

Übersichtsbeitrag

Modularisierung und Prozessführung

Leon Urbas*, Falk Doherr, Annett Krause und Michael Obst

DOI: 10.1002/cite.201200034

Anforderungen an die modularisierte Planung und Ausführung von Anlagen der Prozessindustrie stellen aus Sicht der Prozessführung drei Herausforderungen: 1) Die für die Planung mit Konstruktionsmodulen notwendige Standardisierung führt unweigerlich zu höherem Instrumentierungsaufwand. 2) Die Integration der Automatisierung der Module in ein gesamtsystemübergreifendes Prozessführungskonzept erfolgt heute zumeist manuell und ist entsprechend fehleranfällig und zeitaufwendig. 3) Die Prozessführungskonzepte der einzelnen Module müssen derart gestaltet sein, dass aus den lokalen Führungsstrategien eine globale Führungsstrategie abgeleitet werden kann. Anhand einer modularen Forschungsanlage werden verschiedene Lösungsansätze und offene Forschungsfragen diskutiert und bewertet.

Schlagwörter: Datenmodelle, Integration, Modularisierung, Prozessführung, Prozessleittechnik, Schnittstellen

Eingegangen: 01. März 2012; *akzeptiert:* 23. März 2012

Modularization and Process Control

Modular design and construction of chemical plants pose three challenges on process automation engineering: 1) Higher effort for instrumentation due to standardization must not exceed economy-of-scale effects, 2) current engineering methods for integrating package units must be automated, and 3) there is a need to design modular process operation strategies that may be integrated easily into an assembly operation strategy. Different approaches and research issues are discussed and evaluated by means of a modular research system.

Keywords: Data models, Integration, Interface, Modularization, Process control, Process control systems engineering

1 Einleitung

In vielen Domänen werden erhebliche Anstrengungen unternommen, die Entwicklungszeiten trotz zunehmender Komplexität der Produkte deutlich zu reduzieren. Ein prägnantes Beispiel ist die Automobilindustrie, die mithilfe integrierter simulationsunterstützter Entwicklungs- und Fertigungsprozesse und weitgreifender Modularisierungskonzepte Antworten auf die Anforderungen der Märkte nach einer hohen Modell- und Variantenvielfalt bei gleichzeitigen Forderungen nach kürzeren Entwicklungszeiten gefunden hat [1]. Diese Forderung nach Verkürzung hat handfeste wirtschaftliche Gründe – eine Reduktion der Entwicklungsdauer von der Produktidee bis zur Produktionsanlage von heute 10 Jahren um 50 % führt bei sonst gleichen Bedingungen zu einer deutlich höheren Rendite. Dafür müssen jedoch die heute etablierten Planungs- und Ent-

wicklungsprozesse an vielen Stellen angepasst werden. Intensiv diskutierte Ansätze sind Modularisierung und Standardisierung als Voraussetzung für effiziente Wiederverwendung bewährter Lösungsmuster und die Realisierung gewerke- und lebensphasenübergreifender, integrierter computergestützter Engineering-Prozesse [2]. Diese Herausforderung ist nur mit erheblichen Veränderungen bei allen Beteiligten zu bewältigen. Insbesondere für die Gewerke, die sich mit Prozessführung und Automatisierungstechnik in Fertigungs- und Prozessindustrie befassen sind mit einer Modularisierung erhebliche Veränderungen der Arbeitsweise aber auch Chancen verbunden.

2 Moduldefinition

Der Begriff Modul ist in der Prozessindustrie nicht eindeutig belegt. Die Verwendung reicht von Transport- und Montageeinheiten über wiederverwendbare Planungseinheiten bis hin zu fertigen, aufeinander abgestimmten (Labor)Prozessmodulen, aus denen Anlagen zusammengestellt werden können. In diesem Beitrag wird eine Defini-

Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas (leon.urbas@tu-dresden.de), Falk Doherr, Annett Krause, Michael Obst, Technische Universität Dresden, Professur für Prozessleittechnik, 01062 Dresden, Deutschland.

tion aus der Konstruktionslehre verwendet, nach der Module Elemente eines Baukastens sind. Ein technisches System wird hier durch die Kombination von Bausteinen erstellt [3]. Dabei wird zwischen Muss- und Kann-Bausteinen, sowie Grund-, Hilfs-, Sonder- und Anpassungsbausteinen unterschieden (Abb. 1). Die Grundbausteine gehören zu den Muss-Bausteinen. Sie sind zur Erfüllung der Gesamtfunktion unerlässlich und häufig nicht variabel. Hilfsbausteine stellen im allgemeinen Verbindungs- und Anschlusselemente dar und gehören ebenfalls zu den Muss-Bausteinen. Sonderbausteine sind Kann-Bausteine und beinhalten Zusatzfunktionen, während Anpassungsbausteine das System an Randbedingungen wie beispielsweise Druckniveaus von Versorgungsleitungen anpassen. Trotz sorgfältiger Entwicklung eines Baukastens ist davon auszugehen, dass einige systemspezifische Aufgabenstellungen kosteneffektiv nur durch Einzelkonstruktionen erfüllt werden können. Enthält das System solche Funktionen wird es nach [3] als Mischsystem bezeichnet. Die anlagenspezifischen Einzellösungen werden Nichtbausteine genannt (Abb. 1).

3 Herausforderungen

Es ist derzeit nicht geklärt, ob und wie weit sich der Ansatz eines modularen Baukastensystems der Konstruktionslehre auf die Prozessindustrie übertragen lässt. In der Prozessindustrie ist davon auszugehen, dass wichtige Prozessschritte, die einen besonderen Schutz von Know-how erfordern, grundsätzlich als Nichtbausteine realisiert werden. Die Einpassung in ein Bausteinsystem könnte durch Anpassungsbausteine erfolgen. Das wesentliche domänenspezifische Problem ist jedoch, dass die konkrete Ausführung einer

Funktion wie „Stoff fördern“ nicht nur von den Eigenschaften des Stoffstroms abhängig ist, sondern auch von den Anforderungen der vor- und nachgelagerten Prozessschritte. In heutigen Planungsprozessen ist aufgrund der stofflichen und energetischen Kopplungen eine funktionsübergreifende Betrachtung für die Ableitung geeigneter Prozessführungsstrategien zwingend notwendig. Eine geschickte Modularisierung muss dies berücksichtigen und den Nachweis erbringen, dass der Mehraufwand der Funktionskapselung und der dadurch entstehenden zusätzlichen Aufwände und Schnittstellensignale (Abb. 4) durch eine Verkürzung der Planungsdauer von Anlagen nicht nur kompensiert wird, sondern durch Wiederverwendung und Economy-Scale-Effekte ggf. sogar wirtschaftliche Vorteile möglich sind. In der Prozessindustrie ist dabei zu beachten, dass diese Ziele ohne Einschränkungen bei Sicherheit und Zuverlässigkeit erreicht werden müssen. Während der Weg dahin noch intensive Forschungsanstrengungen erfordert, ist dennoch klar, dass Module als Elemente eines Baukastensystems zusätzliche Anforderungen erfüllen müssen, die über die reine Funktionserfüllung in einem bestimmten Anwendungskontext hinausgehen.

Nach Definition der Autoren dieses Beitrags sind Module abgeschlossene und wiederverwendbare Einheiten zur Erfüllung einer oder mehrerer Prozessfunktionen, die im Prozessführungskontext sinnvoll zusammengefasst werden können. In Anlehnung an den Standard IEC 61512 (besser bekannt als ISA-S88) enthält ein Modul alle für die Implementierung der Prozessfunktion notwendigen Equipments (Equipment-Module), alle Instrumente und Automatisierungsfunktionen (Control-Module) und hat klar definierte Schnittstellen zu einem übergeordneten Prozessführungssystem, anderen Modulen und einer ggf. intelligenten Infrastruktur zur Aufnahme der Module. Module sind mit

geringem Aufwand an anlagenspezifische Gegebenheiten anpassbar – sei es durch (Selbst-)Konfiguration oder Anpassungsbausteine. Hinzu kommen ausführungsrelevante Aspekte wie die unabhängige Konstruierbarkeit, Realisierbarkeit und Prüfbarkeit sowie ggf. Aspekte des Transports von Modulen.

Die Denk- und Sprechweise in der Anlagenplanung orientiert sich aufgrund einer an Grundoperationen orientierten Spezialisierung der Fachabteilungen bereits heute an funktionalen Einheiten, die einen bestimmten Bausteincharakter besitzen. Beispiele sind Brenner/Fackel ggf. mit optionaler Energierückgewinnung durch Verbrennung der anfallenden Abfallprodukte, Verdampfer mit oder ohne Brüdenverdichtung, Gaswäsche als eine funktionale Einheit von aufeinander abgestimmten Absorber/Desorber-Bausteinen, Wärmetauscher(netzwerke), Extruder- oder Pumpstationen. Diese gedachten Zusammenhänge gehen jedoch in den digitalen Informationsmodellen häufig ver-

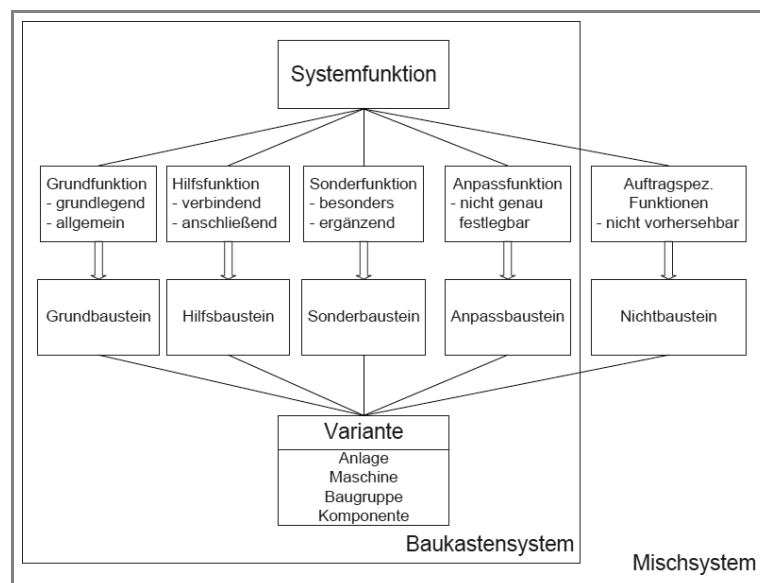


Abbildung 1. Funktions- und Bausteinarten im Baukasten- und Mischsystem.

loren. Ursache ist die Optimierung von CAE-Systemen und Arbeitsabläufen auf den Bedarf einzelner Disziplinen. Um Zeitgewinne durch Rechnerunterstützung realisieren zu können, ist die Abbildung eines Moduls als eine gewerke- und phasenübergreifende funktionale Betrachtungseinheit in den Informationsmodellen zwingend notwendig. Auch wenn bis zu einer durchgängigen Implementierung in den Werkzeugketten noch einige Anstrengungen zu unternehmen sind, geben die Fortschritte bei betriebspezifischen Austauschformaten wie plantXML [4] oder internationalen Standards wie ISO 15926 [5] Anlass zur Hoffnung. Bei der im Folgenden beschriebenen Konzeptstudie wird deshalb davon ausgegangen, dass integrierte Informationsmodelle existieren und in den Arbeitsabläufen und Werkzeugen umgesetzt sind.

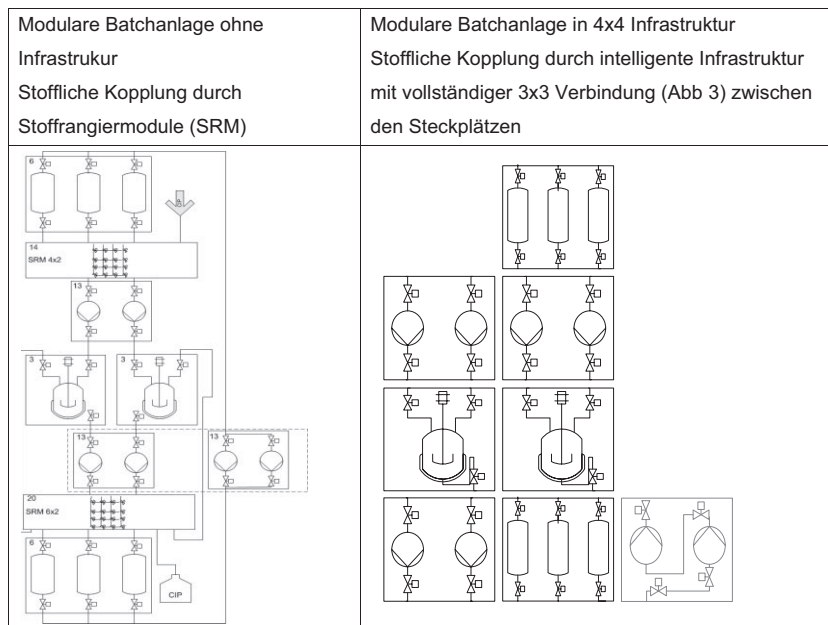


Abbildung 2. Modular Engineering & Automation Research (MEAR)-Anlage.

4 Anwendungsbeispiel MEAR-Anlage

An der Professur für Prozessleittechnik der Technische Universität Dresden werden Baukastensysteme zur Automatisierung modularer Anlage an der digitalen Modular Engineering & Automation Research (MEAR)-Anlage konzeptionell untersucht. Das Konzept der MEAR-Anlage sieht steckbare Prozessmodule vor, die jeweils mit einem eigenen Automatisierungssystem ausgestattet sind (Abb. 2). Alle Bausteine der MEAR-Anlage sind durch formale Modelle beschrieben. Mithilfe dieser Modelle soll die Detailplanung der Module und die Systemintegration automatisiert oder unterstützt werden. Zur Vereinfachung der Engineering-Prozesse und zur Konzentration auf Automatisierungsaspekte und systemweite modulare Prozessführungs-lösungen, ist der MEAR-Ansatz als Plattformkonzept strukturiert: Alle Bausteine sind für die auf einer Plattform zulässigen Randbedingungen grundsätzlich geeignet – sei es das hydraulische Regime der Stoffe, die Verträglichkeit von Stoffen, Materialien und Dichtungen oder die Eignung für bestimmte Ex-Bereiche. Die Auslegung der MEAR-Module erfolgt beispielsweise für die Medien Luft und Wasser mit Rohrleistungsdurchmessern von DN15 an den Modul-schnittstellen und drucklos bzw. PN 2,5.

4.1 Plug, Configure, Check & Produce

Schritt 1: Plug

Als konzeptioneller Rahmen der MEAR-Anlage wurde festgelegt, dass jeder Baustein der MEAR-Anlage mit drei Energieversorgungsanschlüssen (24 V Gleichstrom, 230 V,

Druckluft), einem Anschluss für ein industrielles Kommunikationsnetzwerk und jeweils vier gleichdimensionierten Eingängen und Ausgängen für Prozessstoffströme ausgestattet ist. Diese Einschränkung ist gezielt als Forschungsaspekt gesetzt: Welche Auswirkungen haben Randbedingungen der Infrastruktur auf die modulare Prozessführung? Je nach Prozessfamilie sind weitere generische Anschlüsse für Dampf, Inertisierung, Vakuum oder Abluft notwendig und sinnvoll. Die Infrastruktur der konzeptionellen MEAR-Anlage besteht aus 4×4 Steckplätzen, in die MEAR-Bausteine eingeschoben und mechanisch verriegelt werden. Mit Einschub und mechanischer Verriegelung sind alle stofflichen, elektrischen und informationstechnischen Verbindungen hergestellt.

Schritt 2: Configure

Die Infrastruktur der MEAR-Anlage weiß aus dem im vorgelagerten Planungsschritt erstellten digitalen Anlagenmodell, welches Prozessmodul an welchen Steckplatz gehört und welche Anforderungen an die einzelnen Module gestellt werden. Daher kann nach dem Einstecken ein weitgehend automatisierter Konfigurationsschritt erfolgen, in dem zunächst die Prozessführungsstrategien und Parameter des Modulautomatisierungssystems angepasst werden. Des Weiteren werden in dem MEAR-Konzept aus dem Informationshaushalt des Moduls spezifische Detailmodelle in das übergeordnete Automatisierungssystem geladen. Dadurch werden modulübergreifende, systemweite Prozessführungsstrategien automatisiert erzeugt. Die Anwendungsbeispiele reichen von Bedienen und Beobachten, über die automatische Parametrierung von Master-Rezepten bis hin zu modulübergreifenden systemweiten Sicherheits-

schaltungen, Asset Management und Energiemanagementstrategien.

Schritt 3: Check

Sobald alle Module gesteckt und konfiguriert sind, werden verschiedene zugesicherte Eigenschaften der Module und des Gesamtsystems durch automatische und manuell unterstützte Testläufe überprüft. Beispiele hierfür sind das Ansprechen von leittechnischen Schutzeinrichtungen bei definierten Schwellwerten oder das Verhalten von Stellorganen bei Unterbrechung der Hilfsenergie. Dieser Inbetriebsetzungsvorgang wird im MEAR-Konzept durch spezialisierte gebrauchstaugliche mobile Applikationen (Apps) unterstützt, die auf Basis der formalen Modelle erzeugt und auf einem industrietauglichen SmartPhone ausgeführt werden können.

Schritt 4: Produce

Mit den vorangegangenen drei Schritten sind die Voraussetzungen für eine sichere Produktion gegeben. In kontinuierlich betriebenen Anlagen sorgen nun die übergeordneten Regelkreise des Gesamtsystems dafür, dass die einzelnen Module aufeinander abgestimmt wirtschaftlich geführt werden. In Batchanlagen werden anlagenweite Rezepturen abgefahren, um modulübergreifend koordinierte Sequenzen von Prozessschritten zur Ausführung zu bringen.

5 Modulschnitt aus Prozessführungssicht

Aus Prozessführungssicht können modulare Automatisierungsfunktionen idealerweise unabhängig von dem spezifischen Einsatzkontext implementiert und entworfen werden. In der konventionellen Prozessleittechnik wird dies in Ansätzen bereits heute durch Funktionsbibliotheken adressiert, beispielsweise generisch auf Ebene von automatisierungstechnischen Komponenten wie Antrieb, Ventil und Regler oder domänenspezifisch für häufig eingesetzte, funktional wenig variante Grundoperationen (Zementindustrie, Abwasser). Der Anspruch, diese Funktionsbausteine und Lösungsmuster für viele Einsatzbereiche zuzuschneiden, führt jedoch zu einer sehr großen Anzahl von Schnittstellen der Softwarebausteine, von denen in jedem einzelnen Automatisierungsprojekt nur ein Bruchteil genutzt wird.

Die mit der Modularisierung einhergehende Standardisierung könnte helfen, die externe Komplexität modularer Prozessführungsbausteine, z. B. gemessen an der Menge der Schnittstellen, zu reduzieren. Einen nicht unerheblichen Beitrag würden verfahrenstechnisch und automatisierungstechnisch rückwirkungsfrei ausgelegte Module liefern. Das kann in Grenzen durch die apparative Auslegung eines Moduls erreicht werden (Rückschlagklappen, Puffer, dicht schließende Ventile), muss aber in den meisten Fällen durch Sensoren, Aktoren und modulzentrische leittechni-

sche Prozessführungsstrategien und Schutzeinrichtungen unterstützt werden. Falls das gelingt, kann ein Modul für den zulässigen Einsatzbereich der Plattform entworfen und zertifiziert werden. Sich selbst zu schützen bzw. Auswirkungen von lokalen erkennbaren Fehlern auf andere Module einzuschränken kann als Fähigkeit zur Anpassung verstanden werden. Unter Anpassung werden hier sowohl die passive Anpassung durch die Planer während der Planungs- und Konstruktionsphase, als auch die aktive Selbstanpassung des Moduls während Inbetriebnahme und Betrieb verstanden.

Ein weiterer zeitbestimmender Faktor für die modulare gewerke-integrierte Anlagenplanung ist die Granularität des Baukastens. Läge der Detailierungsgrad auf der Ebene heutiger Planungsobjekte (Equipment, Instrumentation etc.) wäre nichts gewonnen. Ein Modulschnitt auf Teilanlagenebene wäre wiederum zu groß um den Aspekt der Wiederverwendung zu adressieren. Aktuelle Denkansätze bewegen sich häufig entlang der in der Verfahrenstechnik etablierten Grundoperationen und Package Units. Durch die klar definierten Bilanzräume ist das ein guter Ausgangspunkt – aus Sicht eines Baukastens, der auch Aspekte der Prozessführung und Anlagensicherheit adressiert, sind sowohl größere als auch kleinere Modulschnitte vorstellbar. Eine einheitliche Methodik fehlt; der Vergleich mit aktuellen Anstrengungen zur Definition einer methodischen Entwicklungsmethodik und Beschreibungssystematik für mechatronische Module lässt erheblichen Forschungsbedarf vermuten.

Aus Sicht der Prozessführung ist von Vorteil, wenn das Verhalten des Moduls über klar definierte Schnittstellen derart beeinflusst werden kann, dass die internen Verschaltungen, die Art der Instrumentierung und modulinterne Variablen nicht für den globalen Zugriff freigegeben werden müssen (s. a. Abb. 4 rechts unten). Das Verstecken der Implementierung hinter klar definierten Schnittstellen würde erlauben, die Steuerzugriffe auf das Modul zu überprüfen und solche Anweisungen, die dazu führen würden, dass das Modul den Zusicherungsbereich verlassen würde, zu unterbinden.

Voraussetzung hierfür ist, dass ein funktionales Modul Anforderungen autonom zurückweisen kann. Diese Autonomie wird in heutigen Automatisierungssystemen implizit durch die Trennung in qualitätsorientierte Automatisierung und Prozessführung auf dem Prozessleitsystem (PLS) und leittechnischen Schutzeinrichtungen in einem Safety Instrumented System (SIS) realisiert. Diese Trennung ist im Allgemeinen jedoch weder modularisiert noch explizit formal beschrieben und nicht im Sinne eines Baukastensystems im Voraus planbar. Interessante methodische Ansätze für die Modularisierung der Prozessführung werden in der Regelungstechnik unter dem Stichwort Hierarchical Control entwickelt [6]. Diese Ansätze unterscheiden sich deutlich sowohl in der Zielsetzung als auch der Methodik von den Hierarchical-Control-Ansätzen der Informatik, z. B. [7], die mit symbolischen und bayesschen Ansätzen

der künstlichen Intelligenz auf die Kooperation autonomer Systeme zielen. Einen pragmatischen hierarchisch-modularen Planungsansatz verfolgt die Holonic Manufacturing Systems Gemeinde mit IEC 61499 für die vorwiegend diskreten Prozessführungsstrategien und Belegungsprobleme der Fertigungsindustrie [8]. Die Mehrzahl der in diesem Forschungsbereich verfolgten Modularisierungs- und Rekonfigurationsstrategien erhöhen zwar die Wiederverwendbarkeit und Flexibilität, müssen jedoch auf die Zusicherung von Eigenschaften wie Steuerbarkeit oder funktionaler Sicherheit verzichten. Dennoch geben diese bislang unverbunden Ansätze eine klare Richtung vor: Übergeordnete modulare Prozessführungsstrategien in einem Baukastensystem können nur dann erfolgreich sein, wenn sie den Modulen eine gewisse Autonomie zur Erreichung der moduleigenen Ziele zugestehen. Damit diese Freiheitsgrade bei der Planung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenführungskonzepts berücksichtigt werden können, müssen die Module formale lokale Verhaltensmodelle für die übergeordneten Entwurfsalgorithmen zur Verfügung stellen.

6 Verfahrenstechnisches Engineering einer MEAR-Anlage

Je nach Modulschnitt unterscheidet sich das konzeptionelle und verfahrenstechnische Engineering einer MEAR-Anlage aus Sicht der Prozessführung nur unwesentlich von konventionellen Prozesssyntheseansätzen. Wie heute bereits üblich werden die chemisch-physikalischen Vorgänge auf vordefinierte Grundoperationen abgebildet. Unter der Annahme, dass der Betriebspunkt eines Moduls nicht beliebig frei gestaltbar ist, sondern – aufgrund der Forderung nach mehrfacher Wiederverwendbarkeit – nur in bestimmten Stufungen vorliegt, ist jedoch ein anspruchsvolles diskretes Optimierungsproblem zu lösen. Dieses Optimierungsproblem kann in vielen Fällen durch geeignete Kombinationsmuster vereinfacht werden – ein Alltagsbeispiel hierfür ist die Stückelung der Geldstücke in 1, 2, 5, 10-Größen, die zu einer nahezu minimalen Anzahl von Stücken zur Realisierung aller Elemente des Wertebereiches führt.

Damit das Basic Engineering jedoch so einfach bleiben kann, sind aus Sicht der Prozessführung erhebliche Vorüberlegungen in die Ausgestaltung der Stückelung zu erbringen. Dies sei am Beispiel eines Absorbermoduls illustriert. Anforderung an den Baukasten sei in einer Konfektionsgröße einen normierten Waschmitteldurchsatz von 1 bis 4 abzudecken. Anstelle nun 4 verschiedene, jeweils auf den Waschmitteldurchsatz optimierte, Durchmesser anzubieten könnte ein Baukasten mit bis zu vier Säulen mit halbem Durchmesser eine konfigurierbare Lösung darstellen. Damit könnte der breite hydraulisch Einsatzbereich in einem identischen mechanisch-konstruktiven Rahmen implementiert werden. Studien der Autoren zeigen, dass dies durch Vorfertigung bereits bei niedrigen Stückzahlen

trotz höherer Materialverbräuche auch wirtschaftlich sein kann. Dies führt jedoch unmittelbar zu einem Prozessführungsproblem: Wie können die Stoffströme kosteneffizient und gezielt auf die einzelnen Wäscher verteilt werden? Reicht eine passive Lösung? Welche Ungleichverteilung ist bei unkontrolliertem Aufwuchs von Belägen in den Verteilern zu erwarten? Um wie viel teurer wird das Modul wenn eine aktive Prozessführung mit Sensoren und Reglern als notwendig erachtet wird? Können diese Zusatzkosten nicht sogar durch eine höhere Energieeffizienz bei Teillastbetrieb innerhalb eines akzeptablen Zeitraums wieder eingespielt werden? Die Überlegungen zeigen auf, dass ein allein an Konstruktion und Hydraulik orientierter Modularisierungsansatz scheitern muss.

7 Einfluss von Rangierungskonzepten

In modularen Baukastensystemen wie der MEAR-Anlage sind die Rangieraufgaben zwischen den Modulen Aufgabe der Infrastruktur. Eine beliebige automatische Rangierung zwischen allen Anschlusspunkten ist mit erheblichen apparativen Aufwänden verbunden, die überwiegend nicht genutzt werden. Daher scheint es sinnvoll die Freiheitsgrade der über die Infrastruktur automatisch möglichen Verbindungen zwischen den Modulen einzuschränken und dadurch den Aufwand auf ein vertretbares Maß zu reduzieren. Im MEAR-Anlagenkonzept wurde daher zum einen die Flussrichtung der Stoffstromanschlüsse an die Infrastruktur vorgegeben (4 Eingänge, 4 Ausgänge), zum anderen können nur benachbarte Module miteinander stofflich gekoppelt werden (Abb. 3). Bei dem Nachbarschaftskonzept der MEAR-Anlage wird die Anlage über die Ränder fortgesetzt gedacht, d. h. ein Modul am rechten Rand kann mit einem Modul am linken Rand der gleichen Reihe verknüpft werden. Diese Einschränkung zur Rangierung der Stoffwege führt allerdings immer noch zu minimal 1536 Ventilen in der Infrastruktur. Weitere Einschränkungen der Freiheitsgrade der Konfigurierbarkeit der Infrastruktur sind denkbar und müssen aus der Anforderung der Prozessfamilie abgeleitet werden. So ist zu beobachten, dass viele Verfahren eine deutlich geringere Anzahl an Rückführungen aufweisen als Vorwärtsströme und dass die Menge der parallel zu führenden Ströme häufig stark beschränkt ist. Sollte die Struktur der Prozessfamilie keine sinnvollen Einschränkungen erlauben, ist unter bestimmten Umständen eine freie Schlauchverrohrung, ggf. unterstützt durch RFID-Kodierung der Kupplungen eine sinnvolle Alternative. In diesem Falle können allerdings keine Aufgaben an die Infrastruktur delegiert werden – die Module müssen selbst mit allen Instrumenten zum Rangieren, Absperren, Entlasten, etc. ausgestattet sein.

Die beiden Extreme machen deutlich, dass für den Entwurf der Infrastruktur ein Optimierungsproblem zu lösen ist: Welche Prozessführungsaufgaben werden in der Infrastruktur erledigt (Rangieren, Absperren, Entlasten etc.),

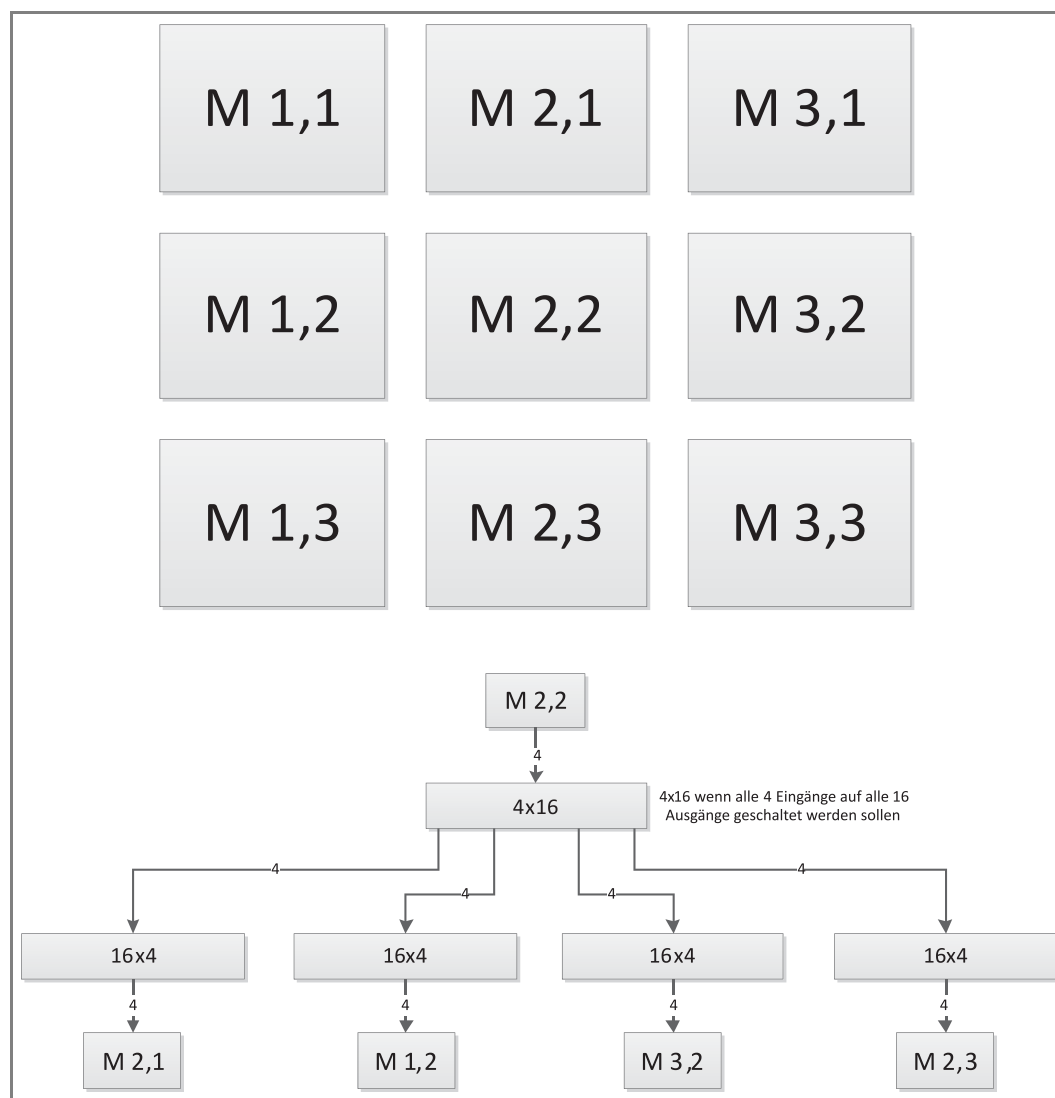


Abbildung 3. Stoffstromrangierkonzept der MEAR-Anlage.

welche Aufgaben in den Modulen selbst? Das Ergebnis ist von den Anforderungen der Plattformfamilie, dem Modulschnitt des Baukastensystems und den zu erwartenden Stückzahlen der Module abhängig. Bei einer großen Stückzahl an Modulen kann es deutlich günstiger sein, bestimmte Aufgaben in die Infrastruktur zu verlagern.

Als pragmatischer Nebenaspekt sei vermerkt, dass ein Infrastrukturkonzept die Zertifizierung von Modulen ggf. deutlich erleichtern kann. Aus dem Konzept kann Aufbau und Struktur einer 1×1-Zertifizierungsinfrastrukturstation für einen vorgezogenen Systemintegrationstest abgeleitet werden. Diese kann verschiedene Lastsituationen simulieren und durch geeignete Sensorik zugesichertes Verhalten wie Rückwirkungsfreiheit, Einhaltung von Schaltgrenzen und Schaltzeiten, stoßfreie Umschaltung, etc. vorab prüfen.

8 Automatisiertes Detail-Engineering auf der Basis formaler Modulmodelle

Nach [9] ist aus automatisierungstechnischer Sicht „das wesentliche Merkmal [eines Moduls] die Möglichkeit, modulübergreifende Steuerungen in einem übergeordneten System zu realisieren. Wenn nur Module verwendet werden, deren Schnittstellen und Fahrweisen [...] im Automatisierungssystem bekannt sind, dann lassen sich Schrittketten [...] ohne weiteres modulübergreifend verwirklichen. Das gilt auch für vollständige Rezepte. Voraussetzung ist, dass ein im Automatisierungssystem hinterlegter Softwarebaustein die Logik des Moduls beschreibt. Durch die Gesamtheit aller im System hinterlegten Softwarebausteine ergibt sich ein Modulkatalog, aus dem vor Inbetriebnahme ein Abbild der realen Anlage durch Verknüpfen der ein-

zelen Module – vergleichbar mit der grafischen Programmierung mit Funktionsbausteinen – geschaffen werden muss.“

9 Konfiguration modulübergreifenden Verhaltens

Abb. 4 zeigt beispielhaft die Übertragung der Hardwaremodulschnitte in die Softwarefunktionen. Bei der Planung

ohne Moduleinteilung stehen alle Detailsignale in allen Funktionen zur Verfügung, so dass die im Bild gezeigt Prozessfunktion „Medium von einem Behälter in einen anderen umfüllen“ in einem Netzwerk mit wenigen Funktionsbausteinen umgesetzt werden kann. In Abb. 4 links wird das Automatisierungsnetzwerk für die Regel „WENN Behälter B001 nicht leer, Behälter B002 nicht voll und der Befehl zum Umfüllen aktiv ist DANN öffne Ventile V002 und V003 und starte Pumpe P001“ dargestellt.

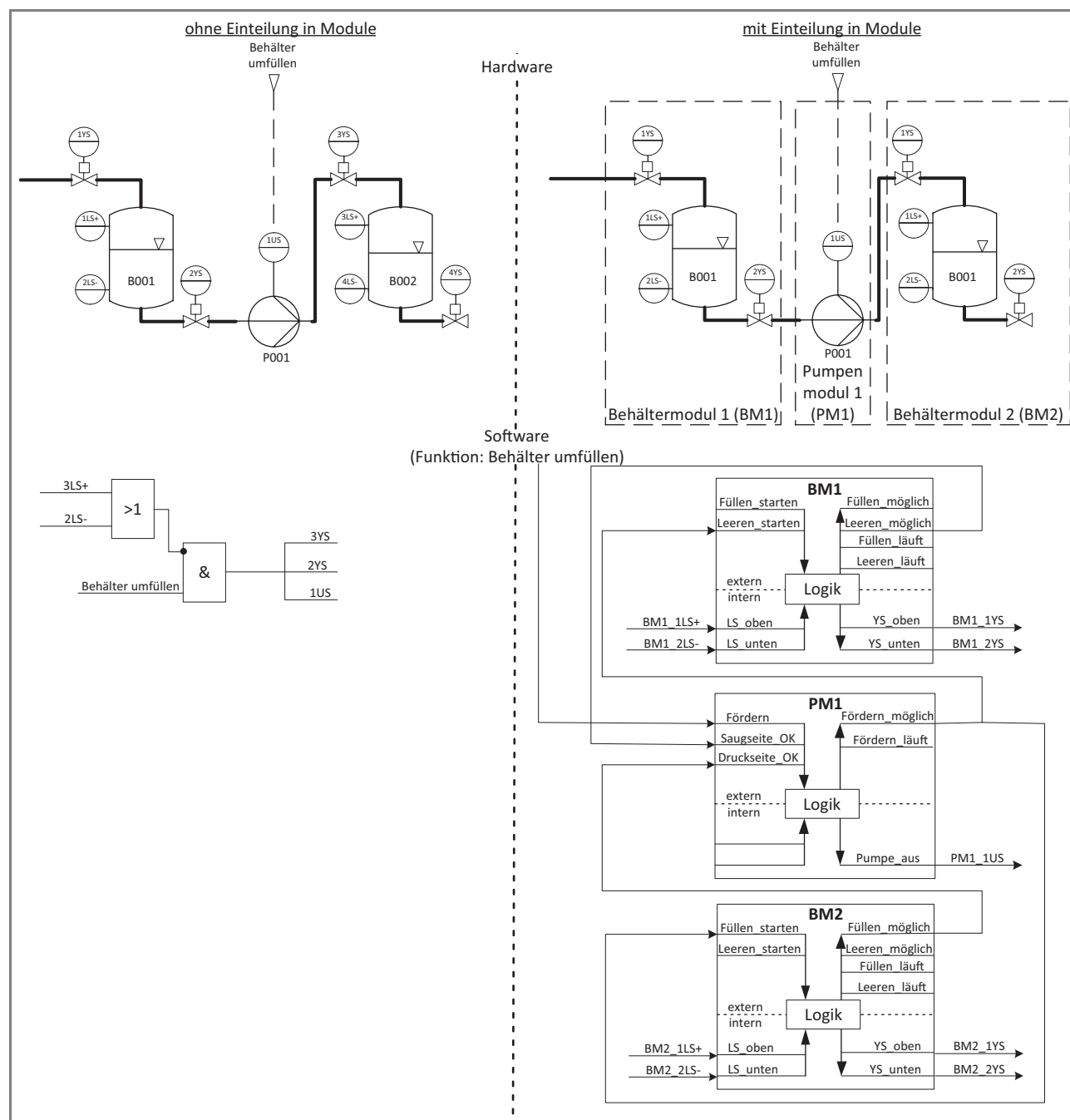


Abbildung 4. Modulare Funktionsplanung.

Bei der modularen Planung besteht die Forderung nach unabhängiger Betrachtungsweise der Module (kontextunabhängige Betrachtung). Voraussetzung hierfür ist eine Kapselung der Softwarefunktionen, bei der eine interne Logik die Prozess- und Sicherheitsfunktionen des Moduls realisiert und Schnittstellensignale eine funktional sichere Verbindungen zu anderen Modulen und zur übergeordneten Funktionseinheit herstellen. Das Verstecken von Interna und Anbieten von Manipulationsmöglichkeiten über eine definierte Schnittstelle stellt ein grundlegendes Gestaltungsprinzip modularer Softwarekonzepte für Wiederverwendbarkeit dar.

Die Funktionskapselung der modularen Automatisierung führt in dem angeführten Beispiel zu einer auf den ersten Blick komplexeren Implementierung (Abb. 4 rechts). Gemessen mit den Komplexitätsmetriken der Softwaretechnik steigt zwar die Anzahl der Bausteininstanzen von 2 auf 3, die Anzahl der vom Nutzer zu definierenden Verbindungen zwischen den Bausteinen (Coupling between instances) sinkt jedoch von 7 auf 5. Die höhere Komplexität ergibt sich durch die Anzahl der Schleifen in dem Informationsflussgraphen. Während die nicht-modulare Logik nur Vorwärtsverbindungen aufweist, sind in der modularen Logik lediglich eine Vorwärtsverbindung und vier Informationsrückführungen zu beobachten. Allerdings verwendet der modulare Entwurf im Gegensatz zu dem Entwurf ohne Module keine Verbindungen zu globalen Variablen im Prozessabbild (Common Coupling). Dies senkt wiederum die Fehleranfälligkeit [10] und führt zu einer deutlich höheren Wiederverwendbarkeit und lokaler Prüfbarkeit von Eigenschaften der Modulautomatisierung. Zuletzt können die dargestellten Modulführungsbausteine sicherlich noch im Hinblick auf die Komplexitätsreduktion für die Konfiguration modulübergreifenden Verhaltens optimiert werden.

10 Anforderungen an Automatisierungsarchitekturen

Der NAMUR-Arbeitskreis 2.1 hat die in Abb. 5 dargestellte Architektur eines Automatisierungssystems für modulare Anlagen skizziert. Demnach umfasst das Automatisierungssystem des Moduls Sensoren, Aktoren, Signalübertragung, Feldbussysteme, Ex-Barrieren, Signalumwandlung und Verkabelung. In dieser Architektur kann ein Modul aus Kostengründen optional mit einer eigenständigen Steuerung zur Implementierung von modulspezifischen Steuerungs- und Regelungsalgorithmen ausgestattet sein, die auch die funktionale Eigensicherheit des Moduls gewährleisten. Für den Batchbetrieb sind auf der Modulsteuerung zudem Grundfunktionen für die Rezeptsteuerung implementiert [9]. Die rasanten Entwicklungen bei Software- und Netzwerktechnologien erlauben prinzipiell auf Baukastenkonzepte und ihre Umgebung zugeschnittene individuelle kostengünstige Automatisierungsarchitekturen für Anlagensicherung und Prozessführung sowie als Datendrehscheibe zwischen Produktions- und Betriebsführung zu entwickeln. Die im MEAR-Konzept aufgestellte Forderung nach einem Automatisierungssystem pro Modul kann damit kosteneffizient erfüllt werden. Einer vollständigen Nutzung der Freiheitsgrade im Sinne einer Kostenoptimierung stehen jedoch die Anforderungen an funktionale Sicherheit, Anlagensicherheit und Informationssicherheit, die optimale bereichsübergreifenden Unterstützung der Bedienmannschaften und eine realistische Abschätzung der Engineering-Aufwände und Lebenszykluskosten entgegen. Wie zukünftige Architekturen von Automatisierungssystemen aussehen müssen, um dieses Zielsystem nachhaltig adressieren zu können ist nicht ohne weiteres zu beantworten. In [9] wird aufgezeigt, dass einige Anforderungen der Modularisierung an die Automatisierung bereits mit geringen Änderungen an aktuel-

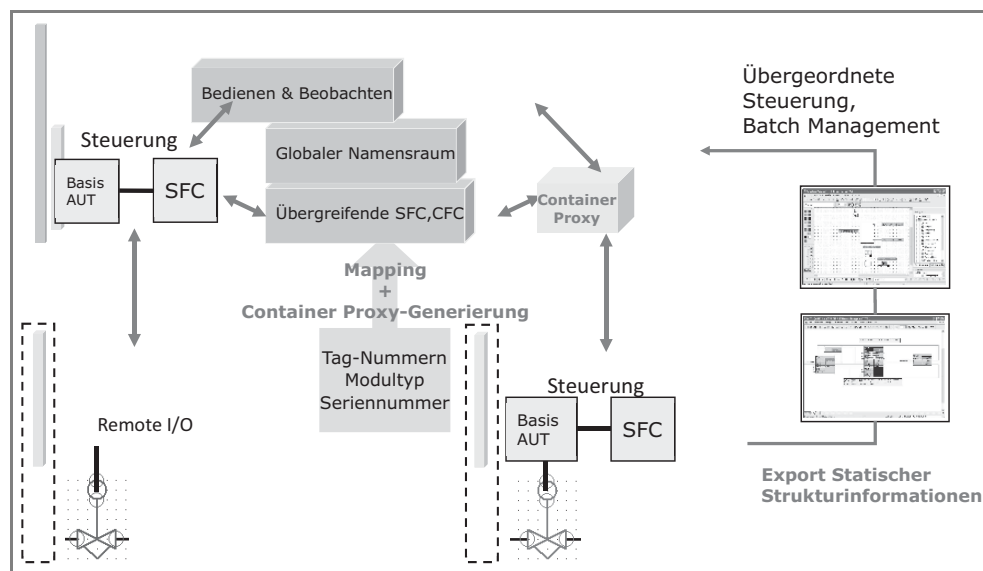


Abbildung 5. Architektur eines Automatisierungssystems für modulare Anlagen, aus [9].

len Architekturen gelöst werden können. Die aktuelle Diskussion über den modularen Aufbau von Automatisierungssystemen aus einem gehärteten Kern und anforderungsspezifischen Ergänzungen kommen der Modularisierung auf Kostenseite sicherlich entgegen [11]. Aktuelle Entwicklungen der Informatik in den Bereichen Semantic Computing, Cloud-Computing, Virtualisierung, Service-orientierte Architekturen, Software as a Service, Middleware in der Automatisierungstechnik und sichere Infrastrukturen bringen jedoch interessante funktionale Kompositions-Aspekte mit, die in einer modular aufgebauten Anlage zu besonders effizienten Lösungen führen können.

11 Zusammenfassung

Der Beitrag hat am Beispiel einer rigorosen Definition von Modularisierung, dem in der Konstruktionstechnik bewährten Baukastensystem, unterschiedliche Herausforderungen aber auch Chancen für die Prozessführung aufgezeigt. Die grundsätzlichen Überlegungen lassen sich auf weniger rigorose Modularisierungskonzepte übertragen. An verschiedenen Beispielen wurde dargestellt, dass die Modularisierung als Mittel zur Reduktion von Planungszeiten nicht nur technischen und informatischen Neuerungen bedarf, sondern auch Veränderungsprozesse in den Arbeitsweisen erfordert. Ein Schlüsselement zur Modularisierung sind disziplinen- und gewerkeübergreifende formale Informationsmodelle der digitalen Anlage.



Leon Urbas ist Inhaber der Professur für Prozessleittechnik an der Technischen Universität Dresden. Seine Hauptarbeitsgebiete umfassen das Engineering von Prozessführungskonzepten für verteilte sicherheitskritische Systeme, insbesondere Funktionsintegration, modellgetriebenes Engineering, Modularisierung, Informa-

tionsmodelle der Prozessindustrie und Architekturen der Automatisierungstechnik. Die Planung der technischen Funktion wird ergänzt durch die Gebrauchstauglichkeit von multimodalen und mobilen Nahtstellen in Automatisierungssystemen, die Analyse, Gestaltung und Bewertung von Alarmierungs- und Unterstützungssysteme sowie Methoden der Benutzermodellierung zur prospektiven Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion.

Literatur

- [1] F.-M. Hagemann, *PITECH 2005*, Magdeburg, September 2005.
- [2] T. Bott, G. Schembecker, *Jahrestreffen PAAT-Fachgemeinschaft*, Weinheim, November 2009.
- [3] G. Pahl, W. Beitz, *Konstruktionslehre*, Springer-Verlag, Berlin 1997.
- [4] F. Anhäuser, H. Richert, H. Temmen, *atp – Automatisierungstechn. Praxis* **2004**, 46 (10), 61–71.
- [5] R. Batres, M. West, D. Leal, D. Price, K. Masaki, Y. Shimada, T. Fuchina, Y. Naka, *Comput. Chem. Eng.* **2007**, 31, 519–534.
- [6] J. Raisch, T. Moor, in *Control and Observer Design for Nonlinear Finite and Infinite Dimensional Systems* (Eds: T. Meurer, K. Graichen, E.-D. Gilles), Springer, Berlin **2005**, 199–216.
- [7] R. W. Paine, J. Tani, *Adapt. Behav.* **2005**, 13 (3), 211–225.
- [8] *Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing* (Eds: V. Märik, V. Vyatkin, A. W. Colombo), Springer, Berlin **2007**.
- [9] L. Urbas, S. Bleuel, T. Jäger, S. Schmitz, L. Evertz, T. Nekolla, *atp – Automatisierungstechn. Praxis* **2012**, 54 (1–2), 44–53.
- [10] S. R. Schach, B. Jin, D. R. Wright, G. Z. Heller, J. Offutt, *Software Qual. J.* **2003**, 11, 211–218.
- [11] P. Terwiesch, *NAMUR-Hauptsitzung*, Bad Neuenahr, November 2011.