

# INTEGRIERTES SYSTEM- UND DIENSTE-MANAGEMENT IN DER INDUSTRIELLEN AUTOMATION

Dissertation (Kurzfassung) – Robert Lehmann

Gutachter/in: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wollschlaeger

2. Ao. Univ. Prof. Dr. Wolfgang Kastner

Fachreferent: Prof. Dr. rer. nat. habil. Dr. h. c. Alexander Schill

Datum der Einreichung: 05.04.2016

# INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	II
1 Einleitung .....	1
2 Stand der Technik in Automation und IT.....	3
3 Anforderungen an das Netzwerk- und System-Management .....	4
4 Ansätze zum System- und Dienste-Management.....	6
5 WBEM/CIM für die industrielle Automation .....	8
6 Fazit.....	12
7 Literaturverzeichnis .....	13

# ABKÜRZUNGS- UND SYMBOLVERZEICHNIS

CIM	Common Information Model
FCAPS	Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security
JMX	Java Management Extension
LLDP	Link Layer Discovery Protocol
MIB	Management Information Base
OSI	Open Systems Interconnection
SMF	System Management Functions
SMFA	System Management Functional Areas
SNMP	Simple Network Management Protocol
WBEM	Web Based Enterprise Management
WIMA	Web-based Integrated Network Management Architecture
XML	Extensible Markup Language

# 1 EINLEITUNG

Das System- und Dienste-Management verfolgt heute nach wie vor das Ziel die Administration in immer komplexer werdenden Systemen zu ermöglichen oder zu erleichtern. Einst entstanden, um die Ansprüche großer Telekommunikationsunternehmen und ihrer Kunden an einen reibungslosen, sicheren und nachvollziehbaren Betrieb zu erfüllen, sind Aspekte des System-Managements heute ubiquitär.

Auch die Komplexität vernetzter Installationen in der industriellen Automation ist einem stetigen Wachstum unterworfen. Dies gilt für die Anzahl an verbauten und betriebenen Geräten genauso wie für jedes Gerät im Einzelnen. Es ist bei aktuellen Entwicklungen zu Industrie 4.0 und Cyber Physical Systems davon auszugehen, dass sich dieser Trend noch verstärken wird.

Das System-Management in der industriellen Automation verfolgt bislang jedoch vorrangig vollkommen andere Ansätze als es beispielsweise in der IT der Fall ist. Im Mittelpunkt stehen das hersteller- bzw. das technologie- oder protokollzentrierte Management. Ein übergreifendes und durchgängiges Management findet nur in wenigen Fällen statt und beschränkt sich dann im Wesentlichen auf die „IT-Aspekte“ der industriellen Automation.

Es ist zurzeit nahezu ungeklärt, wie und auf Basis welcher Technologien und Paradigmen das System-Management in der Industrie in Zukunft erfolgen kann.

## 1.1 DEFINITION DER ZIELDOMÄNE

Der Betrachtungsgegenstand der Arbeit ist der technologische Bereich, in dem Prozesse oder Einrichtungen unter festgelegten Bedingungen ohne menschliches Eingreifen, also automatisch, ablaufen oder arbeiten [1]. Dieser Bereich wird allgemein als Automation bezeichnet.

Automation umfasst eine ganze Reihe von Gebieten, darunter die Gebäudeautomation, die Verkehrsautomation und die industrielle Automation. Alle Betrachtungen, die im Rahmen der Arbeit durchgeführt werden, befassen sich ausschließlich mit der industriellen Automation. Eine weitere Aufteilung, etwa in Prozess- und Fabrikautomation, wird nicht vorgenommen. Die technologischen Ansätze der beiden Bereiche unterscheiden sich nicht in einem Umfang, in dem grundsätzliche Prinzipien des System- und Dienste-Managements anders angewendet werden müssten.

## 1.2 ZIEL DER ARBEIT

Die Möglichkeiten, Herausforderungen und Ansprüche eines einheitlichen System- und Dienst-Managements für die industrielle Automation zu evaluieren ist das erste der beiden wissenschaftlichen Kernziele der Arbeit. Dafür werden bestehende Ansätze zum System-Management hinsichtlich ihrer Eignung im Detail analysiert und bewertet, um so eine Aussage bezüglich genereller Eignung, Zukunftssicherheit, Erweiterungsbedarf, Reifegrad und Verfügbarkeit treffen zu können. Damit eine systematische Bewertung durchgeführt werden kann, sind Kriterien auf Basis von Anforderungen zu definieren.

Das zweite wissenschaftliche Kernziel ist die Entwicklung eines System- und Dienst-Managements für die industrielle Automation. Dabei hängt es von der Eignung bestehender Ansätze ab, ob eine Neu- oder Weiterentwicklung stattfinden muss. Unabhängig davon steht die entsprechende Entwicklung von Informationsmodellen zum System- und Dienst-Management in der industriellen Automation im Vordergrund.

Der Nachweis der praktischen Umsetzbar- und Leistungsfähigkeit des zu wählenden Ansatzes stellt den letzten wissenschaftlichen Beitrag der Arbeit dar. Hierfür wurden in einer konkreten Umgebung einzelne Anwendungsfälle explizit umgesetzt.

## 1.3 INDUSTRIELLE AUTOMATION

Die industrielle Automation hat sich mehrere Jahrzehnte lang, in vielerlei Hinsicht unbeeindruckt von technologische Trends im Telekommunikations-, Unternehmens- oder Bürokommunikations-Sektor, eigenständig entwickelt. In Abbildung 1 ist einen Teil der Eigenheiten der industriellen Automation mit ungefähren Größenordnungen dargestellt. Je nach betrachteter Technologie ändern sich die dargestellten Werte, die Verhältnisse zwischen den Ebenen bleiben jedoch bestehen.

Die gegenwärtige Entwicklung der Automation ist in vielen Bereichen immer noch stark durch ihre Wurzeln geprägt. Aufgrund der historisch gewachsenen heterogenen Technologielandschaft auf der einen und den sich ändernden Anforderungen auf der anderen Seite, sind seit einigen Jahren große Integrationsbemühungen auf verschiedenen Ebenen zu erkennen. Auf der Feldebene wird intensiv versucht, die vielen verschiedenen Kommunikationsansätze zu integrieren. Zwischen den Ebenen der Automatisierungspyramide und sogar übergreifend über Firmengrenzen hinweg werden ebenfalls verschiedene Bemühungen unternommen, um einen ungehinderten Austausch von Daten zu erreichen.

	Übertragungs-häufigkeit	Daten-menge je Übertragung	Lebens-dauer der Daten	Anzahl der Kompo-nenten	Hard- und Software-kosten je Einheit
Unternehmens-ebene (IT)	1/min .. 1/y	10k .. 1G Byte	1d .. 10y	10 .. 1000	1000 .. 1000000€
Feldebene	1/μs .. 1/s	1 .. 1k Byte	1μs .. 1s	100 .. 100000	10 .. 1000€
Prozess					

Abbildung 1 Eigenschaften industrieller Kommunikationssysteme

Der wesentliche Integrationstrend ist aber der zwischen Automation und Unternehmens-IT allgemein. Die treibende Kraft dabei ist die verstärkte Verwendung von Technologien und Ansätzen, die im Wesentlichen direkt aus der IT stammen. Ethernet und die zugehörigen Protokolle und Strukturen sind für das Zusammenwachsen von Automation und IT in besonderem Maße verantwortlich. Zwar wurden IT-Technologien, darunter auch Ethernet, schon lange im Kontext der Automation eingesetzt, nicht jedoch direkt für die Kommunikation zwischen Feldgeräten. Dieser Bereich der Kommunikation war jahrzehntlang den klassischen Feldbussen vorbehalten.

Die Ethernet-basierte Kommunikation zwischen Feldgeräten wird häufig als „*Industrial Ethernet*“ bezeichnet, um eine Abgrenzung gegenüber dem *normalen* Ethernet auszudrücken. Der mittlerweile weitreichende Einsatz von Ethernet in der Automation hat auch dazu geführt, dass weitere Internettechnologien (z.B. XML, SNMP, Web Services etc.) ihren Weg in die Industrie gefunden haben und sich nun einer wachsenden Bedeutung und Beliebtheit erfreuen. Der Grad der durchgängigen Vernetzung innerhalb der Automation ist seit dem Einsatz von Ethernet noch einmal gestiegen.

## 2 STAND DER TECHNIK IN AUTOMATION UND IT

Aspekte des Netzwerk-Managements werden in der Automation auch gegenwärtig schon realisiert, es ist keineswegs eine Entwicklung, die ausschließlich in der neuesten Vergangenheit stattfand. Man muss allerdings bisher zwischen zwei wesentlichen Punkten unterscheiden: dem Management der IT-Strukturen innerhalb der Automation und dem Management der eigentlichen automatisierungstechnischen Anlage. Für den ersten Aspekt ist naheliegend, dass bewährte Management-Ansätze aus der Unternehmensebene wiederverwendet werden können. Für die automatisierungstechnische Anlage selbst gestaltet sich das Management heute vollkommen anders, besonders wenn klassische

Feldbusse zur Kommunikation eingesetzt werden. Das prägende Merkmal des Managements in der Automation ist die weitgehende Abwesenheit von expliziten Protokollen und Modellen zur Umsetzung von Management-Aufgaben.

Im Hinblick auf die SMFAs (allgemein auch als FCAPS bezeichnet), wie sie im OSI-Management definiert sind [2], werden in der Automation im Wesentlichen das Konfigurations-, Fehler- und Performance-Management durchgeführt. Abrechnungs- und Sicherheits-Management spielen zumindest gegenwärtig eine untergeordnete Rolle. Das Konfigurations-Management steht in der Automation klar im Vordergrund. Dabei geht es in erster Linie um das Schreiben und Lesen von Werten oder Wertegruppen in automatisierungstechnischen Geräten. Sowohl für das Konfigurations- wie auch für das Fehler- und Performance-Management gilt in der Automation, dass diese Funktionalitäten in aller Regel fester Bestandteil des jeweiligen Kommunikationsprotokolls sind. Daraus resultiert, dass sie in aller Regel auch nicht übertragbar sind. Es kann also mit den SMFs aus PROFINET IO nicht auf Geräte eingewirkt werden die ausschließlich Ethernet/IP verstehen. Ein durchgängiges Management ist auf Ebene der Feldbusprotokolle und des Industrial Ethernet also nicht möglich.

Als einziger relevanter Vertreter der übergreifenden Netzwerk-Management-Protokolle kommt im industriellen Kontext das Simple Network Management Protokoll [3], [4] zum Einsatz, vorwiegend jedoch auch für IT-Aspekte. SNMP eignet sich in erster Linie für das Management von Ethernet-basierten Systemen. Für die Integration klassischer Feldbusse in ein SNMP basiertes Management [5], [6] sind Proxy-Lösungen notwendig. Inwiefern sich SNMP jedoch für zukünftige Anforderungen in der Automation eignet ist noch zu bewerten.

Abseits von feldbuspezifischen SMFs und SNMP sind das Management von einzelnen Geräten über eingebettete Webserver sowie Kommandozeilen-Zugänge ein übliches Verfahren in der Automation. Beide sind für ein durchgängiges Management aufgrund ihrer Heterogenität kaum geeignet.

### 3 ANFORDERUNGEN AN DAS NETZWERK- UND SYSTEM-MANAGEMENT

Um eine einheitliche Bewertung von Ansätzen zum Netzwerk- und System-Management zu gewährleisten, ist es notwendig, Bewertungskriterien abzuleiten und zu definieren. Dies ist einerseits auf Basis des Standes der Technik und andererseits anhand von spezifischen Anwendungsfällen durchgeführt worden. In Tabelle 1 sind die Bewertungskriterien mit ihrer Kurzbeschreibung tabellarisch zusammengefasst. Kriterien, die sich in der Diskussion als besonders relevant herausgestellt

haben, erhalten in der Folge eine höhere Gewichtung und sind in der Tabelle hervorgehoben dargestellt.

Tabelle 1 Bewertungskriterien und ihre Gewichtung. (↑) kennzeichnet Kriterien mit überdurchschnittlicher Relevanz

<b>Bezeichnung</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>
<b>Plattformbindung</b> ↑	Drückt aus, ob und in welchem Umfang der Ansatz zwingend an spezifische Plattformen (z.B. nur PC Systeme) gebunden ist
<b>Durchdringung</b>	Beschreibt, inwiefern der jeweilige Ansatz für das Management in der Automation zur Verfügung steht
<b>Mächtigkeit</b>	Mächtigkeit des frei verfügbaren etablierten Basis-Informationsmodells
<b>Erweiterbarkeit</b>	Erweiterbarkeit des zugrunde liegenden Informationsmodells
<b>Objekte</b>	Struktur und Mächtigkeit der Management-Objekte
<b>Beziehungen</b> ↑	Fähigkeit des Informationsmodells zum Ausdruck von Relationen zwischen Modellelementen und somit Informationen
<b>Technologiebindung</b>	Beschreibt, ob und in welchem Umfang der jeweilige Ansatz zwingend auf bestimmte Technologien angewiesen ist
<b>Flexibilität</b>	Flexibilität im Sinne der Anwendbarkeit des Management-Ansatzes auf verschiedene Domänen
<b>Integration</b> ↑	Möglichkeit der Integration von bestehenden Installationen/Technologien auf Basis des Informationsmodells
<b>Einheitlichkeit</b>	Einheitlichkeit der Schnittstelle zwischen Management-Ansatz und Nutzer
<b>Durchgängigkeit</b>	Beschreibt, inwiefern sich, auf den ersten Blick vollkommen unterschiedliche, Management-Aufgaben mit den gleichen Mitteln behandeln lassen
<b>Standardisierung</b>	Bezieht sich auf den Grad der Standardisierung
<b>Objektauswahl</b>	Bewertet, wie einzelne oder Gruppen von Objekten aus dem instanziierten Informationsmodell ausgewählt bzw. abgefragt werden können.
<b>Modellbereitstellung</b> ↑	In welchem Umfang werden vom Nutzer Apriori-Informationen bzw. Dokumentationen benötigt, um die Informationen interpretieren zu können
<b>Dynamik</b>	Spiegelt die Fähigkeit des Ansatzes wieder zur Laufzeit beliebige Elemente/Objekte des Modells zu erzeugen/entfernen
<b>Notifikationen</b>	Beurteilt die Leistungsfähigkeit und das Vorhandensein eines Notifikationsmechanismus (Server-Client-Kommunikation)
<b>Methoden</b> ↑	Bewertet, ob im jeweiligen Ansatz die Möglichkeit besteht mit oder auf Basis von Management-Objekten Methoden auszuführen
<b>Transport</b>	Bewertet, inwieweit der von einem Management-Ansatz genutzte Transport im Automatisierungsumfeld heute schon eingesetzt wird
<b>FCAPS</b>	In welchem Umfang werden die SMFAs durch den Ansatz abgedeckt
<b>Konzeptkomplexität</b>	Drückt aus, wie komplex der Ansatz wahrgenommen wird
<b>Anwendungsbereiche</b>	Haupt-Anwendungsbereich(e) in der Praxis



## 4 ANSÄTZE ZUM SYSTEM- UND DIENSTE-MANAGEMENT

Sowohl in der IT als auch in der Automation existieren Ansätze, die sich grundsätzlich für das Management moderner industrieller Anlagen eignen. Es gilt zu bewerten, in welchem Umfang die jeweilige Technologie die aufgestellten Kriterien erfüllt. Ziel ist, die Lücken in Ansätzen zu identifizieren, um so entscheiden zu können, in welchem Umfang eine Weiterentwicklung notwendig ist oder ob gar alle bestehenden Ansätze verworfen werden müssen.

Nach eingehender Analyse der vorhandenen Technologien und der Zieldomäne wurde eine Reihe von Ansätzen zum direkten Vergleich ausgewählt. Die verglichenen Technologien sind ganz unterschiedlich für den Einsatz in der industriellen Automation geeignet. Die eine sticht durch ihre Einfachheit und gegenwärtige Verbreitung in der Automation hervor, andere durch gute Erweiterbarkeit, mächtige Modelle oder direkten Bezug zur Automation. In Tabelle 2 sind alle Ergebnisse der Bewertung zusammengefasst und direkt gegenüber gestellt.

Tabelle 2 Gegenüberstellung der Netzwerk- und System-Management-Ansätze. (↑) kennzeichnet Kriterien mit überdurchschnittlicher Relevanz

Kriterium	OSI [7]	SNMP [3], [4]	WBEM/CIM [8] [9]	OPC UA [10]	JMX [11]	WIMA [12]
Plattformbindung	+↑	++↑	++↑	+↑	0↑	++↑
Durchdringung	0	++	+	0	+	0
Mächtigkeit	+	+	++	+	0	++
Erweiterbarkeit	++	+	++	++	++	++
Objekte	++	0	++	++	++	++
Beziehungen	++↑	0↑	++↑	++↑	++↑	++↑
Technologiebindung	0	++	++	++	+	+
Flexibilität	+	+	++	++	++	++
Integration	+↑	+↑	++↑	+↑	+↑	++↑
Einheitlichkeit	++	++	++	++	0	+
Durchgängigkeit	+	+	++	++	++	++
Standardisierung	++	++	++	++	+	0
Objektauswahl	++	+	++	++	++	++
Modellbereitstellung	+↑	0↑	++↑	++↑	+↑	+↑
Dynamik	++	0	++	++	++	++
Notifikationen	++	+	++	++	++	++
Methoden	++↑	0↑	++↑	++↑	++↑	++↑
Transport	+	++	++	++	+	++
∅	1,4	1	1,9	1,7	1,3	1,6
∅↑	1,6	0,6	2	1,6	1,2	1,8

Zwei Aussagen lassen sich der Gegenüberstellung auf den ersten Blick entnehmen; es gibt offenbar eine Technologie, die sich ohne wesentliche Abstriche für den heutigen und zukünftigen Einsatz in der Automation eignet - WBEM/CIM - und es gibt eine Technologie, die sich trotz ihrer Verbreitung als nicht uneingeschränkt geeignet darstellt - SNMP. Alle anderen Ansätze haben ihre Vor- aber auch ihre Nachteile. Selbst SNMP ist in der Bewertung nicht vollkommen durchgefallen. Es sei darauf hingewiesen, dass die Gegenüberstellung sich – wie die Kriterien schon verdeutlichen – vorwiegend auf technologische Eigenschaften und nicht auf „weiche“ Faktoren wie etwa die Nutzerwahrnehmung bezieht, was die Bewertung deutlich zu Gunsten von SNMP verschoben hätte.

Nimmt man zu SNMP – heute *der* Management-Ansatz in der Automation – und WBEM/CIM – der Ansatz mit dem meisten Potential (nach Tabelle 2) – noch OPC UA – starke Relevanz in der Automation aber kein Managementanspruch – hinzu, so ergibt sich eine interessante Konstellation. SNMP konnte sich in der Automation bedingt durch seine relativ niedrigen Einstiegsanforderungen (einfaches Protokoll, wenige Zugriffsmethoden, flaches Informationsmodell, etc.) etablieren, wird in der Zukunft aber immer mehr an seine Grenzen stoßen. Vor allem vor dem Hintergrund der immer weiter fortschreitenden Integration zwischen Unternehmens-IT, Internet und Automation – Industrie 4.0 – ist das nachvollziehbar. Heute wird im Unternehmensbereich immer mehr auf mächtigere Konzepte, z.B. WBEM/CIM, zurückgegriffen, um der gestiegenen Komplexität der Systeme und Dienste sowie den Anforderungen an ihr Management begegnen zu können. Schreitet die Integration der Automation mit Unternehmensnetzen und dem Internet weiter voran, was politisch [13] und wirtschaftlich durchaus angestrebt und gefördert wird, so ist nahezu zwingend davon auszugehen, dass auch in den Automatisierungs-Netzen und -Systemen der Zukunft ein Paradigmenwechsel notwendig sein wird. Aus Sicht der Technologie und vor allem der Automation würde sich hier auch OPC UA anbieten. Es ist in der Automation etabliert, bietet ein hinreichend flexibles Metamodell und die Definition einer Erweiterung für das System-Management ist jederzeit machbar. Ein anderer Umstand wiegt hier jedoch schwerer: es bleibt fragwürdig, ob eine Technologie aus dem vergleichsweise kleinen Sektor Automation eine realistische Chance hat, auch in allen übrigen Technologiebereichen Fuß zu fassen. Genau darauf kommt es aber maßgeblich an, wenn ein durchgängiges Management von möglichst vielen Systemaspekten erreicht werden soll. Das Mapping zwischen Technologien (z.B. OPC UA und WBEM/CIM) kann bei einem so grundsätzlichen und infrastrukturell wichtigen Problem wie dem System-Management nur eine Übergangslösung sein, die auf Dauer aber durchaus auch Gefahr laufen kann sich beiläufig zu etablieren – wie es SNMP einst tat. Der technologisch geeignete Ansatz OPC UA scheidet also aus strategischen Überlegungen aus.

Eine Option für das zukünftige System-Management in der Automation ist bisher unbeachtet geblieben: die vollständige Neuentwicklung eines Management-Paradigmas, maßgeschneidert auf die Belange der Automation. Es stellt sich hier sofort die Frage: Welche Vor- und welche Nachteile hat eine solche Herangehensweise? Klar ist, dass im Fall einer vollständigen Neuentwicklung alle technischen Kriterien so behandelt werden könnten, dass sie die Anforderungen der Automation zur vollsten Zufriedenheit erfüllen. Anders verhält es sich jedoch mit den nichttechnischen Kriterien wie z.B. Mächtigkeit und Durchdringung. Beide drücken auf ihre Art aus, wie „reif“ und „verbreitet“ ein Ansatz ist. Im Fall eines neuen Management-Paradigmas ist dies offenbar kaum gegeben. Es ist vergleichsweise trivial, wenn auch fragwürdig, ein neues Metamodell zu definieren. Dieses Metamodell aber zu nutzen um ein komplexes Informationsmodell zu erstellen ist in der Regel ein iterativer Prozess der sich über einen langen Zeitraum erstreckt. Am Ende würde sich immer noch die Frage stellen, was genau eine Neuentwicklung denn, bezogen auf alle übrigen Kriterien, tatsächlich verbessern könnte, etwa gegenüber WBEM/CIM mit seinen erprobten Technologien und seinem weit gereiften und aussagestarken Informationsmodell, dass es sinnvoll erscheinen lässt diesen Weg dennoch zu gehen.

Eine Reihe von Ansätzen, die im weiteren Sinne auf das Management von Systemen bzw. einzelnen Systemaspekten abzielen, ist in der Betrachtung im Wesentlichen außen vor geblieben. Das schließt z.B. sehr allgemeine Ansätze wie das Management unter der Verwendung von Webservices, aber auch Technologien, die nur auf einzelne Systemaspekte wie etwa das Rechte-Management oder die Basiskonfiguration von Netzwerkgeräten abzielen, ein. In der Regel fehlt es diesen Ansätzen an Allgemeingültigkeit und vor allem an einem expliziten durchgängigen Informationsmodell.

## 5 WBEM/CIM FÜR DIE INDUSTRIELLE AUTOMATION

Aus der Diskussion und den Technologievergleichen wird ersichtlich, dass WBEM mit seinem Informationsmodell CIM grundsätzlich am besten für gegenwärtige und zukünftige Management-Aufgaben in der Automation geeignet ist. Auch an dieser Stelle bietet sich noch einmal die Möglichkeit, zwischen Neuentwicklung und Weiterentwicklung zu wählen. Wobei sich Neuentwicklung hier auf das Informationsmodell bezieht und so zu verstehen ist, dass lediglich das CIM-Meta-Schema [9] weiterverwendet wird, nicht jedoch die Core- und Common-Schemata. Bei eingehender Betrachtung wird jedoch auch hier klar: einer Neuentwicklung würde es zum einen an Reife fehlen zum anderen würde es die Integrationsbestrebungen des Managements zwischen IT und Automation behindern. Aufgabe ist es also, in den bestehenden CIM-Schemata genau die Positionen zu

bestimmen, an denen sich die Belange und Technologien der Automation abbilden lassen und diese Abbildung letztlich exemplarisch auch durchzuführen.

Einmal abgesehen vom Aufwand, das Informationsmodell entsprechend der Eigenheiten der Automation anzupassen, stellt sich zunächst die Frage, wie sich der bisherige „Stand der Technik“-Ansatz – SNMP – gegenüber WBEM/CIM auf Ebene des Netzwerks und nicht zuletzt aus Sicht des Nutzers verhält.

Tabelle 3 Anfrage SNMP und WBEM/CIM im Vergleich

	Request (Bytes)	Response (Bytes)	Kombiniert (Bytes)	Pro Wert (Bytes)
<b>SNMP (5 beliebige Objekte)</b>	435	438	873	175
<b>SNMP (BULK) (5 beliebige aufeinanderfolgende Objekte)</b>	86	157	243	49
<b>SNMP (BULK) (5 beliebige Objekte)</b>	151	157	308	62
<b>WBEM/CIM (eine Instanz) 38 Properties</b>	1179	3716	1587	129
<b>WBEM/CIM (3 Instanzen per EnumInstances) 114 Properties</b>	815	12187	13002	114

Tabelle 3 stellt die Ergebnisse eines einfachen Experiments dar. Es wurden Objekte aus der IF-MIB (SNMP), sowie alle vergleichbaren Properties einer Instanz von CIM\_IPProtocolEndpoint mittels „GetInstance“ (WBEM/CIM) gelesen. Vergleichend dazu wurden zusätzlich noch alle Instanzen der gleichen Klasse per WBEM/CIM „EnumerateInstances“ abgerufen. Die Antworten sind von Nutzdaten bereinigt, stellen also nur den entsprechenden Overhead des Protokoll-Stacks dar. Den direkten Vergleich „SNMPget“ vs. „GetInstance“ kann WBEM/CIM bezogen auf die Properties bzw. Objekte für sich entscheiden, sobald die Anzahl der Properties pro Objekt hoch genug ist. Klar wird, mit den eng gepackten Daten in „SNMPBulk“-Requests kann WBEM/CIM nicht konkurrieren und erzeugt selbst im günstigsten Fall ca. doppelt so viele Daten. Zu beachten ist jedoch, das SNMPBulk erst ab SNMPv2c vorhanden ist, was in Automatisierungskomponenten nicht durchgängig der Fall ist. Wichtig ist es an dieser Stelle zu verdeutlichen, dass die Relation von Datendichte zu Informationsgehalt bzw. Informationsdichte nicht besteht. WBEM/CIM hat zwar auf den ersten Blick einen deutlich größeren Overhead, allerdings werden die gewünschten Nutzdaten in einer Form übermittelt, die das Verständnis ohne weitere Dokumente erlaubt. Ergebnisse einer SNMP Anfrage sind ohne entsprechende Beschreibungsdokumente in aller Regel nicht verständlich und nahezu wertlos. Letztlich stellt sich jedoch ohnehin die Frage, ob der durch die Nutzung von WBEM/CIM in ein Automatisierungsnetz

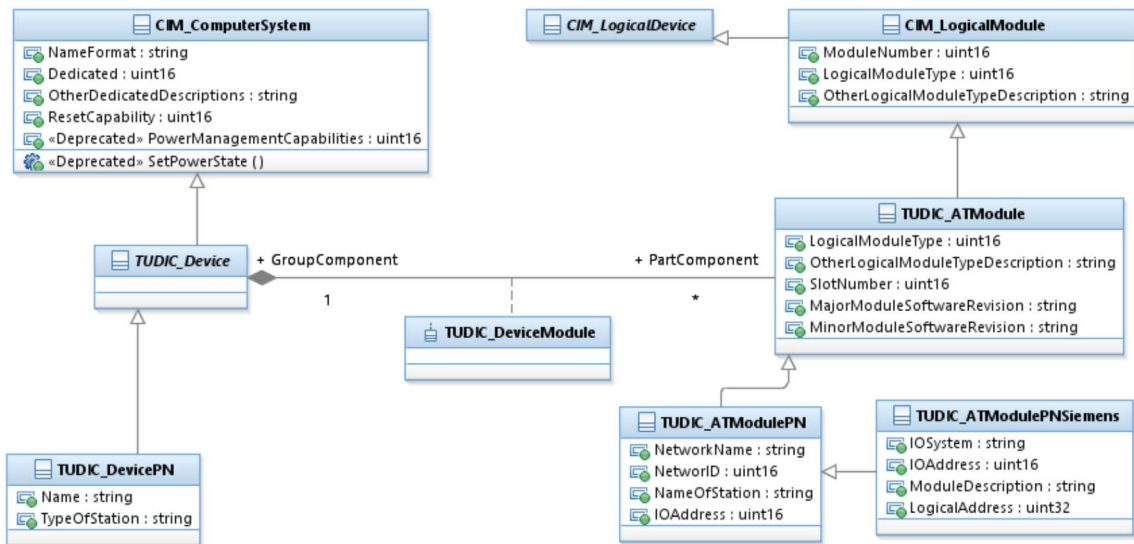


Abbildung 2 TUDIC\_Device und TUDIC\_LogicalModule

eingebraachte Traffic den Prozess behindern oder stören kann. Hier kann man davon ausgehen, dass es nicht zu Behinderungen kommt da, Quality of Service und weiterführend sogar Verkehrsdatenplanung in der Automation üblich sind.

Es ist nun also notwendig, die Positionen in den bereits vorhandenen Schemata zu identifizieren, die sich als Integrationspunkte für automationspezifische Informationen eignen. Dies ist stark abhängig vom jeweiligen Betrachtungspunkt. Für die Abbildung von Netzwerkprotokolle der Automation kommen beispielsweise Klassen im Scope von CIM\_ProtocolEndpoint in Frage. Informationen, die sich

im weiteren Sinne mit dem Thema Performance (nach FCAPS) befassen finden in CIM\_Metrics oder CIM\_StatisticalData ihre Superklassen. Diese beiden Beispiele sind vergleichsweise einfach, da

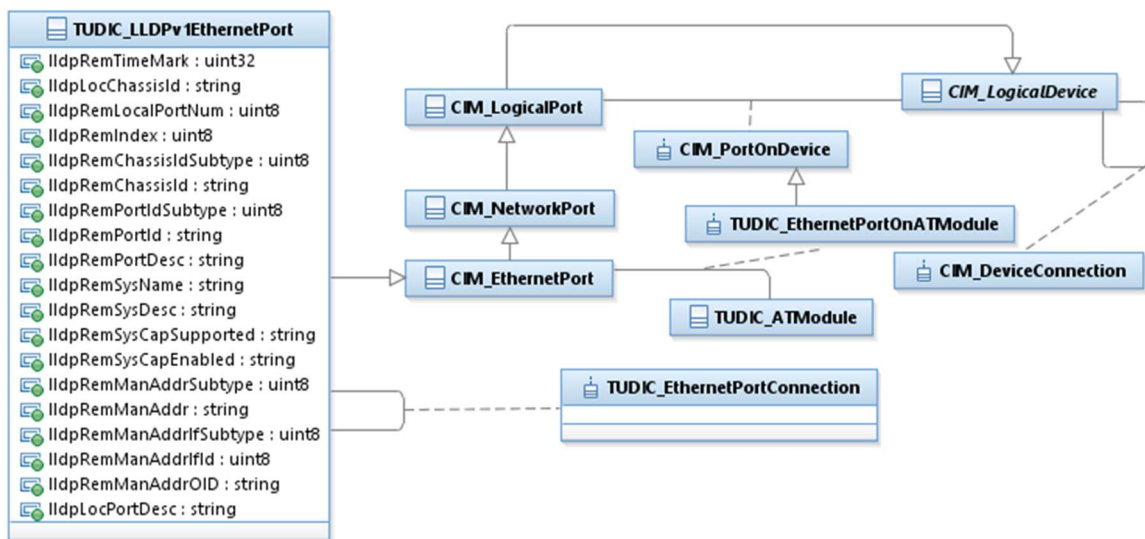


Abbildung 3 Modellelemente für Ermittlung der Topologie

entsprechende Informationen nicht verteilt über viele Klassen abgebildet werden müssen. Bei weitem schwieriger ist es z.B. ein übliches Gerätemodell mit Gesamtsystem, Modulen, Submodulen und einzelnen Komponenten abzubilden.

Abbildung 2 stellt stark vereinfacht das Gesamtsystem, als Weiterentwicklung von CIM\_System, mit seiner Modulstruktur, als Spezialisierungen von CIM\_LogicalDevice dar. Im Bild fehlt unter anderem, in welche Struktur sich die Komposition TUDIC\_DeviceModul einfügt. Es wurde auch vollkommen darauf verzichtet, einzelne Hardwarekomponenten und die physischen Gegebenheiten eines automatisierungstechnischen Gerätes darzustellen. Auch Relationen beispielsweise zu Modellkomponenten für die Blickpunkt Netzwerkprotokolle, Alarmer, Software usw. wären mit einzubeziehen.

Wie verhalten sich WBEM/CIM und SNMP aus Sicht des Nutzers? Für Managementaufgaben mit nicht zu geringer Komplexität wird schnell klar, dass der objektorientierte Ansatz den CIM verfolgt wesentliche Vorteile bringt, wenn es darum geht, einzelne Informationen in Relation zu anderen zu setzen. In Abbildung 3 sind Teile aus der Klassenstruktur zur Abbildung einer Netzwerktopologie mittels LLDP in CIM dargestellt. Die Liste der in TUDIC\_LLDPv1EthernetPort dargestellten Attribute ist in Auszügen identisch zur entsprechenden SNMP MIB [14]. Die Umsetzung in WBEM/CIM beruht hier also direkt auf SNMP, was einen Vergleich aus Nutzersicht interessant macht. Angenommen ein Nutzer will alle Informationen aus einem System abrufen, die es ihm ermöglichen, eine Topologie des Netzwerks abzuleiten und dabei ausschließlich auf Methoden zurückgreifen, die direkt von SNMP bzw. WBEM zur Verfügung gestellt werden. Es ergibt sich für die benötigten Nutzeranfragen, in Abhängigkeit von der Geräteanzahl, das in Abbildung 4 dargestellte Bild. Zu diesem Zeitpunkt sind die Informationen jedoch nicht in Relation gesetzt, d.h. die für die Darstellung der Topologie

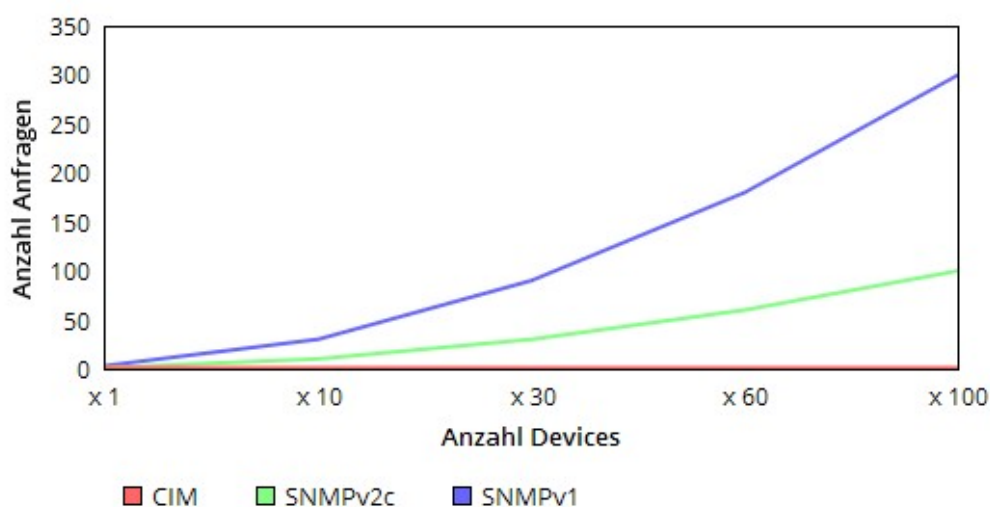


Abbildung 4 Anfrageanzahl ohne SNMP-BULK-Requests

notwendigen Nachbarschaftsbeziehungen liegen nur implizit vor. SNMP selbst bietet hier erst einmal keine Möglichkeiten. Der Nutzer kann die gestellte Management-Aufgabe also nicht mit Mitteln des Systems selbst lösen. Für WBEM hingegen genügt es, alle Instanzen der Assoziation TUDIC\_EthernetPortConnection (Abbildung 3) aus dem Modell zu erfragen um eine vollständige Liste der expliziten Nachbarschaftsbeziehungen zu erhalten. Diese Beispiele verdeutlichen die Fähigkeit des Informationsmodells, Relation zwischen Informationen zu setzen und so auch komplexe Zusammenhänge abbilden zu können. Das Ausdrücken gleicher Sachverhalte benötigt z.B. in SNMP ein erhebliches Maß an redundanten Informationen.

## 6 FAZIT

Die in der Arbeit vorgenommenen Modellerweiterungen sind nur eine Möglichkeit, die jeweiligen Aspekte in CIM abzubilden. Es gibt hier selten nur einen einzelnen richtigen Ansatz. In Veröffentlichungen und zugehörigen prototypischen Umsetzungen konnten sich die konkreten, in der Arbeit entwickelten Modelle, jedoch bereits bewähren [15] [16] [17] [18] und haben sich als hinreichend leistungsfähig herausgestellt. Sofern Kenntnisse der bestehenden CIM-Schemata sowie der neu zu modellierenden Aspekte der Automation vorhanden sind, ist das Einbringen von neuen Aspekten in das Modell jederzeit möglich.

Im Rahmen der Arbeit wurde anhand von abgeleiteten Kriterien bewertet, in welchem Umfang sich existierende Ansätze zum System- und Dienste-Management aus unterschiedlichen Industrien für die Belange der industriellen Automation eignen. Herausgearbeitet wurden diese Kriterien unter anderem anhand von Anwendungsfällen, die als relevant und repräsentativ für die Zieldomäne angesehen werden. Auf Basis einer umfangreichen Analyse, aus der hervorgeht, dass WBEM/CIM der am besten geeignete Ansatz ist, wurden in der Folge diverse Erweiterungen am Informationsmodell CIM konzipiert und umgesetzt. Dies wird anhand der zu Beginn der Arbeit aufgestellten Anwendungsfälle, die in dieser Kurzfassung nur auszugsweise enthalten sind, veranschaulicht. An einigen Punkten der Arbeit wurde jedoch bewusst auf Detaillierungen verzichtet. Folglich bieten sich hier Ansatzpunkte für weitere wissenschaftliche Arbeiten. Konkret sind das zum einen weitere automatisierungsspezifische Modelle und deren Domänenabstimmung, zum Anderen die Entwicklung von Profilen und Views für die Automation usw. Weiterhin besteht die Notwendigkeit von entsprechenden Standardisierungen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass alle wesentlichen Ziele der Arbeit erreicht werden konnten.

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch - Teil 351: Leittechnik (IEC 60050-351:2006)*, 2009.
- [2] ITU-T, *X.701: Information technology – Open Systems Interconnection – Systems management overview*, 1997.
- [3] J. Case, M. Fedor, M. Schoffstall und J. Davin, *RFC1157 - Simple Network Management Protocol (SNMP)*, IETF, 1990.
- [4] J. Case, K. McCloghrie, M. Rose und S. Waldbusser, *RFC 1901 - Introduction to Community-based SNMPv2*, IETF, 1996.
- [5] M. Knizak, M. Kunes, M. Manninger und T. Sauter, „Applying Internet management standards to fieldbus systems,“ in *IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, Barcelona, 1997.
- [6] M. Kunes und T. Sauter, „Fieldbus-internet connectivity: the SNMP approach,“ *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Bd. 48, Nr. 6, pp. 1248-1256, 2001.
- [7] ITU-T, *X.700 : Management framework for Open Systems Interconnection (OSI) for CCITT applications*, 1992.
- [8] *DSPo223: Generic Operations Specification*, DMTF, 2013.
- [9] *DSPo004: CIM Infrastructure Specification*, DMTF, 2012.
- [10] International Electrotechnical Commission, *IEC TR 62541-1:2010 - OPC Unified Architecture - Part 1: Overview and Concepts*, 2010.
- [11] Java Community Process, *JSR 3 Java™ Management Extensions (JMX)(TM) Specification, version 1.4 Maintenance Release 4*, 2013.
- [12] J.-P. Martin-Flatin, „Web-Based Management of IP Networks and Systems,“ École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2000.



- [13] BITKOM e.V., VDMA e.V. und ZVEI e.V., „Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0,“ BITKOM e.V., Berlin, 2015.
- [14] IEEE, „lldp.mib,“ 31 Mai 2005. [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/1/files/public/MIBs/lldp.mib>. [Zugriff am 13 Sep 2015].
- [15] R. Lehmann, R. Frenzel und M. Wollschlaeger, „Integriertes System- und Dienst-Management,“ *atp edition*, Bd. 3/2012, p. 50 ff., 2012.
- [16] M. Wollschlaeger, R. Lehmann und A. Dennert, „Life-Cycle-bezogene Information in Industrie 4.0,“ *atp edition*, Bd. 5/2015, Nr. 05, p. 24 ff., 2015.
- [17] R. Lehmann, A. Dennert und M. Wollschlaeger, „Diagnosis, Alarms and their Management in integrated Automation Systems,“ in *IEEE 20th Conf. Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, Luxembourg, 2015.
- [18] A. Dennert, M. Wollschlaeger, R. Lehmann und T+H GmbH & Co.KG, „Projekt SMartA Abschlussbericht Förderkennzeichen KF 2077606LF2,“ TU Dresden, 2015.