

# Einsatz von Agenten für das Selbstmanagement von Automatisierungssystemen

*Hisham Mubarak, Peter Göbner*

*Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik, Universität Stuttgart*

## 1 Einleitung

Die automatisierungstechnischen Entwicklungen und Innovationen der letzten Jahre zeigen einen deutlichen Trend zur Dezentralisierung von Automatisierungssystemen (vgl. Wahlster und Raffler 2008). Zusammen mit der gleichzeitig erfolgenden funktionalen Flexibilisierung von Automatisierungskomponenten führen diese Entwicklungen zu leistungsfähigeren, anpassbareren und wirtschaftlicheren Automatisierungssystemen, die jedoch eine immer höhere Gesamtkomplexität im Betrieb aufweisen und aufgrund der damit einhergehenden Überforderung des Betriebspersonals die Beherrschbarkeit der Systeme gefährden. Gleichzeitig unterliegt der moderne Anlagenbetrieb vielfältigen Anforderungen (Gote et al. 2008, S. 45-54). Neben der eigentlichen Erfüllung des Produktionsziels, also der Herstellung von Gütern in gewünschter Qualität und Menge, muss ein sicherer Anlagenbetrieb gewährleistet werden. Zusätzlich muss zur Sicherstellung einer globalen Wettbewerbsfähigkeit eine energieoptimierte und ressourcenschonende Produktionsweise sichergestellt werden. Nichtsdestotrotz müssen Aufwendungen für Instandhaltung sowie die Personalkapazität unter dem Druck des globalen Wettbewerbs reduziert werden. Die Situation wird in Zukunft zusätzlich dadurch erschwert, dass die Ausbildung von Fachkräften und der notwendige Aufbau von Erfahrung nicht mit dem starken Wachstum der Industrialisierung in Schwellenländern mithalten kann (Gote et al. 2008, S. 45-54). Dieser Trend wird durch den demographischen Wandel in westlichen Industrieländern verstärkt, mit der Folge, dass immer weniger Fachkräfte für die Bewältigung komplexerer Aufgaben zur Verfügung stehen.

Es ist daher unabdingbar das Betriebspersonal wo möglich zu entlasten und es bei der Durchführung technischer Betriebsbetreuungsaufgaben in bestmöglicher Weise zu unterstützen. Die verfügbare menschliche Expertise soll dabei in den wichtigen Funktionen effizient eingesetzt werden, während automatisierbare Funktionen durch ein Unterstützungssystem autonom und ohne Zutun des Betriebspersonals durchgeführt werden. Eine Möglichkeit zur Entlastung des Betriebspersonals und zur Beherrschung komplexer Systeme ist das Prinzip der Selbstorganisati-

on (Jelasy et al. 2006, S. 8-9). Im Kontext des Betriebs komplexer Automatisierungssysteme bedeutet dies die autonome Durchführung von technischen Betriebsbetreuungsarbeiten durch Softwareagenten.

Der vorliegende Beitrag stellt eine agentenbasierte Erweiterung klassischer Prozessautomatisierungssysteme durch ein Selbstmanagementsystem vor, welches die schrittweise Einführung von Selbst-X-Funktionen (automatisierte Funktionen zur Unterstützung der Betriebsbetreuung, vgl. Kephart und Chess 2003, S. 41–50) in Automatisierungssysteme erlaubt. Der Beitrag ist wie folgt gegliedert: Abschnitt 2 beschreibt die grundlegende Idee der Automatisierung von Betriebsbetreuungsarbeiten in Automatisierungssystemen durch Selbstmanagement-Funktionen (SMF), sowie grundlegende Anforderungen an ein Unterstützungssystem für technische Betriebsbetreuungsarbeiten. Abschnitt 3 motiviert den Einsatz eines Agentensystems für die Entwicklung und autonome Durchführung von SMF. Daraus wird eine generische Architektur für ein Selbstmanagementsystem (SMS) abgeleitet und die eingesetzten Agententypen werden erläutert. Abschnitt 4 beschreibt ein Anwendungsbeispiel für ein Selbstmanagementsystem. Schließlich werden die wichtigsten Aussagen und Ergebnisse in Abschnitt 5 zusammengefasst.

## **2 Selbstmanagement zur Unterstützung der technischen Betriebsbetreuung von Automatisierungssystemen**

### **2.1 Technische Betriebsbetreuungsarbeiten in Automatisierungssystemen**

Ein Prozessautomatisierungssystem besteht nach Lauber und Göhner (1999, S. 5–9) aus drei interagierenden Teilsystemen: Dem technischen System, dem Rechner- und Kommunikationssystem sowie dem Prozesspersonal. Das technische System dient der physischen Durchführung eines technischen Prozesses, beispielsweise ein Reaktor in einer verfahrenstechnischen Anlage. Das Rechner- und Kommunikationssystem (Automatisierungssystem) dient der Erfassung, Verarbeitung und Darstellung von Informationen über das Prozessgeschehen, sowie der Ausgabe von Informationen (z. B. Steuersignale) zur zielgerichteten Beeinflussung des Ablaufs des technischen Prozesses im technischen System. Das Prozesspersonal verfolgt das Prozessgeschehen und leitet die Vorgänge in den darunterliegenden Teilsystemen. Ebenfalls greift das Prozesspersonal in Ausnahmesituationen oder bei Störungen in das Prozessgeschehen ein. Es wird auch als Betriebspersonal bezeichnet.

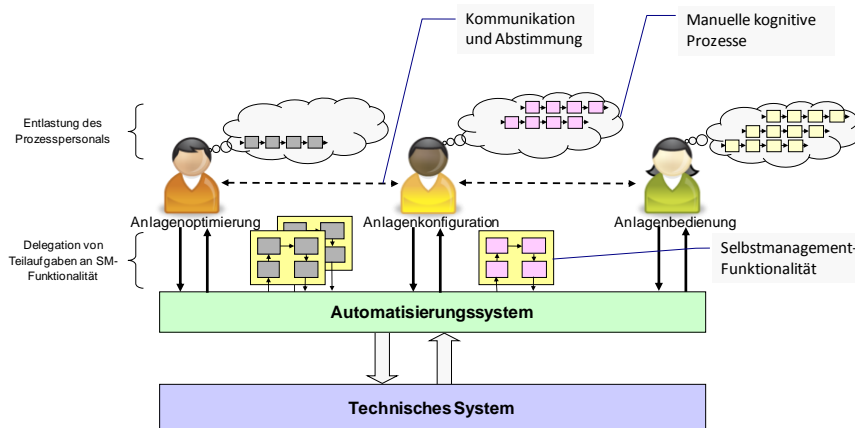
Es gilt zu beachten, dass in modernen Automatisierungsanlagen die manuellen Tätigkeiten des Prozesspersonals zum einen der Führung operativen Betriebs dienen und zum anderen sich mit der technischen Betriebsbetreuung (Inbetriebnahme, Instandhaltung, Optimierung und Sicherung des Automatisierungssystems) befassen. Das Ziel des Selbstmanagements ist die Unterstützung des Prozesspersonals durch Automatisierung der Betriebsbetreuungsarbeiten ist. Betriebsbetreuungsarbeiten lassen sich in die Kategorien Konfiguration, Heilung, Optimie-

rung und Schutz einteilen. Durch ihre Automatisierung entstehen entsprechende Selbst-X-Funktionen (Kephart und Chess 2003, S. 41-50).

## 2.2 Anforderungen an ein Selbstmanagementsystem in der Automatisierungstechnik

Abhängig von der Größe und der Komplexität einer Automatisierungsanlage kann die Anzahl des Prozesspersonals, welche mit Betriebsbetreuungsaufgaben befasst ist, variieren. Wie in Abbildung 1 skizziert, findet eine Spezialisierung des Prozesspersonals statt. Aufgaben wie Prozesssicherung, Fehlerdiagnose, Störungsbehandlung, Prozessoptimierung oder Konfiguration von Anlagenelementen erfordern spezifische Sichtweisen, Vorgehensweisen und Expertenwissen zur Aufgabenbearbeitung. Zur Erfüllung dieser Aufgaben interagieren die jeweiligen Personen individuell und heterogen mit dem Automatisierungssystem und nutzen aufgabenspezifische Werkzeuge, welche die jeweilige Tätigkeit unterstützen. Bei der Durchführung von Eingriffen in das Automatisierungssystem besteht die Gefahr, dass sich einzelne Handlungen gegenseitig störend beeinflussen, widersprechen oder zeitlich koordiniert werden müssen. Zu diesem Zweck findet eine Abstimmung zwischen den zuständigen Personen des Prozesspersonals statt. Ist ein gemeinsamer Konsens erreicht, werden die Handlungen im Automatisierungssystem manuell durchgeführt. Grundlage für diese Interaktionen zwischen menschlichen Bedienern und Automatisierungssystem sind dem Menschen eigene kognitive Prozesse. Die Unterstützung des Betriebs von Automatisierungssystemen erfordert daher die Nachbildung und Automatisierung von kognitiven Prozessen durch ein Selbstmanagementsystem. Selbstmanagementfunktionen müssen nach dem Stellvertreterprinzip realisiert werden, da sie sich am menschlichen Vorgehen orientieren und eine Stellvertretung des Prozesspersonals erlauben sollen. Dementsprechend ist autonomes und zielorientiertes Handeln eine wesentliche Voraussetzung für Selbstmanagementfunktionen und muss vom Entwicklungsparadigma unterstützt werden.

Die Entwicklung von Selbstmanagementfunktionen erfordert eine umfangreiche Integration von funktionspezifischem Wissen, um einerseits Situationen im Automatisierungssystem zu identifizieren, welche einen Handlungsbedarf erfordern, und andererseits, um im Bedarfsfall geeignete Maßnahmen auszuwählen und im Automatisierungssystem umzusetzen. Darüber hinaus ist funktionsübergreifendes Wissen zur Koordination der Handlungsmaßnahmen aus unterschiedlichen Selbstmanagementfunktionen erforderlich, um beispielsweise Konflikte durch sich widersprechende Maßnahmen aufzulösen. Mubarak (2007) beschreibt ein Modell für Selbstmanagementprozesse, welches eine systematische Analyse und Beschreibung von Selbstmanagementfunktionen erlaubt und damit die Grundlage für deren Automatisierung darstellt. Anhand dieses Modells lassen sich die drei genannten Wissenskategorien den einzelnen Prozessschritten zuordnen, in welchen sie benötigt werden (vgl. Abbildung 2).



**Abbildung 1: Vision der Delegation von manuellen Aufgaben des Prozesspersonals an Selbstmanagementfunktionen des Automatisierungssystems**

Für die automatisierte Durchführung von Selbstmanagementfunktionen ist die Möglichkeit des automatisierten Beobachtens und Eingreifens in das operative Automatisierungssystem erforderlich. Daraus folgt, dass die Bestandteile des Automatisierungssystems, welche Gegenstand der technischen Betriebsbetreuung sind, also bei der Durchführung von technischen Betriebsbetreuungsaufgaben als Informationsquelle oder Stellglied genutzt werden, für einen automatisierten Zugriff (Beobachten und Eingreifen) zugänglich gemacht werden müssen. In Analogie zur Automatisierung von technischen Prozessen werden also für die Automatisierung von Betriebsbetreuungsaufgaben entsprechende „Management-Sensoren“ und „Management-Aktoren“ benötigt. Ein Selbstmanagementsystem muss die Heterogenität der eingesetzten Technologien und die Struktur eines Automatisierungssystems berücksichtigen und eine davon unabhängige Management-Sensorik und -Aktorik bereitstellen.

Miller (2005) fordert für die Einführung von Selbstmanagement-Technologien in den betrieblichen Alltag von IT-Systemen einen evolutionären Prozess. Die Einführung von Selbstmanagementfunktionen muss schrittweise erfolgen, da das Prozesspersonal sich an die Delegation von einzelnen Betriebsbetreuungsaufgaben gewöhnen muss, bevor weitere eingeführt werden können. Auch kann der tatsächliche Bedarf an Unterstützung und Entlastung des Prozesspersonals erst im betrieblichen Alltag festgestellt werden, so dass ein Selbstmanagementsystem diese schrittweise Evolution des Umfangs an Selbstmanagementfunktionen konzeptionell unterstützen muss.

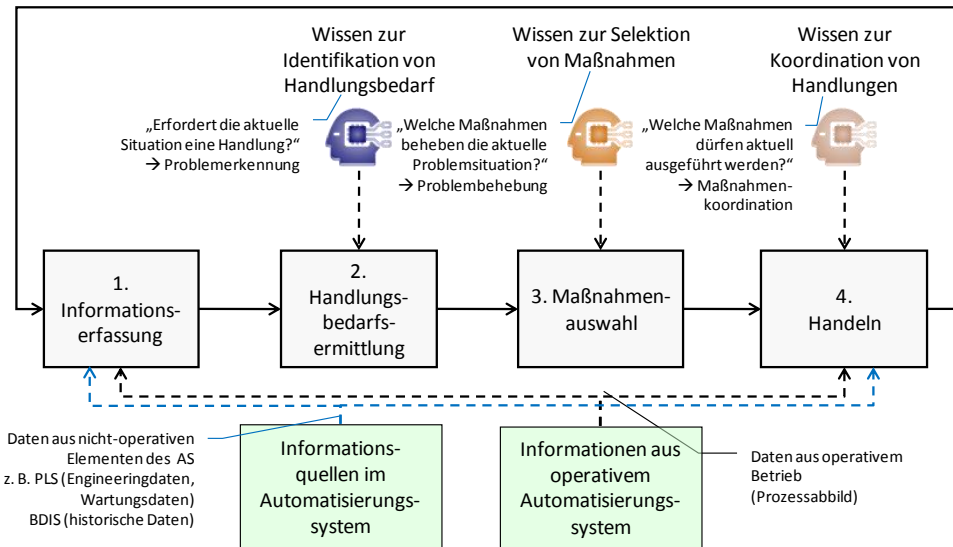


Abbildung 2: Wissens- und Informationsbedarf für Selbstmanagement-Funktionen

Im Falle der Delegation von Betriebsbetreuungsaufgaben an ein Selbstmanagementsystem verbleibt weiterhin die Verantwortung beim Prozesspersonal. Daher muss das Prozesspersonal immer in der Lage sein, zu entscheiden, welche Betriebsbetreuungsaufgaben an Selbstmanagementfunktionen delegiert werden und welchen Grad die Automatisierung von delegierten Betriebsbetreuungsaufgaben einnehmen soll. Um eine Akzeptanz von Selbstmanagementfunktionen beim Betriebspersonal zu erlangen ist es essentiell, dass die Handlungen und Aktionen von Selbstmanagementfunktionen zu jeder Zeit nachvollziehbar und transparent sind.

### 3 Agentenbasiertes Selbstmanagementsystem für Automatisierungssysteme

#### 3.1 Agentenorientierte Architektur eines Selbstmanagement-Systems

Aus den beschriebenen Anforderungen wird das Konzept eines Selbstmanagementsystems abgeleitet. Aufgrund der geforderten Autonomie bei der Durchführung von Selbstmanagementfunktionalitäten, der notwendigen Unterstützung individueller Sichten auf das AT-System und der Orientierung am menschlichen Verhalten eignet sich ein agentenorientierter Ansatz zur Konzeption eines Selbstmanagementsystems (Parunak 1998). Die dem agentenorientierten Paradigma inhärente strukturelle Flexibilität unterstützt eine schrittweise Erweiterung eines Selbstmanagementsystems im Sinne einer schrittweise Evolution, welche den Betrieb des AT-Systems begleitet (Jennings und Wooldridge 2000, S. 277).

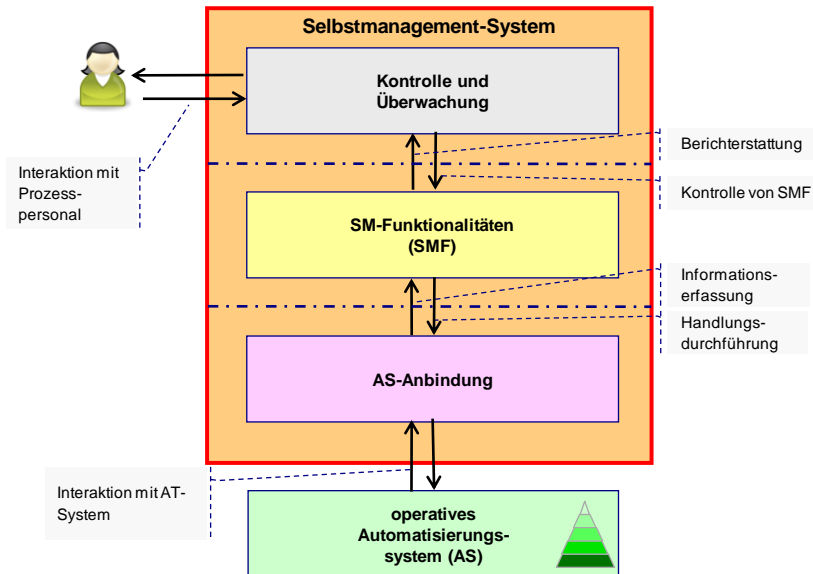


Abbildung 3: Architektur eines Selbstmanagement-Systems

Grundidee des Ansatzes ist es, basierend auf dem Modell des Selbstmanagementprozesses individuelle Selbstmanagementfunktionen in dedizierte Selbstmanagement-Agenten zu kapseln, welche vollständig autonom handeln und somit den Bediener von der entsprechenden Aufgabe entlasten.

Zu diesem Zweck wird das klassische Prozessautomatisierungssystem um ein viertes Teilsystem, das Selbstmanagement-System, erweitert. Aus den im vorigen Abschnitt beschriebenen Anforderungen lassen sich drei Kernaufgaben eines Selbstmanagementsystems ableiten:

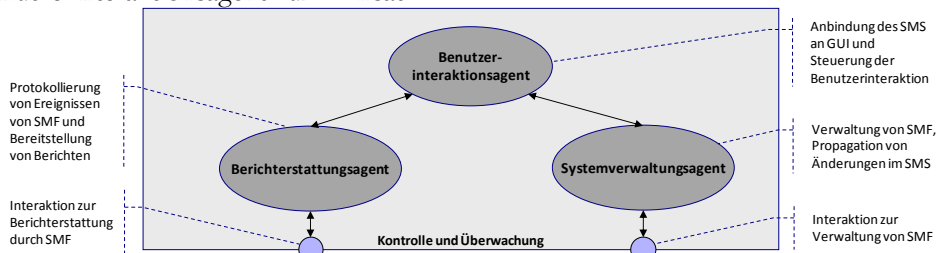
1. Sicherung der Kontrolle und Nachvollziehbarkeit durch das Betriebspersonal
2. Bereitstellung der Selbstmanagement-Funktionalität
3. Technologietransparente Anbindung an das operative Automatisierungssystem

Auf Basis dieser Kernaufgaben wird das Selbstmanagementsystem in drei funktionale Ebenen aufgeteilt. Abbildung 3 zeigt das Selbstmanagementsystem, welches sowohl mit dem Bedienerpersonal, als auch mit dem darunterliegenden Automatisierungssystem interagiert. Innerhalb der Ebenen des Selbstmanagementsystems interagieren spezialisierte Agenten, um die jeweiligen Aufgaben zu erfüllen. Diese werden im Folgenden beschrieben.

### 3.2 Agenten zur Kontrolle und Überwachung von Selbstmanagement-Funktionalitäten

Die oberste Ebene, Kontrolle und Überwachung, ist der Interaktion mit dem Prozesspersonal gewidmet. Hier gilt es dem Prozesspersonal eine einheitliche Schnittstelle für die Interaktion mit dem Selbstmanagementsystem und den darin vorhandenen Selbstmanagementfunktionen bereitzustellen. Das Prozesspersonal wird über Ereignisse und Entscheidung der Selbstmanagementfunktionen informiert und kann deren Autonomiegrad im Sinne einer Adjustable Autonomy (Maheswaran 2003, S. 187-194) festlegen.

Abbildung 4 zeigt die Agenten der Ebene *Kontrolle und Überwachung*. Hier kommen die Agententypen Systemverwaltungsagent, Berichterstattungsagent und Benutzerinteraktionsagent zum Einsatz.



**Abbildung 4:** Agenten zur Kontrolle und Überwachung von SMF

Ein *Systemverwaltungsagent* (SVA) ermittelt dynamisch die in der darunterliegenden Ebene der Selbstmanagement-Funktionalität vorhandenen Selbstmanagementfunktionen und ermöglicht deren Konfiguration und Parametrierung. Da das Prozesspersonal immer in der Lage sein muss, zu entscheiden, welche Betriebsbetreuungsaufgaben an Selbstmanagementfunktionen delegiert werden und welchen Grad die Automatisierung von delegierten Betriebsbetreuungsaufgaben einnehmen soll, erlaubt der Systemverwaltungsagent die explizite Delegation von Betriebsbetreuungsaufgaben durch Aktivierung der entsprechenden Selbstmanagementfunktionen. Nach der Aktivierung von Selbstmanagementfunktionen erlaubt der SVA den Autonomiegrad festzulegen, in dem der Benutzer festlegen kann, welche Schritte des Selbstmanagementprozesses durch eine Selbstmanagementfunktion autonom durchgeführt werden sollen. So kann ein Anlagen-Operator beispielsweise die Überwachung eines Prozesses und die Auswahl von Maßnahmen an eine Selbstmanagementfunktion delegieren wollen, nicht jedoch die Koordination und Ausführung der Maßnahmen. Wesentlich ist, dass das Betriebspersonal den Autonomiegrad mit Hilfe des SVA explizit festlegen und jederzeit anpassen kann. Hierzu werden die drei Autonomiestufen informierend, anweisend und autonom unterstützt.

Der *Berichterstattungsagent* (BEA) sichert die Nachvollziehbarkeit von Aktivitäten der Selbstmanagementfunktion. Hierzu interagiert der BEA dynamisch mit in der

darunterliegenden Ebene der Selbstmanagement-Funktionalität vorhandenen Selbstmanagementfunktionen und protokolliert deren Ereignisse und Entscheidungen. Selbstmanagementfunktionen sind gegenüber dem BEA berichtspflichtig, so dass das deren Verhalten jederzeit durch das Prozesspersonal nachvollzogen werden kann. Auf diese Weise dokumentiert der BEA sowohl Handlungen als auch das Unterlassen von Handlungen durch Selbstmanagementfunktionen und kann diese auch rückwirkend transparent darstellen. Damit leistet der BEA einen elementaren Beitrag zur Akzeptanz von Selbstmanagementfunktionen.

Der *Benutzerinteraktionsagent* (BIA) stellt die Benutzerschnittstelle eines Selbstmanagementsystems dar. Er verwaltet die Benutzerinteraktion und interagiert hierzu mit dem SVA und dem BEA. Darüber hinaus kann der Benutzerinteraktionsagent zur Anbindung einer GUI an das Selbstmanagementsystem eingesetzt werden.

### 3.3 Agenten zur Bereitstellung von Selbstmanagement-Funktionalitäten

Die mittlere Ebene „Selbstmanagement-Funktionalität“ ist der Kern des Selbstmanagementsystems und dient der Bereitstellung der eigentlichen Selbstmanagement-Funktionalität. Die Ausprägung von Art und Anzahl der hier bereitgestellten Selbstmanagementfunktionen ist abhängig vom jeweiligen Automatisierungssystem und der hierfür gewünschten Unterstützung durch Selbstmanagement. Die autonome Durchführung von Selbstmanagementfunktionen erfordert neben deren eigentlicher Bereitstellung auch die Koordination deren Handlung im Automatisierungssystem. Analog zur Abstimmung des Prozesspersonals bei der manuellen Durchführung, muss diese Koordination ebenfalls automatisiert erfolgen können, um einen autonomen Betrieb zu gewährleisten. Abbildung 5 zeigt die Ebene „Selbstmanagementfunktionalität“. Hier kommen Selbstmanagementagenten und Koordinationsagenten zum Einsatz.

Ein *Selbstmanagementagent* (SEMA) stellt genau eine SMF bereit. Aufgrund der Heterogenität der Betriebsbetreuungsaufgaben und den dementsprechend heterogenen Lösungsverfahren erlaubt die individuelle Realisierung durch einen SEMA die höchste Flexibilität. Ein SEMA wird spezifisch für eine Betriebsbetreuungsaufgabe eines Automatisierungssystems entwickelt und kapselt das funktionspezifische Wissen zur Identifikation von Handlungsbedarf und zur Ableitung von Maßnahmen zur Behebung funktionalitätsrelevanter Situationen (vgl. Schritte 2 und 3 in Abbildung 2). Hierzu interagiert jeder SEMA mit der darunterliegenden Ebene, der Automatisierungssystemanbindung, um die von ihm zur Erfüllung seiner Aufgaben benötigten Informationen aus dem Automatisierungssystem zu ermitteln. Erfasste Informationen werden vom SEMA analysiert und wissensbasiert auf einen Handlungsbedarf ausgewertet. Ist dies zutreffend erfolgt in einem weiteren wissensbasierten Schritt die Ableitung von Maßnahmen zur Ausführung im Automatisierungssystem. Sowohl die Handlungsbedarfsermittlung als auch die Maßnahmenauswahl können durch regelbasierte Systeme zur Formalisierung und Nutzung des



entsprechenden Wissens unterstützt werden. Sämtliche Aktivitäten und Entscheidungen eines SEMAs werden umgehend an den Berichterstattungsagenten gemeldet.

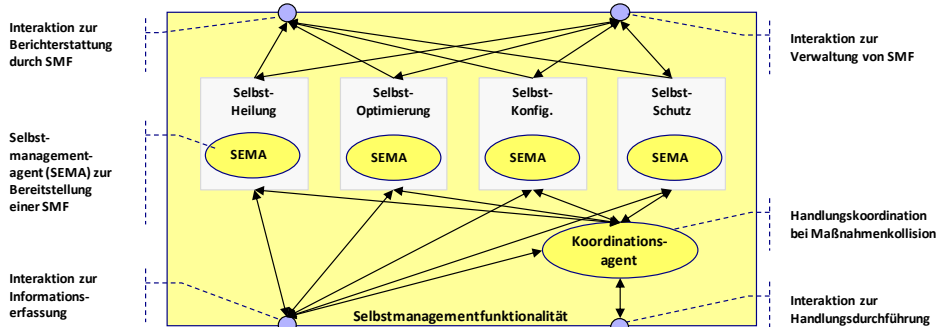


Abbildung 5: Agenten zur Bereitstellung und Koordination von SMF

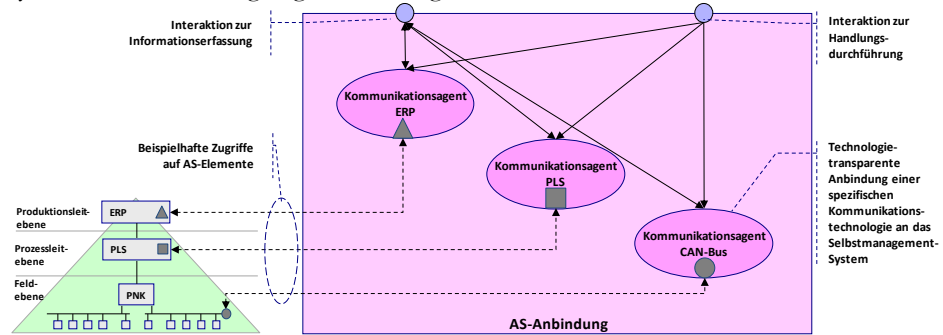
Der *Koordinationsagent* (KOORA) spielt eine zentrale Rolle bei der Sicherung der Konsistenz von Handlungsmaßnahmen der im Selbstmanagementsystem befindlichen Selbstmanagement-Agenten. Er verfügt über eine Wissensbasis zur Koordination von Handlungen im Automatisierungssystem. Zur Wahrnehmung dieser Aufgaben werden dem KOORA Handlungsanfragen von den SEMAs übermittelt. Diese werden vom KOORA auf Konflikte überprüft und bei Bedarf mit dem aktuellen Zustand des Automatisierungssystems (AS) abgestimmt. Sofern keine Konflikte vorliegen, leitet der KOORA die Handlungsanfrage an das AS weiter. Im Konfliktfall erfolgt eine Auflösung mit Hilfe des Koordinationswissens. Das Koordinationswissen ist für ein Automatisierungssystem spezifisch und bildet die Eskalations- und Priorisierungsstrategien des Prozesspersonals ab.

### 3.4 Agenten zur Anbindung des Automatisierungssystems

Die unterste Ebene „Automatisierungssystemanbindung“ stellt die für das Selbstmanagement erforderlichen Schnittstellen zum Automatisierungssystem dar. Die Bestandteile des Automatisierungssystems, welche Gegenstand des Selbstmanagements werden für einen automatisierten Zugriff (Beobachten und Eingreifen durch Selbstmanagementfunktionen) zugänglich gemacht. Aufgrund der Heterogenität der Technologien der Bestandteile des Automatisierungssystems muss hier eine Abstraktion von diesen Technologien erfolgen und der einheitliche Zugriff für Selbstmanagementfunktionen ermöglicht werden. Abbildung 6 zeigt die Ebene „Automatisierungssystem-Anbindung“. Hier kommen technologiespezifische Kommunikationsagenten zum Einsatz.

Ein *Kommunikationsagent* (KOMA) realisiert die Anbindung einer Kommunikationstechnologie an das Selbstmanagementsystem. Zu diesem Zweck verfügt ein KOMA über einen generischen Teil zur einheitlichen Interaktion innerhalb des Selbstmanagementsystems und einen technologiespezifischen Teil zur Kommuni-

kation mit den entsprechenden Bestandteilen des Automatisierungssystems. Die Selbstmanagementagenten melden ihren individuellen Informationsbedarf bei Kommunikationsagenten an. Hierbei unterscheidet ein Kommunikationsagent die einmalige Abfrage einer Information, oder die regelmäßige Meldung der Information an einen SEMA. Die regelmäßige Meldung kann von einem SEMA sowohl zyklisch, als auch ereignisgesteuert angefordert werden.



**Abbildung 6: Kommunikationsagenten zur Anbindung an das AS**

Gleichzeitig dienen KOMAs als Schnittstelle zum Zugriff auf das Automatisierungssystem. Vom KOORA freigegebene Handlungen werden zur Ausführung im Automatisierungssystem an die entsprechenden KOMAs übermittelt.

Auf Basis dieses allgemeinen Selbstmanagementsystems kann für beliebige Automatisierungssysteme eine Unterstützung durch Selbstmanagementfunktionen bereitgestellt werden. Hierzu sind die Entwicklung der spezifischen Selbstmanagementfunktionen und die Konfiguration der benötigten Kommunikationsagenten notwendig.

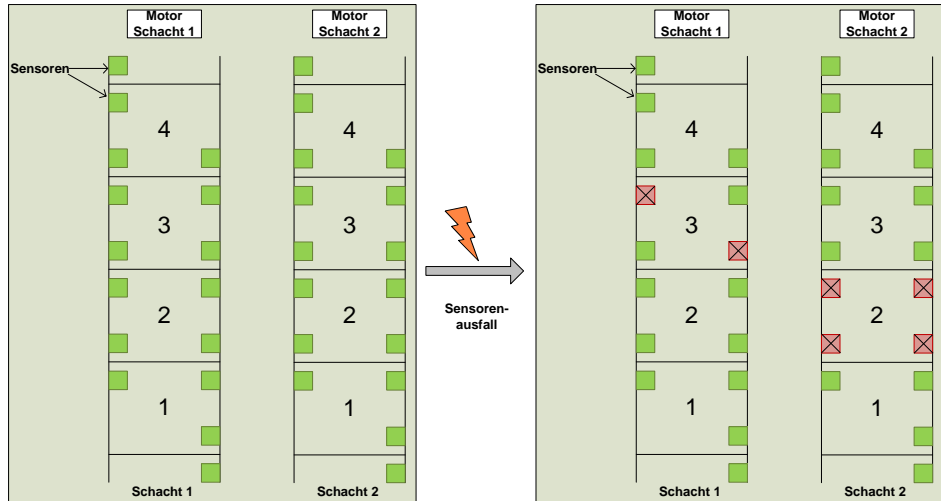
## 4 Anwendungsbeispiel Personenaufzug

Anhand des Beispiels einer Selbstheilung von Ausfällen bei einem Personenaufzug soll das Funktionsprinzip des Selbstmanagementsystems verdeutlicht werden.

Das in Abbildung 7 dargestellte System besteht aus 2 Aufzugsschächten mit je einer Kabine. Zur Erfassung der Kabinenposition sind je Stockwerk 4 taktile Sensoren erforderlich. Beim Ausfall eines Sensors muss der Betrieb des Aufzugs eingestellt werden, da er nicht mehr von der Steuerung positioniert werden kann. Die Steuerung sowie sämtliche Sensoren und Aktoren sind über einen CAN-Bus vernetzt.

Zur Bereitstellung einer Selbstheilungsfunktion, welche Teilausfälle von Positionssensoren, wie in Abbildung 7 rechts dargestellt, kompensieren kann, müssen für dieses System fünf Agenten des Selbstmanagementsystems realisiert werden. Neben den Agenten zur Kontrolle und Überwachung ist ein Kommunikationsagent für den Zugriff auf den CAN-Bus notwendig. Er interpretiert ankommende

Nachrichten auf dem Bus und übermittelt diese an einen Selbstheilungsagenten (SEMA).



**Abbildung 7: Schematische Darstellung der Sensoren des Personenaufzug im Normalzustand (links) und mit Teilausfall (rechts)**

Der Selbstheilungsagent verfügt über ein internes Modell der Aufzugsanlage, mit dessen Hilfe er Ausfälle einzelner Sensoren durch Ausbleiben der Positionsmeldung erkennen kann. Ist dies der Fall, stellt der Selbstheilungsagent einen Handlungsbedarf fest (Ausfall kompensieren). Zu dessen Erfüllung legt der Selbstheilungsagent dynamisch fest, wie ein Schätzwert für den oder die ausgefallenen Sensoren auf Basis benachbarter funktionsfähiger Sensoren errechnet werden kann. Hierzu greift er auf eine Regelbasis zurück, welche situationsbasiert ausgewertet wird. Die Ausführung der festgelegten Maßnahme erfolgt durch eine Rekonfigurationsanforderung an die operative Steuerung. Die Anforderung wird mit Hilfe des Kommunikationsagenten an das operative Automatisierungssystem übermittelt. Da in dem Beispiel lediglich eine Selbstmanagementfunktion realisiert wurde, kann auf einen Koordinationsagenten verzichtet werden.

## 5 Zusammenfassung

Die Zunahme der Komplexität moderner AT-Systeme macht eine Unterstützung bei Betriebsbetreuungsaufgaben erforderlich. Hierzu wurde ein allgemeines, agentenbasiertes Konzept vorgestellt, welches die einfache Integration von Selbstmanagementfunktionen parallel zum Betrieb des Automatisierungssystems erlaubt. Aufgrund der strukturellen Flexibilität des agentenbasierten Ansatzes können weitere Selbstmanagementfunktionen einfach integriert werden, sowie bei Bedarf weitere

Informationsquellen genutzt werden. Durch skalierbare Autonomie und detaillierte Berichterstattung ist die Kontrolle und Nachvollziehbarkeit des Selbstmanagements sichergestellt. Das vorgestellte Konzept wurde auf Basis der Agentenplattform JADE realisiert und an unterschiedlichen Automatisierungssystemen erfolgreich erprobt. Aktuelle Arbeiten der Autoren beschäftigen sich mit der Bereitstellung eines Frameworks zur effizienten Entwicklung von agentenbasierten Selbstmanagementsystemen. Dabei soll der Entwickler bei der Konfiguration und Instanziierung des agentenbasierten Selbstmanagementsystems durch ein Entwicklungswerkzeug unterstützt werden.

## Literatur

- Gote M, Neumann J, Bauer M, Horch A (2008) Trends in Operations und Plant Asset Management – ein Diskussionbeitrag. *atp* 50(10):48–54.
- Jelasy M, Babaoglu O, Laddaga R (2006) Self-Management through Self-Organization. *IEEE Intelligent Systems* 21(2): 8–9.
- Jennings NR, Wooldridge M (2000) Agent-Oriented Software Engineering. *Artificial Intelligence* 117:277-296
- Kephart JO, Chess DM (2003) The Vision of Autonomic Computing. *IEEE Computer* 36(1):41–50.
- Lauber R, Göhner P (1999) Prozessautomatisierung I, 3. vollst. überarbeitete Auflage. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Maheswaran RT, Tambe M, Varakantham P, Myers K (2003) Adjustable Autonomy Challenges in Personal Assistant Agents: A Position Paper. In Nickles M, Rovatsos M, Weiss G (Hrsg) *Agents and Computational Autonomy - Potential, Risks, Solutions*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Miller BA (2005) The autonomic computing edge: The path to level 5, full autonomic maturity <http://www.ibm.com/developerworks/autonomic/library/ac-edge8>. Abruf am 2009-09-15.
- Mubarak H (2007) Unterstützung der Leitebene durch Selbstmanagement-Funktionalität. In: VDI-Bericht Nr. 1980 GMA-Kongress 2007 Automation im gesamten Lebenszyklus, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Parunak HVD (1998) Practical and industrial applications of agent-based systems. Environmental Research Institute of Michigan (ERIM).
- Wahlster W, Raffler H (2008) Studie 2008 des Feldafinger Kreises "Forschen für die Internet-Gesellschaft: Trends, Technologien, Anwendungen" [http://www.feldafingerkreis.de/Feldafinger-Kreis\\_Studie\\_2008.pdf](http://www.feldafingerkreis.de/Feldafinger-Kreis_Studie_2008.pdf). Abruf am 2009-09-15.