

Modellkonzepte in der Automatisierungstechnik

Eckehard Schnieder

Institut für Regelungs- und Automatisierungstechnik
Technische Universität Braunschweig
Langer Kamp 8
38106 Braunschweig
e.schnieder@tu-bs.de

Zusammenfassung: Erkenntnisgewinn und Anwendungserfolg von Automatisierungssystemen hängen mit der Leistungsfähigkeit von Modellkonzepten, ihren Beschreibungsformalissen und ihrer Instrumentalisierung eng zusammen. Aufgrund naturgemäß vieler Sichten und Anforderungen haben sich verschiedene und divergente Modellkonzepte und Notationen entwickelt. Der Beitrag gibt einen Abriss der gebräuchlichsten Modellkonzepte, ihrer Klassifikationen und behandelt erfolgversprechende Ansätze zur Integration.

1 Einleitung

Modellbildung an sich beansprucht die Nachbildung der wirklichen Welt mit anderen Maßstäben oder Mitteln. Waren früher physikalische Modelle hilfreich, sind es heute immer mehr Informationsmodelle, deren Konzepte das Wesentliche des Originals begrifflich abstrahieren und deren Instrumentalisierung sich rechentechnisch konstituiert. Idealerweise hätte demzufolge jedes Original ein eigenes Modell höchster Präzision, ökonomischerweise wäre ein einziges Modell für alles Konsequenz absoluter Abstraktion. Insofern besteht die Kunst der Modellkonzeption in der Balance zwischen Präzision, Abstraktion und Ökonomie in mentaler wie technischer Hinsicht.

Die zwangsläufig aus verschiedenen Zielen, Sichten, Erwartungen, Anwendungs- und Wissenschaftsfeldern herrührenden Modellkonzepte haben zu pragmatischen Darstellungsarten geführt. Aus dieser Betrachtung wird im Beitrag eine Bestandsaufnahme aus dem Anwendungsgebiet Automatisierungstechnik vorgenommen, in dem eine große Vielfalt von Modellkonzepten und Notationen existiert, die nach mehreren Großformen klassifiziert und strukturiert werden.

2 Ziele und Erwartungen

Modellierung in mentaler Form ist ein natürlicher Vorgang. Expressiv in Form von benennbaren Begriffen dient sie der Kommunikation und Erkenntnis. Präzision, Einfachheit und Gültigkeit sind Selektionsvorteile, die in Verbindung mit formalen

Ausdrucksformen und Werkzeugen in technisch-ökonomischer Hinsicht ihre volle Wirksamkeit entfalten.

In der Automatisierungstechnik erwartet man von den Modellkonzepten und ihren Notationen 1. eine breite Abdeckung der relevanten Sachverhalte und 2. Effizienz bei Erwerb und Anwendung, d. h. Beschaffung, Erlernen, Kommunikation, Mehrfachnutzung, Kombination, Integration, Migration und Evolution, was auch die Beibehaltung und Amortisierung von „Humaninvestitionen“ einschließt.

3 Sichten eines Automatisierungssystems

Die Automatisierungstechnik ist ein Wissens- und Anwendungsgebiet mit sehr vielen Sichten, geprägt durch die von der Planung über Errichtung und bis zum Betrieb beteiligten Personengruppen. Die vielen Sichten, aus denen Automatisierungssysteme betrachtet werden können, sind Aufbau der Gewerke, technologische Prozesse im Betrieb, Entwicklung und Beschaffung der technischen Einrichtungen, Führen der Prozesse durch Personen und technische Leitsysteme, Qualitätswesen inklusive Messen und Prüfen, Instandhaltung, betriebswirtschaftliches Berichts- und Rechnungswesen, Produktionsleistung, Ressourceneinsatz usw.

Neben diesen vielen individuellen und z. T. überlappenden Sichtweisen erweisen sich zwei allgemeine Sichten als besonders hilfreich: die physikalische Sicht und die funktionale Sicht. Beide verkörpern ein grundlegend entgegengesetztes Verständnis:

- einmal das tatsächliche physikalische Aufbau- und Erscheinungsbild, was mit hinreichender Abstraktion in klassischen Modellaufbauten bzw. -strukturen entsprechender Notationen beschrieben wird.
- Zum anderen die funktionale Sicht. Sie stellt als solche einerseits eine erhebliche begriffliche Abstraktion bei gleichzeitig andererseits beachtlicher synthetischer Konstruktionsleistung aus dem physikalischen Original dar (vgl. Abb. 1).

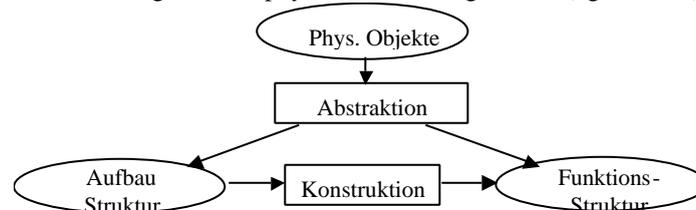


Abb. 1: Physikalische und funktionale Modellierung

Dieser mehrfache Abstraktionsprozess - Abstraktion des Aufbaumodells und Konstruktion des Funktionsmodells - wird nicht unmittelbar wahrgenommen und gedanklich getrennt. Dadurch entstehen viele Verständnisprobleme, weil die Dinge (Betrachtungsgegenstände) oftmals identisch bezeichnet werden, z. B. Steuerung als technische Einrichtung oder abstrakte Funktion, Prozess als physikalischer Vorgang einer Anlage oder Ablauf einer Folge von Steuerzuständen. Wenn unterschiedliche Begriffe mit demselben Wort bezeichnet werden, erschwert die Homonymie die endo- und exogene Kommunikation.

4 Grundfragen der Modellkonzeption

4.1 Kontextverlust und Eindeutigkeit

Begrifflich schwierig ist bei der Modellbildung die Trennung zwischen begrifflicher Interpretation und ihrer physikalischen Präsentation. Wenn der begriffliche Kontext physisch notiert wird, d. h. in der Regel mit grafischen oder textuellen Beschreibungsmitteln, fällt bei der Abbildung mentaler Vorstellungen - eine weitere Modellbildung - infolge Abstraktion der kontextuelle Bezug fast immer weg. Z. B. wird bei Regelkreisen der Energiebezug eliminiert.

Häufig tritt auch bei der mentalen Modellierung und der herangezogenen Notation eine „Kreuzung“ auf, indem die Notation eine bestimmte Sicht wiedergibt, mental wird diese Notation jedoch als Hilfsmittel zur Erläuterung einer anderen bzw. zusätzlichen Sicht nutzt. Ein klassisches Beispiel sind Schaltkreisdarstellungen, d. h. Aufbaustrukturen, welche zur Erläuterung von Verhaltensabläufen benutzt werden.

Dies ist einerseits ökonomisch, indem zwei Sichten (Aufbau, Verhalten) mit einer Notation sowohl explizit als auch implizit beschrieben werden, und auch folgerichtig, da die Architektur das Verhalten determiniert. Das Gegenbeispiel eines Signalverhaltens in Form von Gantt-Diagrammen zeigt andererseits, dass ohne kontextuelle Ergänzung keine eindeutige Aufbaustruktur erzeugt werden kann. Somit ist bei der Modellrealisierung umgekehrt Freiraum gegeben, d. h. der Kontextbezug noch variierbar.

4.2 Interpretation versus Präsentation

Diese kurze Analyse von Sichten, Begriffen und Notation zeigt eine interpretierende Strukturierung in die drei Bereiche (1) real physikalische Welt, (2) mental begriffliche Welt und (3) formale Notation.

		abstrakt. Begriff, Interpretation		
		faktisch	thematisch	formal
konkrete Expression Präsentation	faktisch	physisch (Ding)	chemisch physikalisch Strukturen (Gehirn)	Tinte/Papier Graphik Foto phys. Modell (Pragmatik)
	thematisch	-	mental Begriffe	Symbole Worte, Sätze (Linguistik)
	formal	-	-	Semantik Syntax Signematik (Semiotik)

Tabelle 1: Unterscheidung von Interpretation und Präsentation

Sie offenbart aber gleichzeitig das Dilemma, dass zur Präsentation z. B. formaler Notation die physikalische Welt (Tintendruck auf Papier) und für das Verständnis (Symbol als Begriff) der mentale Bereich zuständig ist. Das Gehirn als Sitz mentaler Interpretation ist begriffliche Auffassung der physikalischen grauen Substanz. Interpretation und Präsentation orthogonal zu unterscheiden, wie in Tabelle 1 gezeigt, ist zwar anfangs nicht ganz einfach, hilft andererseits jedoch zu einer besseren begrifflichen Unterscheidung faktischer, thematischer und formaler Sachverhalte und den Interpretationen der jeweiligen Präsentation, worin sich auch das Rekursionsdilemma offenbart, dass die Kommunikation von Interpretation immer der Expression bedarf.

5 Modellkonzepte

5.1 Terminologie und Taxonomie

Modellbildung ist primär an Begriffe gebunden und folgt daher mentalen Möglichkeiten wie geeigneten Benennungen (Worten) in natürlicher Sprache. Häufig ist die unterlagerte Struktur der Terminologie der jeweiligen Fachsprache, d. h. die Taxonomie, nur ansatzweise formalisiert oder auch nur rudimentär begrifflich fundiert. Zur eindeutigen Fassung komplexerer Sachverhalte liegen bislang nur wenige stimmige Inseln im technischen Sprachgebrauch der Automatisierungstechnik vor.

Hier sind vor allem Normenwerke zu nennen, welche zumindest terminologisch durch Definitionen und Präzisierungen das Kommunikationsvermögen steigern. Zwischen einzelnen Fachgebieten selbst bestehen leider terminologische Brüche, z. B. zwischen der Messtechnik und der Verlässlichkeit, die in mühevoller Kleinarbeit geschlossen werden. Neben der Homonymie ist auch hier die Synonymie eine weitere Ursache für begriffliche Missverständnisse (z. B. Fehler, Sicherheit ...).

Eine besondere Problematik besteht neben der terminologischen Eindeutigkeit und ihren partiellen Redundanzen in der Präzisierung der verschiedenen Relationen zwischen den Termini und insbesondere in der Notation der Relationen. Ermöglichen zwar erweiterte Entity-Relationship-Diagramme und Klassendiagramme in der statischen Bestands- und Aufbaustruktur Ordnungsschemata, ist bei anderen Modalitäten, z. B. Ort, Art und Weise und insbesondere dynamischen Beziehungen, wie der Kausalität und Temporalität, bislang wenig Notationspotential zur Modellierung dieser Sachverhalte mit attributierenden Eigenschaften erkennbar.

5.2 Modellkonzept-Paradigmen

Zu den erfolgreichen Modellkonzepten der letzten Jahre zählt die Objektorientierung, ein Ansatz, welcher auch die vorher individuellen und sichten-spezifischen funktions- und datenorientierten Betrachtungsweisen integriert. Der Erfolg ist nicht verwunderlich, da die Objektorientierung ursprünglich durch das Konzept der Kategorienlehre von Aristoteles begrifflich fundiert und nun in eine zeitgemäße Wortwelt überführt wurde.

In konsequenter ganzheitlicher Ergänzung der Objektorientierung sind derzeit dynamische Aspekte ganzheitlicher Prozessabläufe aktuell, z. B. in Form von Geschäftsprozessen. Zukünftig wird eine weitere Integration auch der Objekt- und

Prozessorientierung im Sinne einer holistischen Systemorientierung als nächstem Paradigma erwartet.

5.3 Phasenmodelle

Sowohl bei der Errichtung von Automatisierungssystemen wie auch bei den darin ablaufenden Phasen sind Konzepte vorteilhaft, um die Folge von Zuständen, bezogen auf eine monotone Referenzzustandsfolge (i. a. die Zeit) im Sinne des Paradigma der Prozessorientierung zu modellieren (vgl. Abb. 2.) Die Notationen dieser Modellkonzepte sind entweder rein grafisch oder grafisch-textuell explizit notierte Zustandsfolgen oder implizit formal notierte Übertragungsausdrücke (Blockschaltbilder, Übertragungsfunktionen, Abstrakte Zustandsmaschinen, Rekursionsgleichungen, V-Modell-Schema).

Für die Entwicklung von Automatisierungssystemen hat sich, wie im Software-Engineering allgemein, das Vorgehensmodell mit seinen diversen Teilphasen durchgesetzt. Bei einer thematisch und räumlich personell verteilten Entwicklung ist ein nebenläufiges Vorgehen mit verschränkten Entwicklungsphasen Maßgabe des Concurrent Engineering Modellkonzepts.

Allgemein kann dies Konzept auch als Zustands-Transformation bezeichnet werden, für die seit langem ausgereifte Modellkonzepte und Beschreibungsmittel aus der Systemtheorie existieren. Trotz der langen Tradition dieses Modellansatzes konnten bislang nicht alle notwendigen Aspekte der Automatisierungstechnik mit der notwendigen Präzision gleichermaßen berücksichtigt werden.

5.4 Drei-Schichten-Objekt-Prozess-Modell

Eine gewisse Schwierigkeit der Phasen-Modellkonzepte liegt in der Ursächlichkeit des Fortschritts der Referenzgröße (Zeit, Takt), die in der Regel von außen gegeben ist, z. B. bei Differenzgleichungen bzw. Rekursionsalgorithmen oder Automaten und nur gelegentlich aus dem Modellkonzept selbst heraus entwickelt wird [BG00]. Diese Problematik hat zu einem eigenständigen Modellkonzept der Transitionssysteme geführt, das in Abschnitt 5.8 behandelt wird.

Bei den Phasenmodellkonzepten wurde häufig auch nur der Signalcharakter der Größen vor bzw. nach dem Transformationsprozess berücksichtigt (z. B. bei regelungstechnischen Übertragungsfunktionen), d. h. nur örtlich stationär; der in Anlagen stattfindende Stoff- oder Materialfluss desselben Prozesses wurde jedoch nicht mit berücksichtigt. Bei anderer Modellsicht stand nur das relevante Prozessobjekt in seinen Lauf durch den Prozess im Vordergrund, andere Prozessobjekte bzw. Transformationsprozesse wurden, wenn überhaupt, separat erfasst. Auch der zum Prozessablauf notwendige Energiebedarf und die anfallende Energieabgabe wurden nicht einbezogen. Schließlich fehlten in dieser Modellierung die Mittel, d. h. die technologischen Ressourcen, die für die Prozessdurchführung selbst erforderlich sind.

Das ganzheitliche „Drei-Schichten-Objekt-Prozess-Modell“ [Sc99] ergibt sich durch Integration von

- (1) Prozessobjekten, d. h. den im dynamischen Prozess transformierten, durchlaufenden Produkten mit ihren jeweiligen unterschiedlichen Zuständen, und die für den Prozess eingesetzte Energie [PPR95]
- (2) dem Prozess als Transformationsphase für das Produkt nach dem sogenannten Phasenmodell [PLB93]
- (3) dem notwendigen Produktionsmittel mit Prozessfunktionalität, d. h. Ressourcen.

In einer gemeinsamen Arbeitsgruppe der GMA und NAMUR (GMA 7.21) wurde auf dieser konzeptionell umfassenden Grundlage eine Richtlinie zu formalen Prozessmodellen und Darstellung nach Abb. 3 erarbeitet, welche alle angeführten Schwachstellen überwindet [ACFS00].

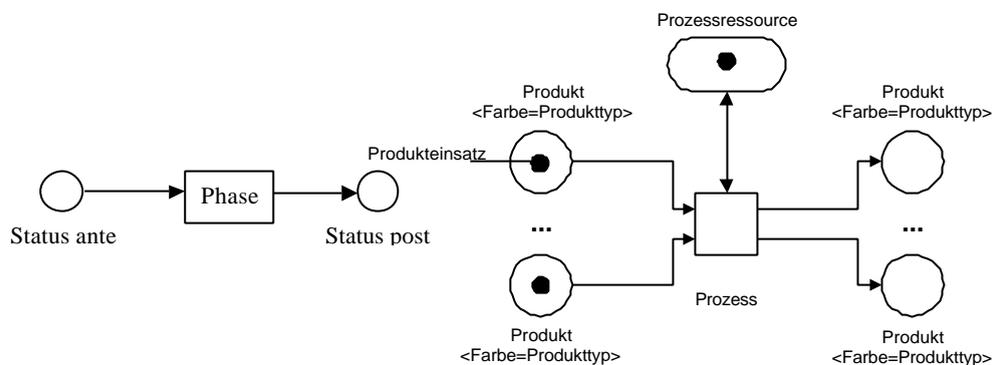


Abb. 2: Grundkonzept des Phasenmodells

Abb. 3: Grundstruktur des Drei-Schichten-Objekt-Prozess-Modells in der Darstellung nach GMA 7.21

5.5 Ressourcen-Modellierung

Die für technische Prozesse notwendigen Betriebsmittel sind Ressourcen. Zur Modellierung ihres Aufbaus, ihrer Funktionalität und ihres Verhaltens mit wurden zwar verschiedenste Ansätze vorgeschlagen, verbreitet wurden hingegen solche Ansätze mit einem fundierten (Modell)konzept und Standardisierungsbestrebungen ihrer Notation. Beispiele sind neben der DDR-Norm TGL 25000 Klassifizierungsstrukturen für technische Einrichtungen, so z. B. Kennzifferschemata wie das Kraftwerks-Kennzeichnungssystem (KKZ), oder die in DIN 19259 genormte Taxonomie für Sensorsysteme oder das Merkmalleisten-Klassifizierungssystem eCl@ss als Beispiel für Produktdatenmodelle (PDM). Andere Ansätze beruhen auf der Bereitstellung eines mehr oder weniger vollständigen Regelwerks zur Modellierung und Notation selbst. Das wohl (zu) umfangreichste Werk ist der Standard for the Exchange of Product Data STEP nach ISO 10303. Derzeit aktuelle Ansätze sind Komponentenmodelle, da sie weitgehende Autonomie im Kontext von Allgemeinstandards (Internet und JAVA) aufweisen.

5.6 Schichten-Modellkonzepte

Die Strukturierungsmöglichkeit der Funktionen im Sinne von Aufgaben beinhaltet auch die funktionale und daraus abgeleitete technische Strukturierung von Anlagen und insbesondere der leittechnischen Einrichtungen. Hier sind vor allem Schichtenmodelle zu nennen. Dazu gehört z. B. die klassische Struktur von kaskadierten Regelkreisen oder die sogenannte Automatisierungspyramide in hierarchischer Strukturierung mit dem leittechnischen Referenzmodell als Metamodell [ESS]. Hierunter fallen aber auch andere schichtenartige Modellkonzepte, z. B. das ISO-OSI Referenzmodell der Übertragungstechnik, Schichtenmodelle von Echtzeitbetriebssystemen usw.

5.7 System-Konzept

Ein begrifflich axiomatisch und formal weit fortgeschrittenes Modellkonzept ist das „Systems“ [Sc86] nach folgender Maßgabe (Abb. 4), das dadurch den Charakter eines Metamodells erhält.

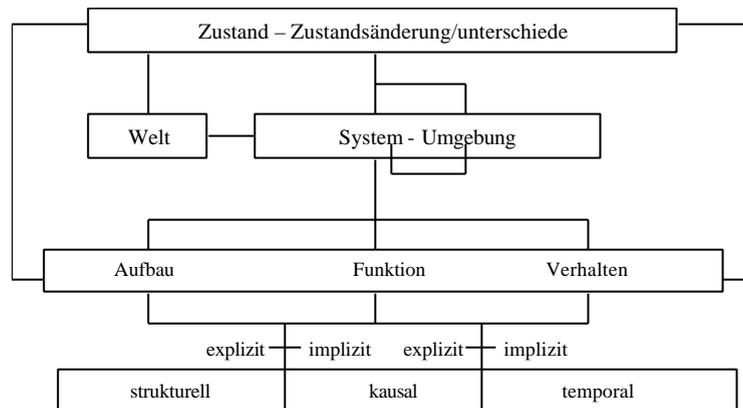


Abb. 4: Begriffliche Grundstruktur eines System-Modellkonzepts

Als mentale Wahrnehmung physikalischer Ausprägung von Welt wird der Zustand axiomatisch postuliert. Durch unterschiedliche Ausprägung benachbarter Zustände (Referenzzustand, Zustandsunterscheidung) strukturiert sich die Welt. Das System konstituiert sich in Abgrenzung zu seiner Umgebung.

Explizite statische (räumliche) Zustandsunterschiede bestimmen den Aufbau und die Systemstruktur, dynamische Zustandsänderungen das beobachtbare Systemverhalten. Das Systemverhalten ist Ausdruck der Systemfunktion, die ihrerseits vom Systemaufbau determiniert ist. Zustände, Verhalten, Struktur und Funktion haben diverse Eigenschaften, die ihrerseits geeignet attribuiert werden können, wofür z. B. die Norm ISO 1360 einen höchst vollständigen Vorschlag enthält.

Die explizite Funktion entspricht dem impliziten Verhalten, die explizite Struktur impliziert die Funktion, d. h. die Transformation von Objekten im Sinne von Aufgaben eines Phasenmodells oder von Zuständen im Sinne eines Prozessmodells (vgl. V-Modell, Regelkreismodell).

5.8 Zustands-Modellkonzepte

Grundlage der Entwicklung von Modellkonzepten der Dynamik ist einmal der Zustandsbegriff als solcher (vgl. 5.6), der zum anderen die Detaillierung und speziell die Auflösung der Zustandsgröße beinhaltet, woraus sich der Wert der Zustandsgröße und dann aus der Werteänderung der Zustandsübergang als Ausdruck der Dynamik ergibt. Die begriffliche Erfassung der Zustandsauflösung hat mehrere Stadien (Abb. 5).

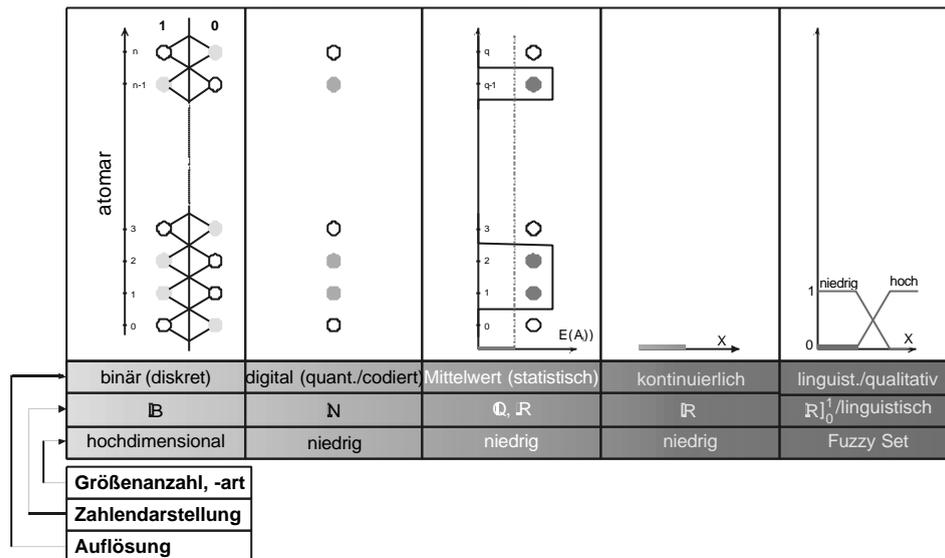


Abb. 5: Zustandsauflösung und -darstellung

Ausgehend von einer quantenphysikalisch diskreten Auflösung in Elementarzustände, die mit dem Begriff eines topologisch kompakten Kontinuums korrespondiert, lässt sich eine statistische Betrachtung entwickeln, die aus dem Verhältnis eines Elementarzustandes zur unendlich abzählbaren Gesamtmenge der Elementarzustände zum Sprachgebrauch kontinuierlicher Zustandsgrößen und ihrer mathematischen Handhabung durch die Infinitesimalrechnung führt. Auf der anderen Seite können gewisse erfahrungsbedingte Zustandsbereiche linguistisch benannt und mathematisch mit Hilfe der Fuzzy-Mengen formalisiert werden. Bei der Konzentration derartiger qualitativ definierter Zustandsbereiche in Form diskreter Zustände spricht man von der sogenannten diskreten Abstraktion oder besser Approximation.

Auch unabhängig von physikalisch begründeten Zustandsgrößen lassen sich auch andere primär begrifflich fundierte Zustände bzw. „Zustandsstücke“ in der oben beschriebenen Art fassen [Ge]. Dies korrespondiert letztendlich auch mit der bitweise kontextuell entscheidungsbedingten informationstechnischen Codierung.

Aus der aufbaustrukturellen Gliederung des Systems resultiert die Zuordnung zu Örtlichkeiten bzw. umgekehrt. Insofern ist zwischen Lokal- und systemumfassenden Globalzuständen zu unterscheiden, woraus sich auch unterschiedliche Funktionszusammenhänge ergeben. Dies hat erheblichen Einfluss auf die Notation mit ihren Formalismen, insbesondere auf die Frage der (De)Kompositionalität.

5.9 Modellkonzepte kausaler und temporaler Dynamik

Das dynamische Verhalten der Zustandsgrößen - ob physikalisch oder informationell bezogen - lässt sich mit mehreren Modellkonzepten erfassen.

Für die Beschreibung des dynamischen Systemverhaltens mit Hilfe von Zustandsmengen und zugehörigen Relationen, d. h. ohne die inneren Zusammenhänge funktional zu formalisieren, wurde von [Wi91] der sogenannte Behavioural Approach entwickelt.

Durch die verhaltensbestimmenden Zustandsänderungen werden konzeptuell alle denkbaren Systemverhaltensweisen berücksichtigt, das kontinuierliche, das diskrete sowie das gemischt kontinuierlich-diskrete wie auch das stochastische [Sc00].

Vorzugsweise werden Zustandsübergänge bzw. Folgezustände in Abhängigkeit der vorangegangenen Zustände in Form von Transitionssystemen modelliert. Je nach Auflösung der Zustandsgröße müssen dabei unterschiedliche Konzepte beachtet werden. Bei infinitesimaler Auflösung der relevanten Zustandsgröße wird durch Inbezugsetzung zu einer ebenfalls infinitesimal ändernden Referenzgröße eine endliche relative Änderung, das „referenzielle Differenzial“, aus dem die Formalisierung der Differenzialgleichung vollgeordneter Zustandsmengen resultiert:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = f(x, u, t).$$

Im Fall diskreter Änderungen, durch Übergang von einem Zustandsstück zum nächsten, ist eine unmittelbare Inbezugsetzung bzw. Relativierung nicht nötig (und unterbleibt zugunsten einer dynamischen Vorher-Nachher-Halbordnungsbeziehung). Der diskrete Zustandswechsel wird als „Ereignis“ jetzt auch begrifflich eigenständig etabliert und die Zustandsdynamik durch das individualisierte Ereignis referenziert [Ge98]. Neben der „algebraischen Differenz“ zweier verschiedener Zustände $P_1 - P_2 = \Delta P_{12} = \partial P$ muss zudem die kausale Notwendigkeit des Zustandswechsels in das Modellkonzept einbezogen werden, die zumeist mit bzw. aus einer Strukturänderung einher- bzw. hervorgeht. Sie wird in Form einer aus dem aktuellen Zustand resultierenden Bedingung etwa als Kausalimpuls δ einer „kausalen Differenz“ oder eines „kausalen Potentials“, notiert.

So entsteht eine halbgeordnete Menge von Zuständen und Kausalimpulsen bzw. Ereignissen. Sollte in einer bestimmten Zustandskonstellation das (kausale) Potential für eine Zustandsänderung liegen, wird die von den Zuständen und der Zustandspartitionierung kausal determinierte Änderungsmenge $\partial P / \partial T$ durch das Potential δ aktiviert.

$$P_1 \rightarrow P_2 : \delta = F(P_1) \quad \Delta P \rightarrow \frac{\partial P}{\partial T} \delta(P)$$

Der Ausdruck $\partial P / \partial T$ ist dabei die stückweise kausal logisch bedingte Partitionierung des Zustandsraumes.

Dies Konzept beschreibt einen Automaten sowohl mit lokalem als globalem Zustandsbegriff, aber mit einer aus sich heraus begründeten Fortschrittsdynamik, welche bislang a priori postuliert wurde.

Für den Fall lokaler Zustandsgrößen-Automaten wird das Petrische Konzept kommunizierender Automaten hierdurch modelliert, das natürlich auch durch die

klassische Petrinetz-Notation, aber auch z. B. durch Boolesche Differenzialgleichungen formalisiert werden kann.

Wird der Kausalimpuls nur als Zeitfortschritt gedeutet und darauf reduziert, enthält dies allgemeine Modellkonzept den Spezialfall eines üblichen Zeit-Differenzialsystems. Daneben lässt sich durch Orthogonalisierung von Zeit- und Kausalfortschritt ein mächtiges Modellkonzept etablieren [Cr], das notationell im Petrinetzformalismus auch eine elegante Darstellung findet, in der auch gemischt kontinuierlich-diskrete Dynamik einheitlich formalisiert werden kann [Ch00]. Dadurch wird die konzeptionelle Kraft dieses Modellkonzepts nachhaltig bestätigt.

6. Ausblick

Die Modellkonzepte der Automatisierungstechnik befinden sich in evolutionärer Entwicklung, wobei andere Fachgebiete wie Betriebswirtschaftslehre, Telekommunikation, Softwaretechnik und Schaltungstechnik ebenfalls wertvolle Beiträge liefern. Als Fachgebiet zwischen Physik und Informatik müssen die Modellkonzepte der Automatisierungstechnik - wenn sie sich erfolgreich behaupten wollen - die Trägheit physikalischer Systeme und die Beweglichkeit informationeller Artefakte gleichermaßen integrieren.

Erst wenn nach der Akzeptanz der begrifflichen Konzeption die Formalisierung der Notation gelingt, um schließlich mittels ihrer Instrumentalisierung in rechen-technischen Werkzeugen in die erfolgreiche Praktizierung zu münden, war die Metamorphose von Modellkonzepten erfolgreich [Sc EKA 1999].

Literaturverzeichnis

- [AFSC00] Ahrens, W.; Felleisen, M.; Schnieder, E.; Chouikha, M.: Formale Prozessbeschreibung - gestern, heute und morgen. atp 9/2000.
- [BG00] Broy, M.; Grosu, R.: Methodische Fundierung echtzeitkritischer Systeme auf Basis praxisnaher Beschreibungen. SPP „Software-Spezifikation“ DfG.
- [Bu97] Buchner, H.: Grundlagen der nichtmetrischen Prozessbeschreibung als Basis der informationsorientierten leittechnischen Modellbildung. Dissertation, RWTH Aachen, Aachen.
- [Cr96] Cramer: Der Zeitbaum. Grundlegung einer allgemeinen Zeittheorie; Insel 1996.
- [ESS94] Erdmann, L.; Schnieder, E.; Schielke, A.: Referenzmodell zur Strukturierung von Leitsystemen. at - Automatisierungstechnik 5/94.
- [Ge98] Genrich, H. J.: Experimental Symbolic Analysis of Net Systems. Workshop on Practical Use of Coloured Petri Nets and Design/CPN, Aarhus 1998.
- [PLB93] Polke, M.; Lauber, I.; Buchner, H.: Das Informationsmodell: Basis für die interdisziplinäre Prozeßbeschreibung. Entwurf komplexer Automatisierungssysteme, Braunschweig, 1993.
- [PPR95] Polke, B.; Polke, R.; Rauprich, G.: Erweiterung des Phasenmodells zur integrierten Beschreibung von Material- und Energieströmen. atp 9/95 p. 28.
- [Sc86] Schnieder, E.: Prozessinformatik. Vieweg 1986.
- [Sc99a] Schnieder, E.: Methoden der Automatisierung, Vieweg 1999.
- [Sc99b] Evolution von Entwicklungswerkzeugen der Automatisierungstechnik. EKA 99.

- [Sc00] Schnieder, E.: Die Idealisierung des Kontinuierlichen - zur Modellierung kontinuierlich-diskreten Verhaltens in der Automatisierungstechnik und Informatik. 45. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Ilmenau, 04.- 6.10.2000.
- [Wi91] Willems, J. C.: Paradigms and Puzzles in the theory of dynamical systems. IEEE Transactions on automatic control, vol. 36, N. 3, March 1991