

Mobile Agenten für den Fernzugriff auf eingebettete Systeme

Mobile Agents for Remote Access to Embedded Systems

Josef Renner und Peter Protzel

In der Automatisierungstechnik sind Fernzugriffe auf Geräte und Anlagen bereits heute eine wesentliche Anwendung der Teleautomation. Zum Einsatz kommen dabei Teleservice-Systeme unter Nutzung analoger und digitaler Wählleitungen oder Internet-Verbindungen. Mobile Agenten können zukünftig die Technologie der Fernzugriffe innerhalb der Automatisierungstechnik deutlich verbessern. Ein sehr großer Teil der Automatisierungsgeräte und Systeme ist dem Bereich der eingebetteten Systeme zuzurechnen. Diese Systeme benötigen zur „Agenten-Fähigkeit“ eine Netzwerkanbindung und eine integrierte Agenten-Plattform. Dieser Artikel beschreibt die dazu erforderlichen Anpassungen und erläutert vier mögliche Anwendungsszenarien eines Fernzugriff-Agenten für die Automatisierungstechnik.

In automation technology teleautomation already plays a significant role in the remote access to single devices or plants. Currently systems of teleservice use analog and digital switched lines or internet connections. As a new paradigm, mobile software agents can significantly improve the techniques of remote access in automation in the very near future. Most automation devices and systems belong to the group of embedded systems. These systems must be enabled to deal and operate with mobile agents by gaining network access and by integrating an agent operation platform. This article describes the necessary modifications and discusses four potential applications of a remote access agent for automation technology.

Schlagwörter: Mobiler Agent, Teleautomation, Fernzugriff, Java in eingebetteten Systemen, Agenten-Plattform

Keywords: Mobile agent, teleautomation, remote access, Java in embedded systems, agent platform

1 Motivation und Zielsetzung

Der weltweite Fernzugriff auf Anlagen und Geräte wird heute bereits über so genannte Teleservice-Systeme durch Anbindung an das analoge oder digitale Telefonnetz oder über Internetverbindungen genutzt. Die existierenden Teleservice-Systeme für den Fernzugriff weisen jedoch eine Reihe von Problemen auf, die durch den Einsatz von mobilen Software-Agenten gelöst werden könnten. Die Übertragung der eigentlichen Zugriffsaufgabe auf einen mobilen Agenten eröffnet neue Möglichkeiten und Verbesserungen für die Automatisierungstechnik im gewerblich industriellen Umfeld wie auch im Heimbereich. Für die Klasse der Desktop-Rechner mit 32-Bit-Architekturen auf der Basis von Standard-Betriebssystemen gibt es

heute bereits Lösungen für die Anwendung von Software-Agenten. Mit Anpassungen wären diese Systeme auch für Fernzugriff-Aufgaben einsetzbar, allerdings verhindern in der Regel gerade die speziellen Eigenschaften eingebetteter Systeme deren Anwendung in der Automatisierung. Bei Automatisierungsgeräten sind heute noch in großem Umfang Systeme mit einer 16-Bit-Architektur und hochdiversitären Hardware- und Software-Architekturen im Einsatz. Dieser Artikel beschreibt die notwendigen Maßnahmen, um auch auf solchen eingebetteten Systemen mit mobilen Agenten zu operieren. Unser Ziel ist es, die Vorteile des Einsatzes mobiler Agenten für die Teleautomation und den dazu erforderlichen Aufwand zu diskutieren. Dazu werden vier Anwendungsszenarien eines mobilen Fernzugriff-Agenten erläutert.

2 Stand der Technik für den Fernzugriff auf Geräte und Anlagen

Viele der bereits in den 90er-Jahren vorgeschlagenen Methoden für den Datenaustausch zu entfernten Geräten, Maschinen und Anlagen können erst heute durch die verfügbare Infrastruktur der lokalen und weltweiten Netzwerke und die Leistungsfähigkeit der Rechner realisiert werden. Durch die neuen Möglichkeiten der Datenfernübertragung ist es in den letzten drei Jahrzehnten immer besser gelungen, einen fernen Nutzer an eine Zielapplikation über einen bidirektionalen Datenaustausch anzubinden. Die Anwendung von Verfahren der Teleautomation beschränkt sich dabei nicht nur auf gewerbliche und industrielle Anlagen, vielmehr wird man zukünftig auch im privaten Umfeld die Vorteile der Teletechniken nutzen, beispielsweise bei der Gebäudeautomatisierung, bei Kraftfahrzeugen und Haushaltsgeräten. Die Hauptvorteile sind der schnelle Zugriff auf ferne Anlagen für die Systempflege, Überwachung und Unterstützung bei Problemen sowie eine erhebliche Kostenersparnis durch eine Reduzierung der Einsätze vor Ort.

Unter Fernzugriff (remote access, Telecontrol) wird der datentechnische Zugriff eines Nutzers auf ein fernes Rechnersystem mittels Verfahren der Datenfernübertragung verstanden, um ferne Prozesse zu überwachen und/oder zu steuern. Bild 1 zeigt die Einteilung der Teleautomation in die Bereiche Fernleiten und Ferninstandhalten:

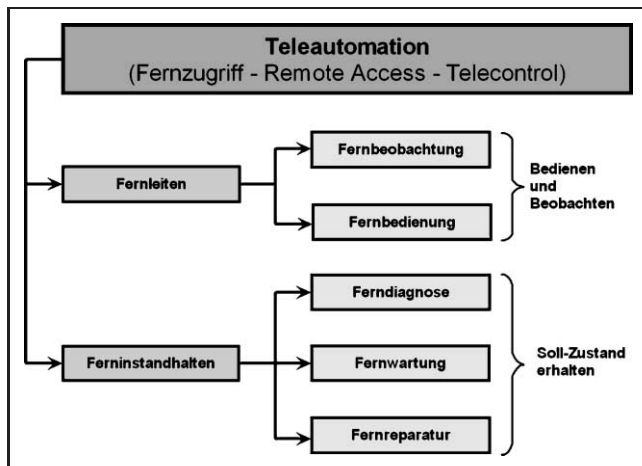


Bild 1: Bereiche der Teleautomation.

2.1 Fernzugriffe auf der Basis von Online-Verbindungen

Fernzugriffe werden heute in der Automatisierungstechnik durch so genannte Teleservice-Systeme und in den letzten Jahren auch verstärkt durch Internet-Verbindungen realisiert. Entfernte Anlagenteile werden somit für einen fernen Nutzer (remote user) erreichbar und sind innerhalb eines Gesamtsystems zugänglich. Bei Teleservice wird über das Telefonnetz eine Verbindung zu einer örtlich mehr oder weniger entfernten Anlage aufgebaut, d. h. nach dem Sprachgebrauch der Automatisierungstechnik „wählt man sich in

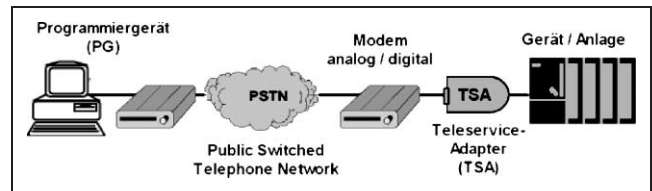


Bild 2: Teleservice via Modem und Telefonnetz.

eine Anlage ein“. Das Programmiergerät (PG) eines Nutzers wird über eine Modem-Fernverbindung und einen so genannten Teleservice-Adapter (TS-Adapter) an eine serielle Schnittstelle eines Zielsystems angeschlossen (Bild 2). Durch die Kombination eines Teleservice-Adapters mit einem GSM-Modem werden die heute in der mobilen Kommunikation millionenfach genutzten GSM-Dienste auch für Fernzugriffe erschlossen, vorwiegend für Zielsysteme, die nicht direkt an Netzwerke (LAN/WAN, Telefon-Festnetz) angebunden werden können, z. B. Anlagen in unzugänglichen Gebieten. Der Kurznachrichten-Dienst SMS wird heute bereits vielfach für Meldungen von fernen Anlagen genutzt.

2.2 Einsatz von Web-Technologien

Unter dem Begriff „Web-Technologien“ werden alle Techniken zusammengefasst, die mit der Entwicklung und dem Betrieb von Internet, Intranet und Extranet in Verbindung stehen. Die Web-Technologien teilt man in zwei Bereiche ein, zum einen die Netzwerk-Technologien [1] und zum anderen in die darauf aufbauenden Internet-Dienste, wie beispielsweise das World Wide Web als dem bekanntesten dieser Dienste. Damit stehen neue Technologien zur Verfügung, welche selektiv auch in der Industrieautomatisierung heute schon genutzt werden. Für neue Anwendungen von mobilen Agenten im Fernzugriff bilden sie ebenfalls die Basis. Die etablierten Anwendungsprinzipien (Paradigmen) von Web-gestützten Applikationen im gewerblichen und industriellen Umfeld wie auch im privaten Bereich lassen sich in zwei wesentliche Gruppen einteilen:

- Anforderung und Darstellung von Web-Inhalten auf Clients
- Web-basierter Fernzugriff auf Geräte und Anlagen: Web-Browser (Nutzerseite) und Web-Server (Zielsystemseite) bilden die Applikationsarchitektur für Web-gestützte Fernzugriffe, in der Regel mit Hilfe des Protokolls HTTP. Die durch den Web-Client vom Web-Server angeforderten Daten können statische, aber auch dynamische Web-Seiten (z. B. Auszüge aus Datenbanken, Benutzeroberfläche für Folgeaktivitäten) sein. Das klassische Beispiel aus der Automatisierungstechnik ist die Integration aktueller Prozessdaten aus einem Zielsystem in eine Web-Seite mittels verschiedener serverseitiger Verfahren, z. B. CGI (Common Gateway Interface) [2]. Automatisierungsgeräte verfügen dazu über einen integrierten bzw. eingebetteten Web-Server, um den Fernzugriff über Ethernet- oder Einwahl-Verbindungen zu ermöglichen.

2.3 Nachteile der Online-Verfahren

Online-Verbindungen sind aus folgenden Gründen für den Fernzugriff auf Anlagen und Geräte gerade im industriellen Umfeld nur eingeschränkt tauglich:

- Verfügbarkeit des Nutzers über die gesamte Servicezeit notwendig
- Übertragungsstörungen, z. B. beim Datentransfer über das Telefonnetz. Für die Beobachtung von fernen Prozessen ist jedoch meist eine lückenlose sequenzielle Verfügbarkeit der Daten unabdingbar.
- Hohe Verbindungskosten
- Niedrige Übertragungsraten
- Herstellerspezifische Systeme: Nahezu alle Anbieter von Automatisierungsgeräten bieten schon seit einigen Jahren proprietäre Hardware- und Softwaretechnische Ergänzungen an, um Fernzugriffe auf ihre Automatisierungsgeräte zu ermöglichen.
- Nicht echtzeitfähig: Online-Verbindungen auf der Basis von Teleservice oder der Web-Technologien können nach heutigem Stand eine synchrone lückenlose Anbindung an ferne Prozesse in Echtzeit nicht gewährleisten.

Gerade für den Bereich der Ferndiagnose gibt es potenzielle Anwendungen, die über lange Zeit (Tage, eventuell Monate) erfolgen müssen. Durch den Einsatz mobiler Agenten für den Fernzugriff ergeben sich signifikante Verbesserungen.

3 Mobile Agenten für den Fernzugriff

3.1 Definitionen

Der Begriff „Agent“ wurde im Zusammenhang mit Software-Systemen schon Mitte der 50er-Jahre verwendet. John McCarthy und Oliver G. Selfridge vom Massachusetts Institute of Technology formulierten damals ihre Idee für einen „Soft Robot“. Sie hatten ein (Programm-) System vor Augen, welches nach Anweisungen eines Benutzers zielorientiert und angepasst an eine Aufgabe diese weitestgehend eigenständig bewältigt. Eine Realisierung war zu dieser Zeit aufgrund der nicht vorhandenen Netzwerke noch in weiter Ferne. Die Firma IBM hat sich bei den Forschungsarbeiten zur Agenten-Technologie in den 90er-Jahren ebenfalls stark engagiert. Der so genannte „IBM-Agent“ wurde wie folgt definiert:

„Agent, a program that carries out a set of operations on behalf of a user. It does so with some degree of autonomy to satisfy its user's goals.“ [3]

Im Verlauf der langen Entwicklungshistorie von Software-Agenten kristallisierten sich einige Basiseigenschaften heraus, die einen Agenten gegenüber konventionellen Software-Programmen auszeichnen und mehr oder weniger vollständig Bestandteil der Definitionen für Software-Agenten in der Literatur sind: Autonomes Handeln, Reaktivität, Situiertheit (in eine Umgebung eingebettet), Proaktivität, Zielorientiertheit, Sozialfähigkeit, Adaptivität,

Lernfähigkeit, Charakter und Persönlichkeit (anthropomorphes Verhalten). Aus diversen Forschungsdisziplinen, wie der Informatik, der Robotertechnik und auch aus den Sozialwissenschaften sind weitere Einflüsse auf die Agenten-Technologie zu erwarten, wie durch das Forschungsgebiet Szionik [4].

3.2 Das Paradigma „mobiler Agent“

Stationäre Agenten können im Gegensatz zu mobilen Agenten ihre Ursprungsumgebung (Wirtsrechner) nicht verlassen, d. h. sie werden auf einem Rechner (Desktop-System oder mobiles System) kreiert, gestartet und beenden ihre Tätigkeit auf dem gleichen System. Ein Software-Agent ist mobil, wenn er nicht an seine Ursprungsumgebung gebunden ist und sich über Netzwerke zu anderen Zielsystemen bewegen kann. Aus den Beschreibungen von Brenner et al. [5] und Lange & Oshima [6] resultiert die folgende zusammenfassende Definition:

„Mobile Agenten sind als autonome Programme in der Lage, sich innerhalb eines elektronischen Netzwerkes heterogener Rechner (LAN, WAN) auf andere Rechner zu bewegen bzw. zu migrieren („Agent reist“) und vor Ort im Auftrag eines Nutzers Dienste auszuführen.“

Das Konzept oder Paradigma des mobilen Agenten kann auch als konsequente und logische Fortentwicklung der Architektur-Prinzipien verteilter Systeme „Code-on-Demand“ (CoD) und „Remote Evaluation“ (REV) auf der Grundlage der Client-Server-Architektur betrachtet werden. Hinzu kommt das Prinzip der Migration, d. h. die Bearbeitung eines mobilen Agenten kann unterbrochen und nach seinem Transfer auf ein weiteres Zielsystem fortgesetzt werden. Damit müssen nicht mehr die Daten zum für eine Berechnung notwendigen Programmcode transferiert werden, vielmehr soll ausführbarer Programmcode durch den mobilen Agenten vor Ort zu den Daten übertragen werden. Jeder Host-Rechner („Gastgeber“ eines Agenten) in einem Netzwerk muss dafür über eine Ausführungsumgebung (agent execution unit – AEU) innerhalb einer so genannten Agenten-Plattform für einen mobilen Agenten verfügen (Bild 3).

Die AEU hat zwei Aufgabenbereiche: Zum einen das Agenten-Management, d. h. Annahme oder Ablehnung eines Agenten, die Überwachung der Bearbeitung, die Migrationsunterstützung und die Übertragung von Ergebnissen an

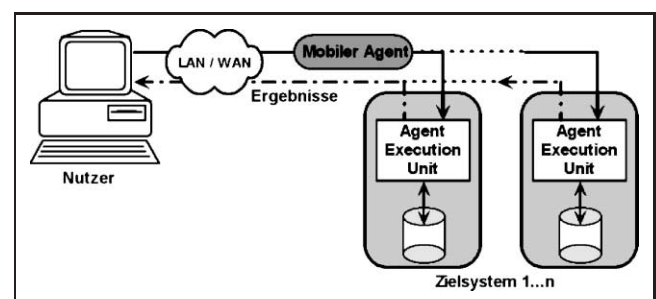


Bild 3: Prinzip des mobilen Agenten.

seinen Auftraggeber. Zum anderen die eigentliche Agenten-Bearbeitung, d. h. die Ausführung seines mitgeführten Programmcodes.

Im Vergleich zu Online-Systemen ergeben sich folgende Vorteile mobiler Agenten (siehe dazu auch Bild 4):

- **Reduktion der Netzwerkbelastung:**
Mobile Agenten benötigen ein Netzwerk lediglich für den Transfer des Agenten, den Rücktransfer der Ergebnisse und eventuell für eine sporadische Kommunikation mit weiteren Systemen.
- **Asynchrone und autonome Ausführung:**
Die Netzwerkverbindung zum Zielsystem kann nach erfolgtem Transfer durch das Sendesystem gelöst werden. Die Ausführung des Agenten erfolgt dann autonom (unabhängig) von seinem Ausgangsrechner (Auftraggeber) und asynchron dazu.
- **Echtzeit-Verarbeitung vor Ort:**
In der Automatisierungstechnik werden heute typischerweise Reaktionszeiten im Bereich von Sekunden bis zu einigen Millisekunden benötigt (Antriebe bis zu μs). Mobile Agenten können vor Ort direkt mit dem Zielsystem in Echtzeit kooperieren und agieren.
- **Dynamische Anpassung:**
Durch Migrationsstrategien können sich mobile Agenten in einem Netzwerk auf Zielsysteme verteilen, um so mittels Kommunikation und Kooperation die optimale Lösung für ein Problem herbeizuführen (Szenario für ein Multi-Agenten-System).
- **Heterogenität:**
Eine an die jeweilige Rechner-Architektur und das Betriebssystem angepasste Agenten-Plattform ermöglicht es, innerhalb unterschiedlichster Zielsysteme den gleichen mobilen Agenten zu bearbeiten.
- **Robuste und fehlertolerante Systeme:**
Das System des Auftraggebers ist datentechnisch vom Zielsystem entkoppelt und kann vor schädlichen Auswirkungen (z. B. Malware) geschützt werden. Der mobile Agent übernimmt als „Vorbote“ Aufklärungsaufgaben bei der Kopplung bisher unbekannter Zielsysteme.
- **Gekapselte Protokolle (encapsulation of protocols):**
Der Agent dient als Schnittstelle, Legacy-Systeme in dezentraler Umgebung per Software-Adaption in eine neue aktuelle Systemumgebung einzubinden.

Obwohl kein individueller Vorteil von mobilen Agenten für sich alleine vollkommen überzeugt, so überwiegen doch die Vorteile in der Gesamtheit. Mobile Agenten kombinieren die Vorteile konventioneller Architekturen für verteilte Systeme mit einem Höchstmaß an Flexibilität. Aus heutiger Sicht gibt es auch Nachteile, die bei der Anwendung von mobilen Agenten in Betracht zu ziehen sind. Die Wesentlichen seien genannt:

Für die Integration von Ausführungsumgebungen (agent execution unit) in Zielsystemen ist derzeit keine Standardisierung absehbar. Vor allem eingebettete Systeme mit knappen Ressourcen erfordern spezielle maßgeschneiderte Lösungen, um „agentenfähig“ zu werden. Für die Struktur und die Erstellung eines mobilen Agenten gibt es heute keine Regeln oder feste Konzepte, um die Entwicklungsarbeit zu erleichtern. Verbindliche Standards zur Agenten-Kommunikation fehlen noch. Die Anforderungen bei technischen Zielsystemen (eingebettete Systeme) und Applikationen in der Geschäftswelt divergieren stark.

Flexibilität und Mobilität von Agenten können auch ein Sicherheitsrisiko für das Rechnersystem des Auftraggebers, für potenzielle Zielsysteme und nicht zuletzt für den Agenten selbst werden. Malware-Programme (z. B. Viren, Würmer, Trojanische Pferde und Spyware bzw. Adware) weisen Gemeinsamkeiten mit mobilen Agenten auf. Diese Sicherheitsprobleme sind sicher kritisch, insbesondere für automatisierungstechnische Anwendungen, aber prinzipiell lösbar. An entsprechenden Konzepten wird derzeit weltweit gearbeitet, was die Akzeptanz von mobilen Agenten begünstigen wird.

3.3 Einsatz mobiler Agenten für den Fernzugriff auf Automatisierungssysteme

Für die sehr spezielle Anwendung eines so genannten „mobilen Fernzugriff-Agenten“ sind nicht alle möglichen Eigenschaften eines Software-Agenten erforderlich [7; 12]. Für Fernzugriff-Applikationen genügt es im einfachen Fall, nur einen mobilen Agenten einzusetzen (single agent system). Ein derartiger Agent muss seine Arbeitsumgebung innerhalb eines Zielsystems wahrnehmen können, um gemäß seines Auftrages zeitlich angemessen auf Änderungen in seiner Umwelt zu reagieren, d. h. es ist zumindest ein

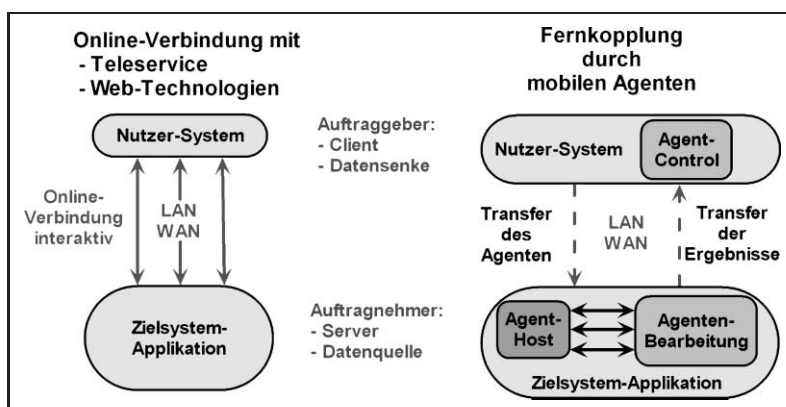


Bild 4: Online-System versus mobiler Agent.

rein reaktiver oder besser ein kognitiver Agent erforderlich. Programmeile des Agenten (Auftrag) können in bestimmten Situationen aktiv werden und ergänzen die Steuerung des Zielsystems, um den Auftrag des Agenten zu erfüllen (Proaktivität). Ein mobiler Agent im Fernzugriff hat mindestens ein Ziel, festgelegt in Form seines Auftrages und seiner internen Wissensbasis. Durch die Beobachtung seiner eigenen Aktivitäten und des Prozesses in seiner Umgebung lassen sich Schlussfolgerungen ziehen, die wiederum zur besseren Erreichung seiner eigenen Ziele einsetzbar sind (adaptives Verhalten). Der Grad der Intelligenz für diesen Agenten-Typ ist im Vergleich zu sehr komplexen und hochintelligenten Agenten innerhalb von Multi-Agenten-Systemen als niedrig anzusetzen.

Ein Großteil der Geräte und Anlagen der Automatisierungstechnik, d. h. deren Rechner-Systeme, sind den eingebetteten Systemen zuzurechnen. Für die Agenten-Fähigkeit eingebetteter Systeme ist die Anbindung an ein Netzwerk und die Integration einer Agenten-Plattform erforderlich.

Das Netzwerk (LAN, WAN) dient als Transportweg für einen mobilen Agenten, um ein Zielsystem überhaupt erreichen zu können und zur Kommunikation zwischen Zielsystem und Agenten-Portal. Die Netzwerkanbindung für eingebettete Systeme (embedded networking) ist im Gegensatz zu Desktop-Rechnern bis dato in vielen Fällen nur durch spezielle Hardware- und Software-Lösungen möglich. Für eingebettete Systeme lassen sich zwei Varianten unterscheiden: Zum einen die indirekte Anbindung über so genannte Gateway-Baugruppen. Das eigentliche eingebettete Zielsystem wird dabei über Standardschnittstellen (z. B. RS-232, USB) oder proprietäre Verbindungen an einen leistungsfähigen (Internet-) Gateway angebunden. Zum anderen die integrierte Netzwerkanbindung über Ethernet oder

PPP (Point to Point Protocol), realisiert im Zielsystem selbst.

Zur Agenten-Plattform zählen alle Hardware- und Software-Komponenten eines Zielsystems, die nur für die Agenten-Bearbeitung zusätzlich notwendig sind und keinerlei andere notwendige Funktion für das Zielsystem und dessen Applikation erfüllen (systemisierte Agenten-Plattform). Bei einer systemintegrierten Agenten-Plattform werden einzelne Systemkomponenten (z. B. Mikroprozessor) auch für die Bearbeitung des Agenten herangezogen. Bild 5 zeigt allgemein die Konfiguration einer Plattform für mobile Agenten innerhalb eines Zielsystems, anwendbar auch für eingebettete Systeme.

Die Komponente „Agent-Interface“ (Check-in und Check-out für mobile Agenten) kontrolliert als I/O-Schnittstelle den Zugang mobiler Agenten, die für das jeweilige Zielsystem bestimmt sind und leitet sie an die Einheit für die Sicherheitsüberprüfung (security check unit) zur Authentifikation, Authorisierung und Integritätsprüfung weiter.

Die Komponente „Agent Execution Unit“ übernimmt die Ausführung des Agenten. Dabei erfasst die Management Unit (MU) den Ausführungszustand der/des Agenten, den Ressourcen-Bedarf und unterstützt die Migration. Der Interpreter arbeitet das Agenten-Programm schrittweise ab. Oberstes Ziel für die Automatisierungstechnik ist dabei, dass die echtzeitgerechte Bearbeitung der Prozessperipherie absoluten Vorrang hat und nicht durch die Bearbeitung eines Agenten beeinträchtigt werden darf.

3.4 Programmiersprache für einen Fernzugriff-Agenten

Für die Programmiersprache eines Agenten (Agenten-Sprache) wurden im Laufe der langen Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet Anforderungen definiert, die auch für Fernzugriff-Anwendungen gelten:

- Eignung von Sprache und Ausführungsumgebung für die Zielsysteme:
Die inkrementelle Ausführung durch Interpreter eröffnet gerade für die Agenten-Technologie zusätzliche sicherheitstechnische Möglichkeiten. Auch eine Mischform aus Übersetzung und anschließender Interpretation ist von Vorteil für Agenten-Systeme.
- Plattformunabhängigkeit:
Mobile Agenten müssen in ihrem Wirkungsbereich von Zielsystemen mit unterschiedlichen Betriebssystemen und Rechnerarchitekturen bearbeitet werden können.
- Unterstützung von Multi-Tasking
- Objektorientierte Programmierung:
Die objektorientierte Programmierung wurde im Verlauf der Entwicklungen von Software-Agenten zunehmend favorisiert.
- Reaktion auf externe Ereignisse im Zielsystem bzw. dessen Peripherie, z. B. durch Signal Handler, native Funktionen.

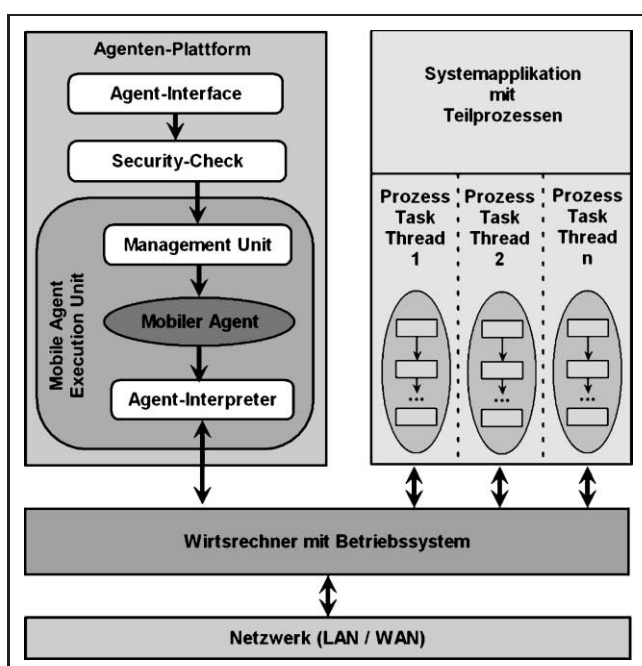


Bild 5: Struktur einer Agenten-Plattform.

- TCP/IP (Agenten-Transfer und Kommunikation)
- Sicherheit (Authorisierung, Authentifizierung, Code-Überprüfung)

Nahezu alle Projekte mit stationären oder mobilen Agenten wurden seit der Verfügbarkeit mit Java [8] als Agenten-Sprache realisiert, begründet durch das hohe Maß an Architektur-Unabhängigkeit und Portabilität dieser Sprache. Die Plattformunabhängigkeit von Java darf dabei nicht missverstanden werden: Sie gilt in soweit, als für das jeweilige Zielsystem (Hardwareplattform und Betriebssystem) eine Ausführungsumgebung, z. B. durch eine Java Virtual Machine (JVM), implementiert ist.

Für die im Rahmen dieser Arbeit untersuchte Anwendung eines mobilen Java-Agenten für den Fernzugriff auf Automatisierungsgeräte wurde die Java-Ausführung auf Software-Basis durch die Interpretation von Java-Bytecode gewählt. Die Komponente „Agent Interpreter“ (Bild 5) wird damit durch eine Java Virtual Machine realisiert. Es hat sich gezeigt, dass gerade für den großen, wachsenden und sehr heterogenen Bereich der eingebetteten Systeme keine direkt verwendbaren JVM zur Verfügung stehen. Die hohe Diversität bei eingebetteten Systemen in Hardware und Software erfordert nahezu immer spezielle Entwicklungen und Portierungen einer vorhandenen JVM für ein bestimmtes Zielsystem. Als JVM wurde für die hier beschriebenen Beispiele die Kertasarie-VM [9] gewählt, die als eigene Task innerhalb eines Echtzeit-Betriebssystems [10] aktiviert wird. Die einzelnen Schritte der Portierung dieser JVM für ein 16-Bit-Zielsystem sind in der Dissertation [12] eingehend beschrieben.

3.5 Systemstruktur für eine Mindestkonfiguration

Die wenigen heute zur Verfügung stehenden Systeme mit mobilen Agenten wurden vorwiegend für den Bereich des elektronischen Web-basierten Handels (E-Commerce) entwickelt. Es handelt sich dabei in der Regel um Multi-Agenten-Systeme, ausgelegt für Zielsysteme der Agenten aus dem Desktop-Bereich. Speziell für Fernzugriff-Anwendungen in der Automatisierungstechnik auf einge-

bettete Systeme sind sie nicht einsetzbar. Bild 6 zeigt den Vorschlag einer Struktur eines Ein-Agenten-Systems für die Automatisierungstechnik, gegliedert in drei Bereiche.

3.5.1 Benutzer-Schnittstelle

Diese Schnittstelle ermöglicht Nutzern den Zugang zum Agenten-Portal, d. h. den Zugang zu den Funktionen des Agenten-Managements. Hardwaretechnisch besteht die Benutzer-Schnittstelle aus einem Standard-PC, Workstation, Notebook oder PDA mit Internetzugang (analog oder digital, LAN oder WLAN), so wie es auch für andere Web-Applikationen heute Standard ist. Das Agenten-Portal (Basisplattform) stellt auf diesem Wege einem Benutzer (Client) eine Bedienoberfläche auf Basis von HTML oder auch XML zur Verfügung, die alle weiteren Funktionen des Zugangs zum Agenten-System eröffnet.

3.5.2 Agenten-Portal

Für Anwendungen innerhalb der Automatisierungstechnik ist es sinnvoll, das Agenten-Portal (Basisplattform, Agent-Control, Agent-Proxy) als zentrale Instanz im Netzwerk einzurichten, die einem potenziellen Nutzer für alle Aufgaben des Agenten-Managements zur Verfügung steht. Als Standort wären die zentralen Serviceabteilungen der Anlagen- oder Geräte-Hersteller prädestiniert. Dieser Weg vereinfacht die zentrale Wartung, wie Updates oder Fehlerbehebungen, ganz erheblich. Die Aufgaben der Basisplattform lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Agenten generieren und an Zielsysteme versenden (agent dispatch)
- Bearbeitungsfortschritt der Agenten zur Verfügung stellen
- retournierte Ergebnisse und Meldungen der versendeten Agenten entgegennehmen
- Sicherung, Auswertung und Aufbereitung der Ergebnisse

3.5.3 Die Zielsysteme

Die Zielsysteme lassen sich zum einen in die große Gruppe von Anlagen-Steuerungen auf der Basis von PC-Standards

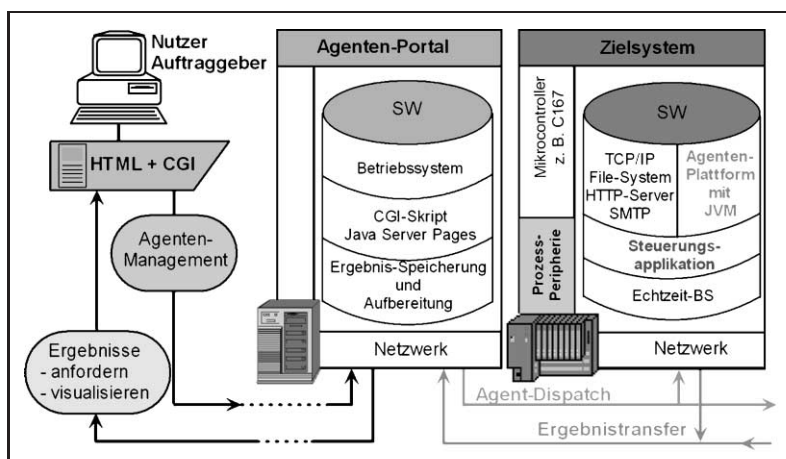


Bild 6: Struktur für ein Agenten-System.

einordnen (z. B. Industrie-PC, Embedded PC). Für diese Gruppe ist die Agenten-Fähigkeit wesentlich leichter zu implementieren, da diese mit Standard-Betriebssystemen (z. B. MS-Windows, Linux) arbeiten. Zum anderen gibt es die Gruppe von Automatisierungsgeräten mit proprietärer Hardware und Software. Ein sehr großer Teil der in der Automatisierungstechnik eingesetzten Steuerungssysteme ist diesen eingebetteten Systemen zuzurechnen, entwickelt speziell für die jeweilige Applikation. Gerade diese Gruppe von Rechnersystemen in Geräten und Anlagen ist für agentengestützte Fernservice-Anwendungen besonders interessant, denn gerade für diese Kategorie ist die Systempflege heute eine Aufgabe vor Ort mit hohem Aufwand an Zeit, Personal und Kosten. Ein agentenfähiges Zielsystem für die Automatisierungstechnik würde aus folgenden Komponenten bestehen:

- Rechner-Kern (Mikrocontroller, Mikroprozessor)
- Prozessperipherie, d. h. die zentrale oder dezentrale Anbindung des technischen Prozesses über Sensoren und Aktuatoren.
- Steuerungsapplikation (Programm der Steuerung)
- Netzwerk-Anbindung (TCP/IP und Web-Anbindung)
- Betriebssystem:
Echtzeit-Betriebssystem, in der Regel notwendig, um die Systemeigenschaften trotz Agenten-Fähigkeit zu erhalten.
- Agenten-Plattform mit der Ausführungsumgebung für einen mobilen (Java-)Agenten

4 Anwendungen für die Automatisierungstechnik

Neue Techniken für die Automatisierung müssen ihre Praxistauglichkeit zuerst im prototypischen Einsatz beweisen. Aus heutiger Sicht ergeben sich innerhalb der Automatisierungstechnik vier potenzielle Anwendungsgebiete für mobile Fernzugriff-Agenten:

- Datalogging
- Autonomer Zustandsabgleich

- Fernsteuerung von Geräten und Anlagen
- Informationsverbreitung an Zielsysteme

Im ersten Ansatz wurde bewusst auf die Betrachtung von Multi-Agenten-Systemen verzichtet. Gerade eingebettete Systeme sind auf Grund ihrer begrenzten Ressourcen oftmals nicht in der Lage, mehr als einen Agenten parallel zu bearbeiten. Der Aufbau der Agenten-Portale kann bei Ein-Agenten-Systemen vereinfacht werden. Die Akzeptanz-Hürde in der Automatisierungstechnik bei der Einführung neuer Technologien ist hier ebenfalls von Bedeutung. Durch den Einsatz eines Ein-Agenten-Systems für die vier genannten Anwendungsgebiete sind bereits signifikante Verbesserungen für die Teleautomation zu erwarten.

4.1 Datalogging im Fernzugriff

Der Begriff „Datalogging“ kann für Agenten-Anwendungen in der Automatisierungstechnik noch umfassender definiert und implementiert werden (siehe auch Bild 7):

„Datalogging ist die Sammlung (monitoring), Auswertung (evaluation) und Rückmeldung (notification) von Prozessdaten für einen Nutzer.“

Das hier vorgeschlagene neue Verfahren besteht darin, einen mobilen Agenten im Fernzugriff für Datalogging-Aufgaben einzusetzen (datalogging agent). Durch einen mobilen Agenten im Fernzugriff wird der Datalogger als Software (Java-Programm innerhalb des Arbeitsauftrages des Agenten) auf das Zielsystem transferiert. Im Gegensatz zu einer synchronen Online-Verbindung zwischen Nutzer und Zielsystem kann hier die softwaretechnische Aufnahme der Prozesswerte durch den Agenten asynchron zu seiner Generierung und seinem Transfer erfolgen, wobei die spezifizierten Beobachtungszeiträume vom Auftraggeber vorgegeben werden und Teil des Agenten-Auftrags sind. In der nahezu beliebig möglichen Festlegung von Datalogging-Zeiträumen liegt ein gewichtiger Vorteil eines mobilen Datalogging-Agenten. Die Aufnahme der Prozesswerte kann in vielen Fällen effektiv und vollständig nur vor Ort am Zielsystem erfolgen.

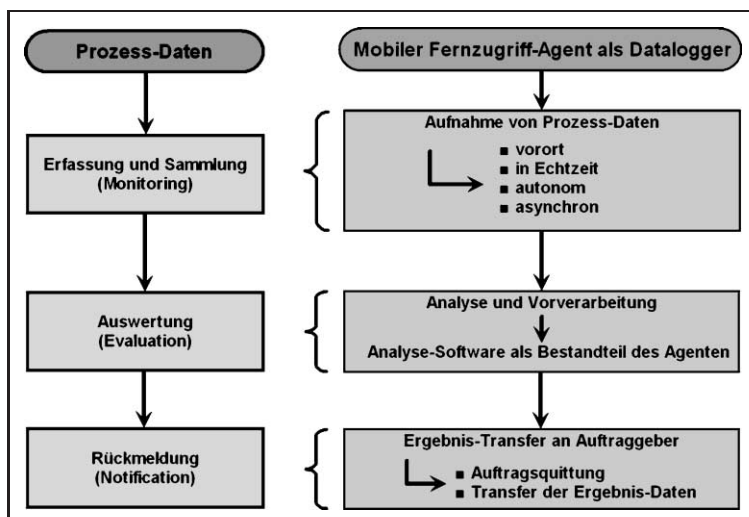


Bild 7: Prinzip eines Datalogging-Agenten.

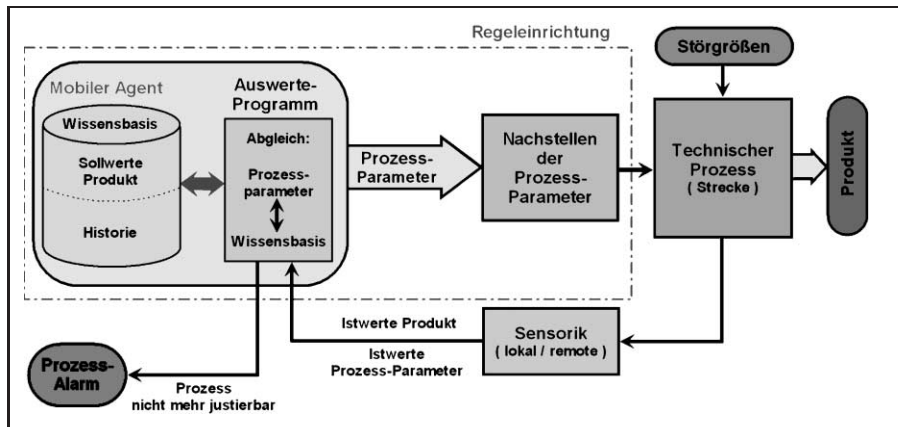


Bild 8: Agentenunterstützte Prozessregelung.

Werden neue Parameter für einen Datalogging-Auftrag erforderlich, kann ein neuer Agent übertragen werden, ohne dass ein Einsatz vor Ort erforderlich wäre. Im Gegensatz zu stationären Programmen kann ein mobiler Datalogging-Agent immer die aktuell notwendigen Vorgaben und Analyse-Programme für die Auswertung der Prozessdaten mit vor Ort bringen. Die Änderung des Analyse-Programms für einen Datalogger ist oftmals in kurzen Zeitabständen und für mehrere Anlagen notwendig, die weltweit verteilt sein können. Mit Service-Einsätzen vor Ort ist diese Aufgabe heute schon schwierig und wird mit weiterer Steigerung der Komplexität der Anlagen, Prozesse und steigender Produktdiversität immer schwieriger machbar sein.

Der Betreuungs- und Beobachtungsaufwand durch den Auftraggeber bzw. Nutzer beschränkt sich auf die Auftragsvergabe an den Agenten bei dessen Generierung und die Auswertung und Interpretation der an die Basisplattform (Agenten-Portal) zurück gemeldeten Ergebnisse.

4.2 Autonomer Zustandsabgleich

Für einen autonomen Zustandsabgleich soll der mobile Agent in der Lage sein, im Verlauf seiner Bearbeitung eigenständig (autonom), d.h. ohne Mitwirkung der Basisplattform oder des Auftraggebers, Prozessdaten mit einem Zielsystem abzugleichen, falls notwendig auch über Fernkopplungen mit weiteren Zielsystemen. Der Agent bleibt dabei im Zielsystem aktiv und es erfolgt keine Migration des Agenten zu weiteren Wirtssystemen. Der innerhalb des Zielsystems aktive Agent ist die führende Instanz für die Einholung dieser Informationen. Derzeitig eingesetzte Systeme beschränken sich hier auf die stationäre Messdaten-Erfassung, die Auswertung und die daraus eventuelle Feststellung eines Fehlers. Der Fehlerfall tritt dann trotzdem meist überraschend ein und führt zum Anlagenstillstand oder zu fehlerhaften Produkten. Dies könnte durch eine vorausschauende Überwachung in Abhängigkeit vom aktuellen Zustand der Zielsysteme verhindert werden (condition monitoring). Wünschenswert wäre die Vorgehensweise, beispielsweise Wartung nur dann auszuführen, wenn sie tatsächlich notwendig wird.

Auf den Einsatz eines Fernzugriff-Agenten übertragen bedeutet dies, dass der aktuelle Zustand am Prozess erfasst und mit dem Referenzzustand der internen Wissensbasis des Agenten abgeglichen wird. Dieser Referenzzustand ist dabei nicht statisch, sondern kann vielmehr nach den Vorgaben im Programm des Agenten optimiert werden, d.h. der Agent „lernt“ in seiner Umgebung (kognitiver Agent). Die Anwendung der Intelligenz des Agenten beschränkt sich dann nicht mehr nur auf die reine Diagnose von Fehlern und deren Auswirkungen (Reaktivität), sondern der Agent erkennt durch den ständigen Vergleich mit der implementierten Wissensbasis idealerweise schon vor dem Auftreten eines Fehlers ein sich anbahnendes Problem und meldet dieses in Form einer Warnung oder einer Fehlermeldung an die übergeordnete Steuerung (agent based remote condition monitoring).

Eine spezielle Anwendung und Erweiterung des autonomen Zustandsabgleichs führt zur Regelung von Prozessen mit Hilfe mobiler Agenten, d.h. einer agentenunterstützten Prozessregelung (Bild 8).

Im Laufe des Betriebs wird die Agenten-Wissensbasis um die entscheidenden Prozessparameter sukzessive ergänzt, um dann daraus Tendenzen für den weiteren Verlauf bestimmter Prozesswerte ableiten zu können. Das Analyseprogramm des Agenten ermittelt neue Steuerparameter (Stellwerte) für sich reduzierende Abweichungen, wodurch eine Eskalation verhindert werden soll. Gerade in der Auswertung dieser Tendenzen liegt die entscheidende Verbesserung einer agentenorientierten Prozessregelung gegenüber einer konventionellen Regelung. Die Konfiguration einer Zielanlage kann sich ändern durch Strukturänderungen in Hardware und Software (Erweiterungen, Modernisierung, Rationalisierung), aber vorwiegend auch durch die Umrüstung auf ein anderes Produkt, gerade bei Batch-Prozessen. Ein mobiler Agent lässt sich bei Änderungen an der Anlage oder im Zielprozess ohne Einsatz vor Ort aktuell halten.

4.3 Agentenbasierte Fernsteuerung von Geräten und Anlagen

Ein mobiler Agent vor Ort ist auftragspezifisch und kann in die Echtzeit-Bearbeitung vor Ort mit einbezogen wer-

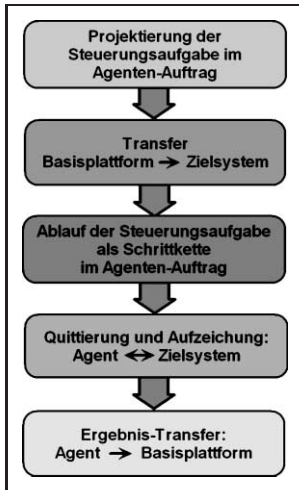


Bild 9: Remote control mit mobilen Agenten.

den, indem der Agent innerhalb einer Task der Echtzeit-Bearbeitung mit ausgeführt wird. Dieser agentenbasierte Ansatz ermöglicht die echtzeitgerechte Steuerung einer Anlage vor Ort unter indirekter Kontrolle eines fernen Nutzers. Die prinzipiellen Verfahrensschritte für die Fernsteuerung (remote control) durch einen mobilen Agenten sind in Bild 9 dargestellt. Da die Aktivitäten des Agenten nicht mehr unmittelbar unter der Kontrolle des Nutzers stehen, bedarf es einer genauen Planung bei der Parametrierung und Programmierung des Agenten. Notwendig wird es auch sein, dass der Agent die Ausführung seiner Teilaufträge ausreichend dokumentiert und als Teil seiner Ergebnisse an die Basisplattform zurück übermittelt. Im einfachsten Fall beinhaltet die Steuerung einer fernen Anlage die Änderung eines Stellwertes im Zielsystem. In der Regel wird es aber so sein, dass sequenziell mehrere neue Stellwerte in Abhängigkeit von vorherigen Prozesswerten neu gesetzt werden müssen, z. B. mittels zeit- und/oder ereignisgesteuerter Schrittketten. Eine Möglichkeit der Implementierung mit Java ist ebenfalls in der Dissertation [12] ausführlich beschrieben.

4.4 Informationsverbreitung an Zielsysteme

Gerade in der Automatisierungstechnik ist der Feldbestand an Geräten und Anlagen gekennzeichnet durch lange Laufzeiten und folglich auch einer großen Varianz an Software- und Hardware-Ständen. Die Änderung und Ergänzung von Anwender-Programmen wird bereits heute in immer kürzeren Abständen notwendig. Die Hochrüstbarkeit der Software ist für die neuen Generationen von Automatisierungsgeräten meist prinzipiell möglich. Dies ist zur Zeit aber eine Aufgabe vor Ort, die bei großem Feldbestand mit unterschiedlichen Software-Ständen zukünftig immer schwieriger zu bewältigen sein wird.

Die Informationsverbreitung an Zielsysteme (information dissemination) durch mobile Agenten kann nicht nur zum Versand von Nachrichten dienen, sondern auch zum Transfer und zur Installation von neuer Software. Dies könnte auch zur Hochrüstung von Firmware genutzt werden. Ge-

rade die Pflege von Firmware bleibt in der Hand der Hersteller und Anbieter und soll im Idealfall möglichst zentral organisiert und durchgeführt werden. Der Datentransfer durch die Web-Technologien lässt sich nach zwei Prinzipien einordnen, dem Pull-Prinzip und dem Push-Prinzip [11]. Vergleicht man die Eigenschaften mobiler Agenten mit der Definition und den Ausprägungen des Push-Prinzips, so zeigt sich, dass mobile Agenten und die Spezialisierung eines mobilen Fernzugriff-Agenten das Push-Prinzip in zweifacher (bidirektionaler) Form realisieren, wie in Bild 10 dargestellt. Zum einen erhält ein Zielsystem ohne explizite Anforderung einen mobilen Agenten über Web-Dienste von einem Agenten-Portal zugestellt. Zum anderen transferiert ein Zielsystem die Ergebnisse aus der Agenten-Tätigkeit wiederum nach dem Push-Prinzip an die Basisplattform zurück. Dieses bidirektionale Push-Prinzip könnte zukünftig für die agentengestützte Änderung von Software und Firmware in der Automatisierungstechnik genutzt werden. Dies kann allerdings bei fehlerhaftem Ablauf schwerwiegende Beeinträchtigungen des Zielsystems bzw. des angeschlossenen technischen Prozesses mit sich bringen. Umso wichtiger ist es, Strategien für den fehlerfreien Wiederanlauf mit zu implementieren. Auch diese Sicherheitsprobleme sind prinzipiell technisch lösbar und unter dieser Voraussetzung kann die Methode für die Hersteller von Automatisierungsgeräten zu einem sehr nützlichen Werkzeug werden. Erfahrungen im industriellen Einsatz gibt es dazu noch nicht.

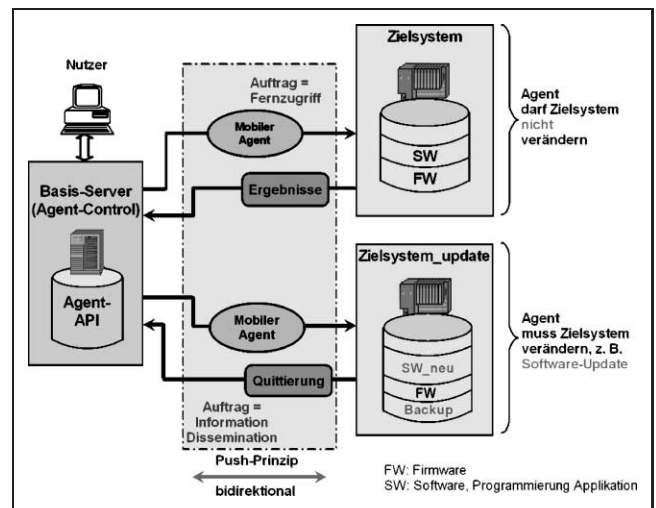


Bild 10: Information dissemination mit mobilen Agenten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Obwohl die Forschungsergebnisse zur Agenten-Technologie aus dem letzten Jahrzehnt bis heute nur in ganz wenigen Einzelfällen in die Produktentwicklung eingegangen sind, gibt es viele potenzielle Anwendungen mobiler Agenten in der Automatisierungstechnik. Mobile Agenten können auch ferne Zielsysteme in zentrale Software-Systeme mit einbinden und auf diesem Wege die zukünftig weiter

steigenden Probleme bei der weltweiten Dezentralisierung von Produktion und Dienstleistungen reduzieren.

Die Sicherheit beim Betrieb von Geräten und Anlagen hat in der Automatisierung einen sehr hohen Stellenwert und kann durch den Betrieb mobiler Agenten ohne adäquate Sicherheitskonzepte beeinträchtigt werden. Dies betrifft den Know-how-Schutz, d. h. den unbefugten Zugriff auf Engineering- und Prozess-Wissen, genauso wie den ungestörten Ablauf der laufenden Prozesse mit gleichbleibend hoher Qualität. Obwohl hier sicher noch Vorbehalte bestehen, sind diese Sicherheitsprobleme prinzipiell technisch lösbar. Die Integration einer Agenten-Plattform mit der Ausführungsumgebung für einen mobilen Java-Agenten in eingebettete Systeme bedeutet für die Hersteller von Automatisierungsgeräten zusätzlichen Aufwand in Entwicklung und Fertigung mit einhergehenden höheren Kosten. Diesem höheren Aufwand für die Agenten-Fähigkeit eines Systems stehen jedoch klare Kostenvorteile beim Einsatz und der Wartung für Anwender und Anbieter gegenüber. Letztlich wird auch diese Kosten-Nutzen-Abschätzung über den zukünftigen Einsatz mobiler Agenten in der Automatisierung mit entscheiden.

Literatur

- [1] *D. Comer*: Internetworking with TCP/IP. Vol. 1. ISBN 0130183806, 4. Auflage. Prentice Hall Inc., New York/USA 2000.
- [2] CGI (Common Gateway Interface): Spezifikation nach RFC 3875. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3875.txt?number=3875> [Zugriff am: 25.9.2006].
- [3] *D. Gilbert, et al.*: White paper on intelligent agents. IBM Intelligent Agents. IBM Corporation, Research Triangle Park, USA 1995.
- [4] Sozionik: Erforschung und Modellierung künstlicher Sozialität. DFG-Schwerpunktprogramm 1077.
- [5] *W. Brenner, R. Zarnekow, H. Wittig*: Intelligente Software-Agenten. ISBN 3540634312, Verlag Springer, Berlin 1998.
- [6] *D. Lange, M. Oshima*: Seven Good Reasons for Mobile Agents. Communications of the ACM, Vol. 42, No. 3. 1999.
- [7] *J. Renner, P. Protzel, C. Hochberger, S. Gatzka*: Neue Perspektiven für die Teleautomation durch mobile Software-Agenten auf eingebetteten Systemen. In: Kongress Embedded World (2003), S. 611–622.
- [8] Java: Java Technology, Sun Microsystems Inc. URL: <http://java.sun.com> [Zugriff am: 25.9.2006].
- [9] Kertasarie-VM: Java Virtual Machine. Technische Universität Dresden, Institut für Technische Informatik, Professur für Mikrorechner. URLs: <http://www.mr.inf.tu-dresden.de> [Zugriff am: 25.9.2006], <http://www.kertasarie.de> [Zugriff am: 25.9.2006].
- [10] EUROS: EUROS Embedded Systems GmbH. Echtzeit-Betriebssystem EUROS®. Ingenieurbüro Dr. Kaneff, Nürnberg. URL: <http://www.euros-embedded.com> [Zugriff am: 25.9.2006].
- [11] *M. Sträubig*: Projektleitfaden Internet-Praxis. Internet, Intranet, Extranet und E-Commerce konzipieren und realisieren. ISBN 3528057017. Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 2000.
- [12] *J. Renner*: Mobile Agenten für den Fernzugriff auf eingebettete Systeme. Dissertation, TU Chemnitz 2006. URL: <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2006/0109> [Zugriff am: 25.9.2006].

Manuskripteingang: 11. Dezember 2006.



Dr.-Ing. Josef Renner ist Mitarbeiter der Siemens AG im Bereich Automation & Drives. Das Arbeitsgebiet umfasst Projektierung und Test von Automatisierungsgeräten und Systemen. Dieser Beitrag entstand aus den Arbeiten zu seiner Dissertation [12] an der TU Chemnitz.

Adresse: Siemens AG, Automation and Drives, Elektronikwerk Amberg, Werner-v.-Siemensstr. 50, 92224 Amberg, E-Mail: josef.renner@siemens.com



Prof. Dr.-Ing Peter Protzel ist Inhaber des Lehrstuhls für Prozessautomatisierung im Institut für Automatisierung der Technischen Universität Chemnitz. Hauptarbeitsgebiete: Autonome Systeme und wissensbasierte Prozessführung.

Adresse: TU Chemnitz, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Institut für Automatisierung, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz, E-Mail: protzel@etit.tu-chemnitz.de