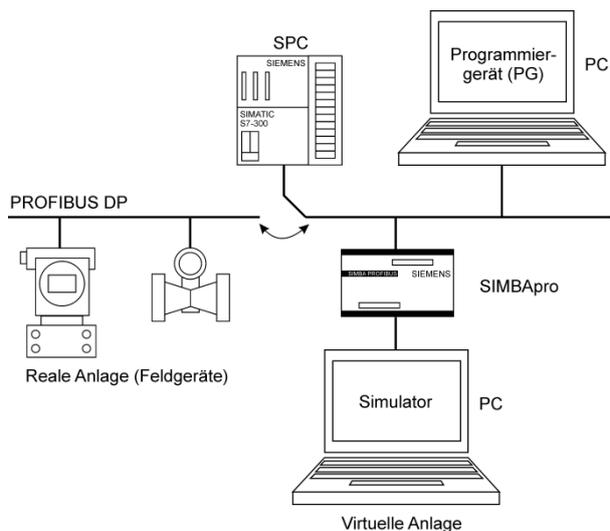


Abb. 5: Anlagenkonfiguration

Die in Abb. 5 dargestellte Möglichkeit, zwischen der virtuellen und der realen Anlage umzuschalten, betrifft den einfachen Fall, dass beide Anlagen vollständig sind. Tatsächlich sind auch Zwischenschritte möglich, bei denen die Komponenten der realen Anlage nach und nach in Betrieb genommen werden. Dominka und Bender sprechen in diesem Fall von einer hybriden Inbetriebnahme (2007, 25 ff.). Abb. 5 lässt sich dazu gedanklich so verändern, dass die Geräte, die darin mit dem linken Zweig des Feldbusses verbunden sind, in dem Moment, in dem sie real verfügbar sind, an den rechten Zweig, also parallel zur virtuellen Anlage, angekoppelt werden. Zugleich wird das entsprechende Modellelement in der virtuellen Anlage gelöscht, so dass die SPS nun sowohl diese virtuelle Anlage ohne die bereits real vorhandenen Komponenten als auch diese bereits vorhandenen, realen Komponenten steuert, bis schließlich die Anlage komplett realisiert ist, so dass die virtuelle Anlage bzw. das, was bis dahin noch von ihr übrig ist, vollständig abgeschaltet werden kann.

Die Experimente haben gezeigt, dass die Weiterverwendung eines in den Planungs- und Konzeptionsphasen erstellten Modells zur ereignisorientierten Simulation automatisierter Systeme in der Implementierungsphase nicht nur im Modellbetrieb, sondern auch unter realen Bedingungen möglich ist. Abb. 6 zeigt dazu das Simulationsmodell der Montageanlage. Dieses Modell wurde um drei an der TU Dresden entwickelte Modellbausteine erweitert (Theiss et al. 2010, 10 f.). Der erste Modellbaustein, in Abb. 6 am Logo des PROFIBUS erkennbar, repräsentiert die Hardwareschnittstelle (SIMBA-pro), während die beiden weiteren Modellbausteine das Simulationsmodell mit den Ein- und Ausgangssignalen der SPS verbinden (in Abb. 6 sind nur Ausgänge erkennbar). Für jedes Signal der SPS muss jeweils einer dieser beiden Modellbausteine in das Simulationsmodell eingefügt und mit der Signalkennung der SPS bezeichnet werden. Mit Hilfe eines Codes, der in der Skriptsprache des Simulators (bei ED heißt diese Sprache 4DScript) formuliert werden muss, wird die Ablauflogik des Simulators durch die von der SPS vorgegebene Logik ersetzt.

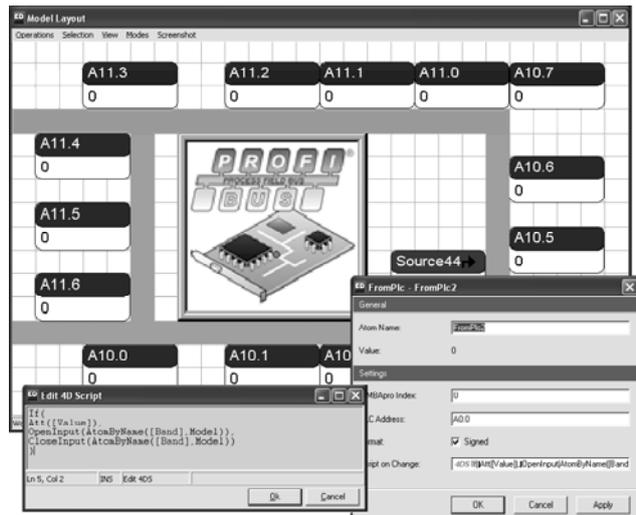


Abb. 6: Ausschnitt des Simulationsmodells

Anhand eines konkreten Beispiels soll verdeutlicht werden, wie dies im Einzelnen umgesetzt wird. Dazu zeigt Abb. 6 unten rechts die grafische Benutzungsschnittstelle eines Modellbausteins, der ein Ausgangssignal der SPS empfängt. In diesem Fall ist dieses Signal mit A0.1 bezeichnet und entspricht damit der Bezeichnungskonvention speicherprogrammierbarer Steuerungen. Dieses Signal soll im Simulationsmodell dazu führen, dass das Förderband Band in Abhängigkeit des Signals Value gestartet oder gestoppt wird. Dazu werden die 4DScript-Befehle `OpenInput` bzw. `CloseInput` verwendet. Die Adressierung des Förderbands kann auf verschiedene Weise erfolgen. Hier wurde aus Gründen der Anschaulichkeit eine absolute Adressierung mit Hilfe der Bezeichnung des Förderbands gewählt (`AtomByName`)⁴. Alternativ wäre auch eine Adressierung möglich, und am effizientesten wäre ein Aufruf über einen Pointer auf die Speicheradresse des Atoms.

Die auf diese Weise nachgewiesene Möglichkeit, Modelle, die zur ereignisorientierten Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Transportsystemen in der Implementierungsphase weiter zu verwenden, ist noch kein Beleg dafür, dass dies in dieser Form auch sinnvoll ist. Um die Sinnfälligkeit des Ansatzes zu überprüfen, zielen weitere Arbeiten darauf ab, alternative Möglichkeiten zu testen. Konkret soll in dem hier untersuchten Fall z. B. mit dem Simulator SIMIT aus der SIMATIC-Produktfamilie der Firma SIEMENS ein alternativer Weg geprüft werden, um eine vergleichende Bewertung durchführen zu können.

4 Fazit

Vorgehensmodelle wie das V-Modell (Abb. 1 und 2) und insbesondere das daraus weiterentwickelte Kreismodell (Abb. 3) bieten Orientierung, wie Partialmodelle, die in den verschiedenen

⁴ In ED werden Modellelemente als Atome bezeichnet.

Phasen der Entwicklung von Produkten und Produktionsprozessen eingesetzt werden, in einen Zusammenhang gebracht werden können, um die Durchgängigkeit der Arbeiten sowie die disziplinübergreifende Zusammenarbeit zwischen immer spezialisierteren Fachdisziplinen zu unterstützen und die Wirtschaftlichkeit zu stärken, indem Mehrfacharbeiten vermieden werden. Beiträge zum Ausbau der Durchgängigkeit, wie im vorausgegangenen Kapitel einer beispielhaft skizziert wurde, sind in sich bereits so komplex, dass sie notwendigerweise nur jeweils kleine Teile der Gesamtaufgabe bewältigen können. Die Vorgehensmodelle bieten jedoch stets die Orientierung, die notwendig ist, damit die Einzelbeiträge für andere Beiträge anschlussfähig bleiben. Darüber hinaus zeigen sie die Lücken auf, die sich bis heute an verschiedenen Stellen des Entwicklungsprozesses zeigen. Dadurch lassen sich die Lücken in Zukunft gezielter schließen, um schließlich das Ziel zu erreichen, den Entwicklungsprozess durchgängig durch Modelle zu unterstützen.

5 Literaturverzeichnis

- Ahrens, V. 1998: Dezentrale Produktionsplanung und -steuerung – Systemtheoretische Grundlagen und Anwendungspotentiale. VDI. Düsseldorf.
- Ahrens, V. 2013: Integration der Modellierung in die Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. In: Plate, G. (Hrsg.): Forschung für die Wirtschaft 2013. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Ashby, W. R. 1956: An introduction to Cybernetics. Wiley, New York.
- Dominka, S./Bender, K. 2007: Hybride Inbetriebnahme – von der Hardware in the Loop-Simulation zur realen Anlage. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jahrg. 102, Nr. 1-2, S. 25 – 31.
- Eigner, M. 2013: Modellbasierte Virtuelle Produktentwicklung auf einer Plattform für System Lifecycle Management. In: Sandler, U. (Hrsg.): Industrie 4.0 – Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM. Berlin, Heidelberg.
- Haberfellner, R./Fricke, E./de Weck, O./Vössner, S. 2012: Systems Engineering – Grundlagen und Anwendung. 12. Aufl. Zürich.
- Gehlen, A. 1957: Die Selle im technischen Zeitalter. Rowohlt. Hamburg.
- INCOSE 2007: Systems Engineering Vision 2020. San Diego: International Council on Systems Engineering.
- Luhmann, N. 1984: Soziale Systeme – Grundriß einer allgemeinen Theorie. Suhrkamp Verlag. Frankfurt am Main.
- Moore, G. E. 1965: Cramming more components onto integrated circuits. In: Electronics. 38, Nr. 8, 1965, S. 114–117.
- Ropohl, G. 2009: Allgemeine Theorie – Eine Systemtheorie der Technik. 3., überarb. Aufl. Universitätsverlag Karlsruhe.
- Roth, G. 1986: Selbstorganisation - Selbsterhaltung – Selbstreferentialität: Prinzipien der Organisation der Lebewesen und ihre Folgen für die Beziehung zwischen Organismus und Umwelt. In: Dress, A.; Hendrichs, H.; Küppers, G. (Hrsg.): Selbstorganisation - Die Entstehung von Ordnung in Natur und Gesellschaft. Piper Verlag. München, Zürich.
- Theiss, S./Pitsch, H./Kabitzsch, K. 2010: Omsis – Emulation, Hardware-in-the-Loop. In: Edition Enterprise Dynamics Simulation News. S. 10 – 11.
- VDI 2004: VDI-Richtlinie 2206 – Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Düsseldorf.
- VDI 2010: VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1 – Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Transportsystemen. Düsseldorf.