

Peer Review: 18.06.2019

# Integriertes Anlagenengineering zur Erhöhung der Energieeffizienz

## Steuerungsprogramme automatisch aus Engineering-Daten erzeugen

Andreas Würger, Hochschule Hannover; Karl-Heinz Niemann, Hochschule Hannover; Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg; Michael Gienke, ABB Automation; Martin Paulick, Wago Kontakttechnik

*Bei der Integration technischer Energiemanagementsysteme (tEnMS) in Automatisierungsanlagen fällt ein hoher Engineering-Aufwand an, besonders für die Steuerungsprogrammierung. Dieser Engineering-Aufwand ist für industrielle Anwender der Hauptgrund, integrierte tEnMS nicht einzusetzen. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Integriertes Anlagenengineering zur Erhöhung der Energieeffizienz (IAE4)“ (Förderkennzeichen: ZN2948; Forschungsprofessur des Landes Niedersachsen/Volkswagenstiftung) wurde untersucht, wie sich dieser Engineering-Aufwand reduzieren lässt. Hierzu wurde ein Software-Werkzeug entwickelt, das die benötigten Steuerungsprogramme automatisch aus Engineering-Daten und Gerätebeschreibungsdateien generiert. Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse des IAE4-Projektes vor.*

#Integriertes Engineering #automatische Generierung von Steuerungscode #Energieeffizienz

### Integrated plant engineering to improve energy efficiency

PLC programs generated automatically from engineering data

*The integration of technical energy management systems (tEnMS) into automation systems involves considerable engineering effort, especially in the form of PLC programming. This is one of the main arguments against using integrated tEnMS in industrial companies. The research project “Integrated plant engineering to increase energy efficiency (IAE4)” has investigated ways to reduce this engineering effort. A software tool has been developed which automatically generates the required PLC programs from engineering data and device description files. This paper presents the results of the IAE4-project.*

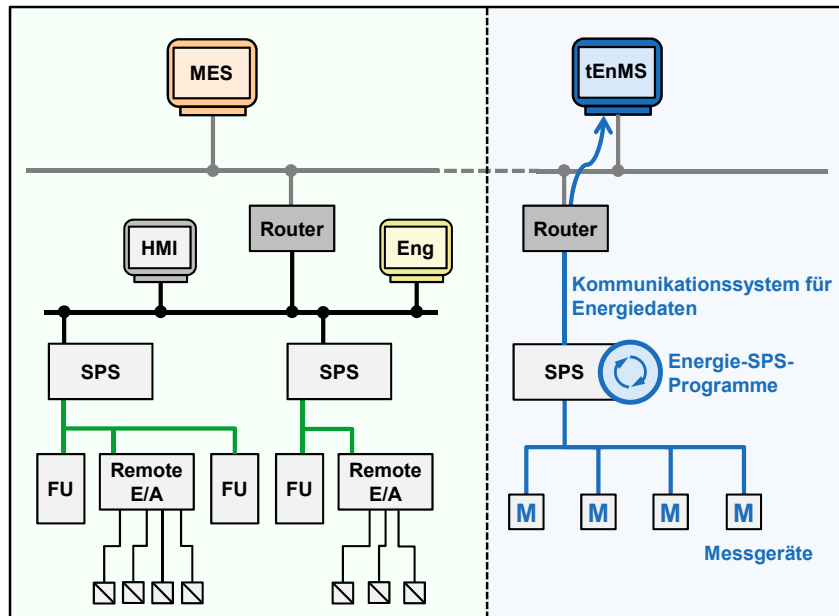
#integrated engineering #automatic generation of control logic #energy efficiency

Die Ressourcen- und Energieeffizienz ist in der industriellen Produktion von wachsender Bedeutung [1]. So hat die europäische Kommission (EK) das Ziel von 30% Energieeinsparung bis zum Jahr 2030 (im Vergleich zum Jahr 2005) vorgegeben [2]. Energiemanagement kann helfen, die Energieeffizienz einer Produktionsanlage zu verbessern. Die Norm ISO 50001 [3] beschreibt Einführung und Betrieb eines Energiemanagementsystems.

Nach [4] umfasst ein Energiemanagementsystem alle zur Verwirklichung des Energiemanagements benötigten Organisations- und Informationsstrukturen, einschließlich der hierzu benötigten technischen Vorrichtungen, der Hard- und Software. Die Gesamtheit dieser technischen Vorrichtungen wird im Folgenden als technisches Energiemanagementsystem (tEnMS) bezeichnet. Ein tEnMS in der industriellen Produktion dient der Messung, Speicherung, Auswertung und Visualisierung von Energieverbräuchen. Es existieren jedoch auch Funktionen zur aktiven Beeinflussung der Energieaufnahme von Verbrauchern aus dem tEnMS heraus. Derartige Funktionen werden als Lastmanagement bezeichnet.

Ein tEnMS lässt sich in der Ebenenstruktur der Automatisierungstechnik prinzipiell auf der MES-Ebene verorten [5]. Es werden jedoch auch Systemteile auf den Ebenen darunter benötigt: Auf Feldgeräte-Ebene nehmen Messgeräte Energiedaten auf. Auf Steuerungsebene werden Programme in den Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPSen, im Folgenden Energie-SPS-Programme genannt) benötigt, in denen gemessene Energiedaten aufgenommen, aufbereitet und für die Systemteile auf den höheren Ebenen bereitgestellt werden. Außerdem werden in den Energie-SPS-Programmen Schaltbefehle aus dem Lastmanagement entgegengenommen und koordiniert ausgeführt. Des Weiteren wird ein Kommunikationssystem zum Transport der Energiedaten benötigt. Ein tEnMS lässt sich prinzipiell parallel zur Automatisierungstechnik oder integriert in diese aufbauen.

Bild 1 zeigt ein parallel zur Automatisierungstechnik aufgebautes tEnMS. Bei dem parallelen Aufbau werden separate SPSen installiert, auf denen ausschließlich die Energie-SPS-Programme laufen. Für den Transport der Energiedaten wird



**Bild 1:** Parallel zur Automatisierungstechnik installiertes tEnMS

ein eigenes Kommunikationssystem (blaue Farbe) installiert. Die Messung der Energiedaten wird von eigens für diesen Zweck installierten Messgeräten übernommen.

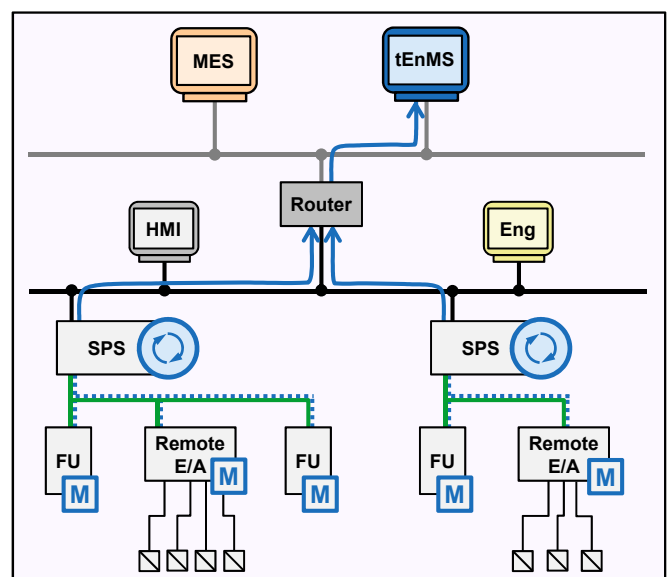
Integriert man tEnMS und Automatisierungssystem, werden die bereits vorhandenen Kommunikationsstrukturen für den Transport von Energiedaten mitverwendet. Die Energie-SPS-Programme laufen in diesem Fall, zusätzlich zu den Automatisierungsprogrammen, auf den vorhandenen SPSen. Die Messung der Energiedaten wird auch in diesem Fall von eigens für diesen Zweck installierten Messgeräten übernommen.

Ein noch höherer Integrationsgrad kann durch den Einsatz von Energieprofilen für Industrial Ethernet-Systeme, wie zum Beispiel Profienergy [6] für Profinet, erreicht werden. Hierbei werden tEnMS-Funktionen teilweise in die Feldgeräte implementiert, im Falle von Profienergy in die Profinet-IO-Devices. Ein Profienergy-fähiges Profinet-Device kann zum Beispiel über integrierte Energiemessungen verfügen, oder über Energiesparmodi, in die es im Standby-Betrieb geschaltet werden kann. Für den Zugriff auf die integrierten tEnMS-Funktionen bietet das Energieprofil eine einheitliche Schnittstelle. Bild 2 zeigt ein tEnMS, das Energieprofile zur weiteren Erhöhung des Integrationsgrades nutzt.

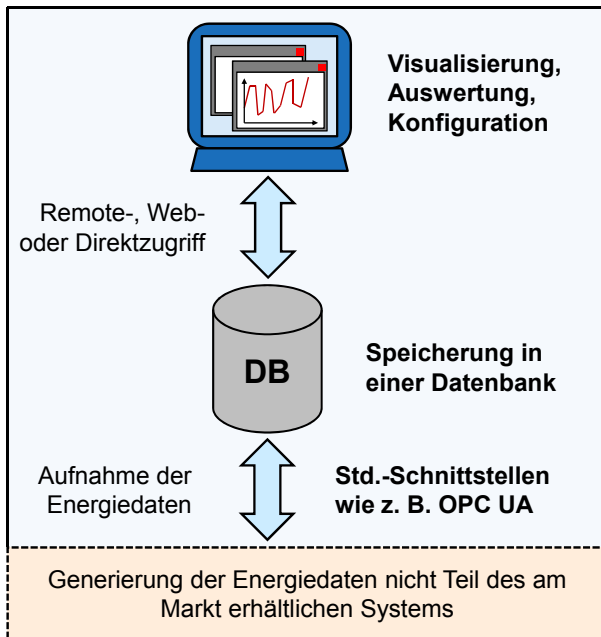
Eine Integration von tEnMS und Automatisierungssystem bietet Vorteile, da bereits vorhandene Automatisierungskomponenten und Kommunikationsverbindungen für den Aufbau des tEnMS genutzt werden können. Ein Lastmanagement wird erst ab einem gewissen Integrationsgrad möglich, da hierfür die Ansteuerung von Automatisierungskomponenten beeinflusst werden muss. Dies ist nur durch eine Kopplung mit den SPSen, auf denen die Automatisierungsprogramme laufen, möglich.

Trotz der Vorteile, die ein hoher Integrationsgrad von tEnMS und Automatisierungstechnik bietet, ist der Integrationsgrad heutiger tEnMS eher gering [7, 8]. Einer der Hauptgründe für den geringen Integrationsgrad ist der für die Integration

notwendige Engineering-Aufwand. Das Forschungsprojekt „Integriertes Anlagenengineering zur Erhöhung der Energieeffizienz (IAE<sup>4</sup>)“ (Förderkennzeichen: ZN2948; Forschungsprofessur des Landes Niedersachsen/Volkswagenstiftung), das seit Oktober 2014 an der Hochschule Hannover bearbeitet wurde, hatte zum Ziel, diesen Engineering-Aufwand so weit wie möglich zu reduzieren. Das IAE<sup>4</sup>-Projekt wurde in Kooperation mit den Firmen ABB und Wago und mit der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg bearbeitet. Die Bearbeitungszeit des IAE<sup>4</sup>-Projektes endet im Januar 2020, dieser Beitrag fasst die Bearbeitungsschritte und die Ergebnisse des Forschungsprojektes zusammen. Hierzu wird zunächst der aktuelle Stand von Forschung und Technik mit den Anforderungen industrieller Anwender an tEnMS verglichen. Mit Hilfe der hierbei deutlich werdenden



**Bild 2:** Erhöhung des Integrationsgrades eines tEnMS durch Energieprofile



**Bild 3:** Typischer Aufbau am Markt erhältlicher tEnMS

Diskrepanzen wird die dem Forschungsprojekt zugrundeliegende Problematik verdeutlicht. Im Anschluss daran wird ein Konzept für ein tEnMS-Engineering-Werkzeug vorgestellt, das geeignet ist, die Defizite des aktuellen Standes der Technik zu überwinden. Dieses tEnMS-Engineering-Werkzeug besteht aus zwei Software-Modulen, die in den darauffolgenden Kapiteln vorgestellt werden. Anschließend wird gezeigt, wie die Funktion des tEnMS-Engineering-Werkzeugs getestet wurde. Den Abschluss des Beitrages bildet ein Fazit.

## 1. Stand von Forschung und Technik

In diesem Kapitel erfolgen eine Analyse der aktuellen Marktsituation sowie eine Analyse des aktuellen Standes der Forschung hinsichtlich tEnMS.

### 1.1 Situation am Markt

Bei einer Analyse am Markt erhältlicher tEnMS kann unter anderem der „Marktspiegel für Energiemanagementsysteme“ der Energieagentur NRW [9] herangezogen werden. Dieser listet derzeit 43 am deutschen Markt verfügbare tEnMS auf. Bei den meisten dieser Systeme handelt es sich um Systeme zur Aufnahme, Speicherung, Analyse und Visualisierung von Energiedaten. Der Aufbau dieser Systeme ähnelt sich: Die Energiedaten werden aufgenommen und in einer Datenbank gespeichert. Für Darstellungs- und Analysezwecke existiert eine Reihe von Dashboards, Diagrammen und vorgefertigten Berichten, die über eine Benutzeroberfläche abgerufen werden können. Für die Aufnahme der Energiedaten stehen Standardschnittstellen wie zum Beispiel OPC UA zur Verfügung. Bild 3 zeigt den typischen Aufbau am Markt erhältlicher tEnMS.

Die für die Aufnahme und Skalierung von Energiedaten und für die Ausführung von Lastmanagementbefehlen benötigten Energie-SPS-Programme müssen bei den typischen am Markt erhältlichen tEnMS manuell erstellt werden.

Nur wenige am Markt erhältliche Systeme bieten einen über die genannten Funktionen hinausgehenden Funktionsumfang, wie zum Beispiel ein teilautomatisiertes Engineering der Energie-SPS-Programme. Doch auch diese Systeme weisen Defizite auf, so werden zum Beispiel keine Energieprofile und nur Messgeräte/Feldgeräte mit integrierten tEnMS-Funktionalitäten des jeweiligen Herstellers unterstützt. Die Systeme sind also nicht für den Einsatz in heterogenen Automatisierungsumgebungen, mit Feldgeräten unterschiedlicher Hersteller, wie sie üblicherweise in der industriellen Produktion vorkommen, geeignet.

### 1.2 Stand der Forschung

Im Folgenden werden die relevantesten wissenschaftlichen Arbeiten hinsichtlich tEnMS kurz zusammengefasst:

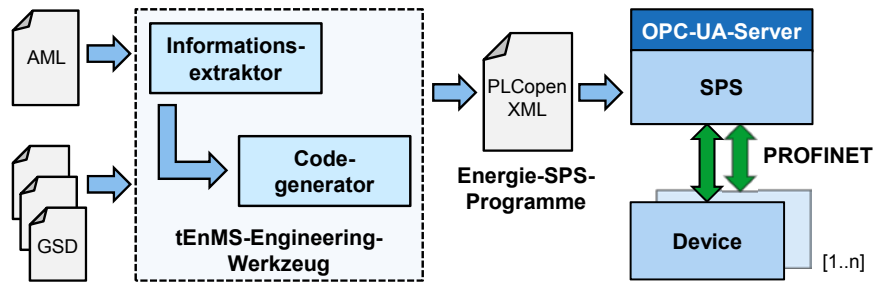
In [10] wird ein Ansatz vorgestellt, mit dem die aus Energiesicht optimale Abschaltstrategie für Produktionsanlagen, während Pausen von definierter Länge, ermittelt und ausgeführt werden kann. Die für die Ermittlung benötigten Informationen liegen in sogenannten „energiezentrierten Systemmodellen“ vor. Das System für die Ermittlung der Abschaltstrategie wird in dem Beitrag auf MES-Ebene verortet. Die ermittelte Abschaltstrategie wird auf Steuerungsebene ausgeführt.

In [11] wird die Entwicklung eines Energiemanagementmoduls für ein bestehendes MES beschrieben. Ein wesentlicher Teilaspekt des Energiemanagementmoduls ist das Lastmanagement zur Vermeidung von Lastspitzen. Die Ermittlung von Energieverbräuchen und die Prognose von Lastspitzen erfolgt aus einem Anlagenmodell heraus. Bei dem Modell wird die Anlage als Zustandsautomat abgebildet, wobei jedem realen Betriebszustand der Anlage ein Zustand und ein Energieverbrauch zugeordnet werden. Zur Beschreibung dieses Zustandsautomaten wird die Modellierungssprache SysML verwendet.

In [12] wird ein simulationsfähiges, Ontologie-basiertes Modell einer Anlage beschrieben. Für die Realisierung des Modells wurde die Energieontologie *OntoEnergy* entwickelt. Als Format für das Modell wurde die in der VDI/VDE-Richtlinie 3682 [13] definierte formalisierte Prozessbeschreibung verwendet. Durch Langzeitsimulationen lässt sich der künftige Energieverbrauch der modellierten Anlage bereits während des Engineerings abschätzen. Des Weiteren können mit dem Modell geplante Änderungen zur energetischen Optimierung einer existierenden Anlage simuliert werden. So lässt sich die Wirkung der Optimierungen abschätzen, bevor Änderungen an der realen Anlage vorgenommen werden.

Im Rahmen des Projektes *Innovationsallianz Green Carbody Technologies – InnoCaT* [14] wurde unter anderem untersucht, wie die Energieeffizienz einer Karosseriefertigung in der Automobilindustrie durch den Einsatz eines tEnMS erhöht werden kann. Ein wesentlicher Teil des Energiemanagementkonzepts war neben einer engmaschigen Erfassung von Energiedaten auch ein Standby-Management auf Steuerungs- und Feldgeräteebene unter Nutzung von Profienergy.

Der Beitrag [15] thematisiert die Integration von Energiemanagementfunktionalitäten in SPS-Programme. Hierzu wird der Engineering-Prozess automatisierungstechnischer Anlagen betrachtet. Des Weiteren wird die Verlagerung von Energiemanagementfunktionalitäten in die Feldgeräte thematisiert. Energieprofile wie Profienergy werden als Schlüsseltechnologie



**Bild 4:** Konzept für ein tEnMS-Engineering-Werkzeug

zur Verwirklichung einer derartigen weiteren Verlagerung genannt. Allerdings wird in [15] auch hervorgehoben, dass trotz des Einsatzes von Energieprofilen ein hoher Engineering-Aufwand auf Steuerungsebene bestehen bleibt. Die Reduzierung dieses Engineering-Aufwands wird als lohnendes Thema für zukünftige Forschungstätigkeiten genannt.

Der Beitrag [16] stellt den Engineering-Aufwand und die damit verbundenen Kosten für die Implementierung von Funktionen zum Standby-Management auf Steuerungsebene als Gefahr für die Wirtschaftlichkeit derartiger Maßnahmen dar.

## 2. Anforderungen industrieller Anwender

In der dem IAE<sup>4</sup>-Projekt vorausgegangenen Studie [7] wurden durch Anwenderinterviews die Anforderungen industrieller Anwender an tEnMS ermittelt. Diese sind im Wesentlichen:

- » Die in den Feldgeräten vorhandenen Energie-Messfunktionalitäten sollen möglichst genutzt werden.
- » Alle Feldgeräte sollten in das Energie- und Lastmanagement einbindbar sein.
- » Das Engineering der Energie-SPS-Programme soll möglichst automatisiert ablaufen.
- » Der bidirektionale Signalaustausch mit überlagerten Ebenen soll über offene Schnittstellen erfolgen.
- » Der Aufwand für Installation und Betrieb des tEnMS muss in einem sinnvollen Verhältnis zu den erreichbaren Einsparungen stehen.

Nach dem Start des IAE<sup>4</sup>-Projektes wurde diese Zusammenfassung im Rahmen des Beitrages [17] noch einmal um folgende Punkte erweitert:

- » Die Integration von tEnMS und Automatisierungstechnik sollte bereits ab den frühen Phasen des Engineerings berücksichtigt werden.
- » Die Nutzung von Schlüsseltechnologien, wie zum Beispiel OPC UA, sollte im Sinne einer durchgängigen Vernetzung möglich sein.
- » Die Nutzung von Standards wie zum Beispiel Energieprofilen sollte möglich sein.

Vergleicht man diese Anforderungen mit dem in Kapitel 1 vorgestellten Stand vor Forschung und Technik und der Marktsituation, so wird deutlich, dass die Anforderungen industrieller Anwender an tEnMS heute zum Teil nicht abgedeckt werden. Es besteht insbesondere Bedarf für eine Lösung zur Reduktion des Engineering-Aufwands für die Erstellung der Energie-SPS-Programme. Diese Lösung sollte möglichst herstellerneutral und in heterogenen Automatisierungsumgebungen einsetzbar sein.

## 3. Konzept für ein tEnMS-Engineering-Werkzeug

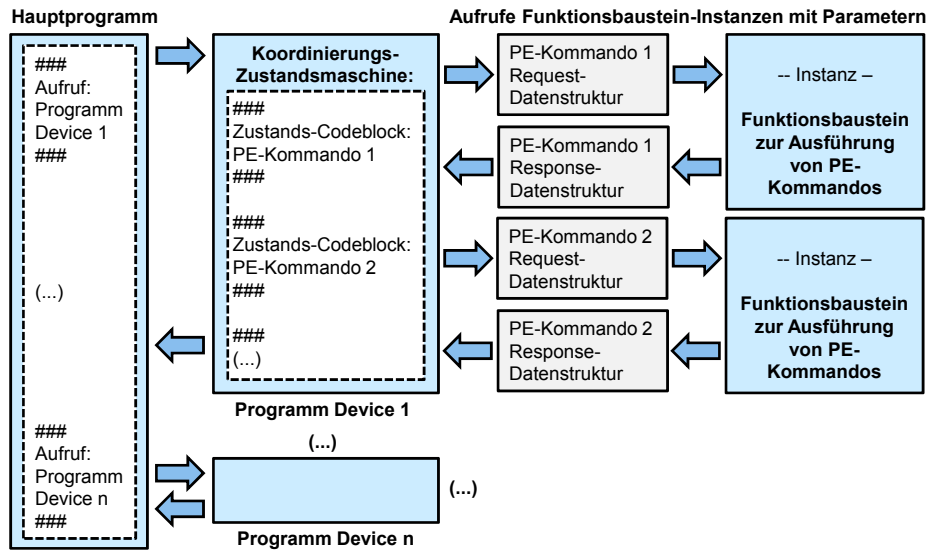
Zur Überwindung der Defizite des aktuellen Standes von Forschung und Technik wurde im Rahmen des IAE<sup>4</sup>-Projektes ein Konzept für ein Engineering-Werkzeug für Energie-SPS-Programme, im Folgenden *tEnMS-Engineering-Werkzeug* genannt, entwickelt. Dieses generiert die Energie-SPS-Programme automatisch auf Basis von Engineering-Daten.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, werden durch den Einsatz von Profienergy tEnMS-Funktionen direkt in die Feldgeräte integriert. Ein derartiges Feldgerät kann zum Beispiel über integrierte Energiemessungen oder über Energiesparmodi, in welche es im Standby-Betrieb geschaltet werden kann, verfügen. Bei Profienergy erfolgt über eine standardisierte Schnittstelle die bidirektionale Kommunikation zwischen integrierten tEnMS-Funktionen und den Energie-SPS-Programmen, die damit eine einheitlichere Form haben können. Eine Bedingung für die Funktion des tEnMS-Engineering-Werkzeugs ist, dass es sich bei allen an die SPS angeschlossenen Feldgeräten um Profinet-Devices, die das Profienergy-Energieprofil unterstützen, handelt. Davon wird im Folgenden ausgegangen. Bild 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau des im Projekt entwickelten tEnMS-Engineering-Werkzeugs.

Das tEnMS-Engineering-Werkzeug lässt sich in zwei Module aufteilen:

- » Der *Informationsextraktor* extrahiert die für die automatische Steuerungscodegenerierung benötigten Informationen aus Engineering-Daten und aus den GSD-Dateien (Generic Station Description) [18] der angeschlossenen Feldgeräte und legt diese in geeigneten Datenstrukturen ab.
- » Der *Codegenerator* generiert die Energie-SPS-Programme auf Basis der zuvor extrahierten Informationen.

Die Energie-SPS-Programme werden in dem von der PLCCopen standardisierten XML-Format [19] generiert. Hierbei handelt es



**Bild 5:** Aufbau automatisch generierter Energie-SPS-Programme

sich um ein etabliertes und herstellernertrales Austauschformat für Steuerungscode der mit der IEC 61131-3 [20] konform ist. Eine weitere Bedingung für die Anwendung des tEnMS-Engineering-Werkzeugs ist also, dass die Entwicklungsumgebung für die eingesetzte SPS über eine PLCopen-XML-Importschnittstelle verfügt.

Die Energie-SPS-Programme sollen über eine Kommunikationsmöglichkeit zu Teilsystemen des tEnMS auf überlagerten Ebenen verfügen, über die Befehle aus dem Lastmanagement entgegengenommen und erfasste Energiedaten bereitgestellt werden. Daher ist eine weitere Bedingung für die Anwendbarkeit des tEnMS-Engineering-Werkzeugs, dass die eingesetzte SPS über einen integrierten OPC-UA-Server verfügt.

#### 4. Automatische Generierung der Energie-SPS-Programme

Im Folgenden wird das Codegenerator-Modul des tEnMS-Engineering-Werkzeugs beschrieben. Hierzu werden zunächst verschiedene Ansätze zur automatischen Generierung von Steuerungscode betrachtet. Anschließend wird gezeigt, wie der für die automatische Generierung der Energie-SPS-Programme geeignete Ansatz für diesen Zweck adaptiert wird. Bei der automatischen Generierung von Steuerungscode ist zwischen der automatischen Generierung von Steuerungscode zur Realisierung eines beliebigen automatischen oder eines fest definierten Ablaufs zu unterscheiden.

Bei der ersten Variante wird der zu realisierende automatische Ablauf in einer Modellierungssprache beschrieben. Für die automatische Generierung von Steuerungscode aus den Modellen heraus müssen nun Transformationsregeln für die jeweilige Modellierungssprache entwickelt werden. Zur Entwicklung derartiger Transformationsregeln gibt es diverse Forschungsarbeiten, so zum Beispiel für die Generierung von Steuerungscode aus SysML-Modellen [21], UML-Modellen [22], GRAFCET [23], Petrinetzen [24] et cetera.

Bei der zweiten Variante wird Steuerungscode für die Realisierung definierter Funktionen, wie zum Beispiel zur Realisierung von Verriegelungslogik [25], generiert. Der später automatisch

zu generierende Steuerungscode wird zunächst in sinnvoll gekapselte Module aufgeteilt [26]. Bei diesen Modulen kann es sich um ganze Programmorganisationseinheiten, Codefragmente oder reine Datenansammlungen handeln. Anschließend wird eine Bibliothek aus diesen Modulen erstellt. Bei der automatischen Codegenerierung selbst werden die vorgefertigten Module dann instanziiert und entsprechend verknüpft. Bei der automatischen Generierung der Energie-SPS-Programme ist die zweite der beiden beschriebenen Varianten zielführender. Die Energie-SPS-Programme werden dafür zunächst in einer allgemeingültigen Form entwickelt. Dann sind diese in wiederverwendbare Module zu kapseln. Im Anschluss daran kann ein Algorithmus zur automatischen Steuerungscodegenerierung entwickelt werden.

Der Beitrag [27] befasst sich speziell mit der Entwicklung des Codegenerators im Rahmen des IAE<sup>4</sup>-Projektes. An dieser Stelle wird kurz zusammengefasst, welche Funktionen der automatisch zu generierende Steuerungscode umfasst und in welche Module dieser gekapselt werden kann.

Die in die Feldgeräte integrierten tEnMS-Funktionalitäten werden über das Profienergy-Energieprofil mittels sogenannter Profienergy-Kommandos abgerufen. Ein Profienergy-Kommando besteht aus einem *Request*, der von dem *Controller* an das Feldgerät gesendet wird, und aus der *Response* des Feldgeräts an den *Controller*. Bei der Kommunikation über Profienergy muss Controller-seitig sichergestellt werden, dass ein neuer *Request* erst dann an ein Feldgerät gesendet werden darf, wenn zu dem vorher gesendeten *Request* eine *Response* erhalten wurde, also das vorherige Profienergy-Kommando vollständig abgearbeitet wurde. Die Profienergy-Kommunikation muss also koordiniert werden, dies ist eine Hauptfunktion der automatisch generierten Energie-SPS-Programme.

Sofern das Feldgerät Energiesparmodi für den Standby-Betrieb besitzt, kann es in diese geschaltet und aus diesen zurückgeholt werden. Das Kommando zum Schalten des Feldgeräts in einen Energiesparmodus oder zum Zurückholen aus einem Energiesparmodus kann über Variablen in den Energie-SPS-Programmen oder über Variablen auf dem in die SPS integrierten OPC-UA-Server gegeben werden.



Sofern das Feldgerät über integrierte Energiemessungen verfügt, werden die Messwerte zyklisch aus dem Feldgerät abgerufen. Die Messwerte liegen dann im SPS-Programm vor und werden über Variablen auf dem in die SPS integrierten OPC-UA-Server bereitgestellt.

Der beschriebene Funktionsumfang eines generischen Energie-SPS-Programms ist nun in wiederkehrende Module in Form von (Unter-) Programmen, Funktionsbausteinen und Codeblöcken zu kapseln. Aus diesen Modulen kann dann durch den Codegenerator ein Energie-SPS-Programm für jede beliebige Konfiguration aus SPS und Feldgeräten generiert werden. In der folgenden Aufzählung werden die einzelnen Module kurz beschrieben, und es wird gezeigt, wie diese vom Codegenerator zusammengesetzt werden:

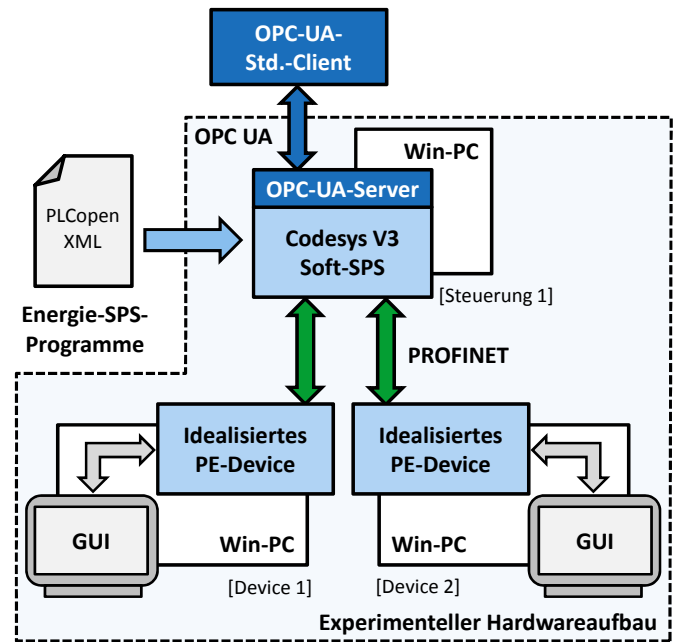
- » Für jedes Profienergy-Kommando werden eine Datenstruktur, die den Aufbau des *Requests* und eine Datenstruktur, die den Aufbau der *Response* abbildet, erstellt.
- » Es wird ein instanzierbarer Funktionsbaustein erstellt, der, je nach Parametrierung, jedes mögliche Profienergy-Kommando ausführen kann.
- » Bei der automatischen Codegenerierung wird für jedes Feldgerät ein Programm (im Bild 5: *Programm Device 1 – n*) erstellt, welches eine Zustandsmaschine zur koordinierten Ausführung der Profienergy-Kommandos, im Folgenden *Koordinierungs-Zustandsmaschine* genannt, enthält. Für jedes Kommando, das von dem jeweiligen Feldgerät unterstützt wird, wird der Koordinierungs-Zustandsmaschine ein Zustand hinzugefügt. Für jeden möglichen Zustand dieser Zustandsmaschine muss also ein Codeblock mit dem entsprechenden Steuerungscode vorliegen. In diesem Codeblock wird unter anderem eine Instanz des im vorherigen Punkt beschriebenen Funktionsbausteins aufgerufen.
- » In einem Hauptprogramm werden die einzelnen Programme, die die Koordinierungs-Zustandsmaschinen enthalten, aufgerufen.

Bild 5 zeigt den beschriebenen Aufbau der automatisch generierten Energie-SPS-Programme.

Die Energie-SPS-Programme werden im PLCopen-XML-Format, in der Programmiersprache *Strukturierter Text* gemäß IEC 61131-3, generiert. Für die beschriebenen OPC-UA-Schnittstellen werden Variablen in den Programmen erstellt. Diese Variablen können dann, nach dem Import der Energie-SPS-Programme in eine SPS-Entwicklungsumgebung, mit dem in die SPS integrierten OPC-UA-Server verknüpft werden.

## 5. Extraktion von Informationen aus Engineering-Daten

Die Informationen, die als Basis für die automatische Generierung der Energie-SPS-Programme benötigt werden, werden aus Engineering-Daten und aus den GSD-Dateien der Feldgeräte extrahiert. Hiermit befasst sich der Beitrag [28], der im Rahmen des IAE<sup>4</sup>-Projektes entstanden ist. An dieser Stelle



**Bild 6:** Experimenteller Hardwareaufbau für Funktionstests

wird nur kurz zusammengefasst, welche Informationen für die automatische Generierung der Energie-SPS-Programme benötigt werden und woraus sich diese extrahieren lassen. Aus den GSD-Dateien sind zu extrahieren:

- » *Device-Liste*: eine Liste aller an die SPS angeschlossenen Feldgeräte.
- » *Hardwareadresse*: die Hardwareadresse von jedem dieser Feldgeräte.
- » *Profilunterstützung*: Von jedem Feldgerät muss bekannt sein, ob es das Profienergy-Profil unterstützt.
- » *Kommandos*: Von jedem der Feldgeräte, die Profienergy unterstützen, muss bekannt sein, in welchem Umfang das Profil implementiert ist, das heißt, welche der definierten Profienergy-Kommandos von dem Feldgerät tatsächlich unterstützt werden.
- » *Messwerte*: Von jedem der Feldgeräte, die über integrierte Messfunktionalitäten verfügen, muss bekannt sein, welche Messwerte es liefert.
- » *Energiesparmodi*: Von allen Feldgeräten, die über Energiesparmodi verfügen, müssen die Parameter der Energiesparmodi (insbesondere der Energieverbrauch im Energiesparmodus und die Zeit, die zum Schalten in den Energiesparmodus benötigt wird) bekannt sein.

Die *Profilunterstützung* sowie die pro Feldgerät unterstützten *Kommandos*, *Messwerte* und *Energiesparmodi* lassen sich aus der GSD-Datei des Feldgeräts automatisch extrahieren. Für die Extraktion der *Device Liste* und der *Hardwareadressen* wird ein Modell des Profinet-Kommunikationssystems benötigt. In [29] und [30] wird die Modellierung von Kommunikationssystemen

in der herstellerneutralen Beschreibungssprache AutomationML [31] beschrieben. Hierauf wurde im Rahmen des IAE<sup>4</sup>-Projektes zurückgegriffen. Alle für die automatische Codegenerierung benötigten Informationen lassen sich damit aus einem Modell des Profinet-Kommunikationssystems und aus den GSD-Dateien der angeschlossenen Devices extrahieren.

Nach Abschluss der automatischen Informationsextraktion ist der Codegenerator zu starten.

### Prototypische Implementierung

Die unter 4 und 5 beschriebenen Softwaremodule wurden im Rahmen des IAE<sup>4</sup>-Projektes entwickelt und zu einem prototypischen tEnMS-Engineering-Werkzeug zusammengefügt. Zum Test des tEnMS-Engineering-Werkzeugs wurde der in Bild 6 dargestellte experimentelle Hardwareaufbau verwendet.

Als SPS wurde eine Codesys V3 [32] Soft-SPS verwendet, die weit verbreitet, herstellerneutral und konform zu IEC 61131-3 ist und über eine PLCopen-XML-Importschnittstelle sowie einen integrierten OPC-UA-Server verfügt. Als Feldgerät-Emulatoren wurden zwei Windows-PCs eingerichtet, auf denen jeweils ein Profienergy-fähiges Profinet-Feldgerät emuliert wird. Dieses *idealisiertes PE-Device* wurde im Rahmen des IAE<sup>4</sup>-Projektes speziell für Testzwecke entwickelt, in ihm ist das vollständige Profienergy-Protokoll implementiert, und es verfügt über Energiesparmodi und kann Energie-Messwerte simulieren.

Mit dem beschriebenen experimentellen Hardwareaufbau wurde eine Konfiguration aus einer SPS und zwei Feldgeräten nachgebildet. Aus dem Modell des experimentellen Hardwareaufbaus gemäß [29] und [30] und unterschiedlichen Varianten der GSD-Dateien der idealisierten PE-Devices konnten mit dem tEnMS-Engineering-Werkzeug Energie-SPS-Programme zur Ansteuerung von Devices, die das Profienergy-Profil in unterschiedlichen Ausprägungen unterstützen, generiert und erfolgreich getestet werden.

### Fazit

Im Rahmen des IAE<sup>4</sup>-Projektes wurde gezeigt, dass Energieprofile nicht nur tEnMS-Funktionalitäten in Feldgeräte integrieren. Durch die Vereinheitlichung von Semantik und Schnittstellen nehmen die Energie-SPS-Programme eine derartig einheitliche Form an, dass sich diese automatisch generieren lassen. Die hierdurch entstehende Reduktion des Engineering-Aufwands beseitigt einen wesentlichen Vorbehalt industrieller Anwender in Bezug auf den Einsatz von integrierten tEnMSen. Obwohl im Rahmen des Forschungsprojektes exemplarisch mit Profienergy für Profinet gearbeitet wurde, lassen sich die Arbeitsergebnisse des IAE<sup>4</sup>-Projektes auch auf andere Energieprofile übertragen. Dies kann künftig auch für Geräte im *Internet der Dinge* (internet of things, kurz IoT) [33] relevant werden. Für die IoT-Kommunikationstechnologien existieren allerdings noch keine standardisierten Energieprofile. Hier sehen die Autoren Handlungsbedarf.

### Referenzen

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. (2010). *Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung*. Abgerufen von: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=5).
- [2] ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e. V. (2017). *Energieeffizienz mit elektrischen Antrieben*. Abgerufen von: [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2017/November/Energieeffizienz\\_mit\\_elektrischen\\_Antrieben/ZVEI\\_BR\\_Energieeffizienz\\_Antriebe\\_NEU6.12.17\\_DOWNLOAD.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2017/November/Energieeffizienz_mit_elektrischen_Antrieben/ZVEI_BR_Energieeffizienz_Antriebe_NEU6.12.17_DOWNLOAD.pdf)
- [3] DIN EN ISO 50001. (2018). *Energiemanagementsysteme - Anforderung mit Anleitung zur Anwendung*. DIN: [www.beuth.de](http://www.beuth.de)
- [4] VDI 4602 Blatt 1:2007-10. (2007). *Energiemanagement – Begriffe*. VDI: [www.beuth.de](http://www.beuth.de)
- [5] VDI 5600 Blatt 6:2017-10. (2017). *Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES) – Energiemanagement mit MES*. VDI: [www.beuth.de](http://www.beuth.de)
- [6] PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (PNO). (2010). *PI White Paper: The PROFienergy Profile: Increasing the Energy Efficiency of Automation Systems using Smart Energy Management over PROFINET*. Abgerufen von: <http://www.profibus.com/nc/download/brochures-white-paper/downloads/pi-white-paper-the-profienergy-profile/display/02.05.2017>.
- [7] Niemann, K. H. (2011). *Bestandsaufnahme von Energiemanagementfunktionen in Automatisierungssystemen: Studie für den Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI)*. Abgerufen von: [https://serwiss.bib.hs-hannover.de/frontdoor/deliver/index/docId/1139/file/Energ\\_Man\\_in\\_Leitsystemen\\_V08.pdf](https://serwiss.bib.hs-hannover.de/frontdoor/deliver/index/docId/1139/file/Energ_Man_in_Leitsystemen_V08.pdf)
- [8] Güldner, F. und Menze, T. (2014). ARC Advisory Group - Energy Management Online Survey The Findings.
- [9] Energieagentur NRW. (2019). *Marktspiegel Energiemanagementsysteme*. Abgerufen von: <https://www.energieagentur.nrw/tool/ems-marktspiegel/>
- [10] Mechs, S., Lamparter, S., Peschke, J., Müller, J. (2013). Start-Stopp-Automatik für Nicht-Produktivphasen. *atp magazin*, 55(06), (pp. 32-39). Abgerufen von: [http://ojs.di-verlag.de/index.php/atp\\_edition/article/view/2200](http://ojs.di-verlag.de/index.php/atp_edition/article/view/2200)
- [11] Meyer, H., Plössnig, J., Weißenberger, B., Vogel-Heuser, B. (2013). Steigerung der Anlageneffizienz durch modellbasiertes Lastmanagement. In: *Tagungsband Automation, 13. Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik* (pp. 327–332), Baden-Baden, 2013.
- [12] Christiansen, L., Linnenberg, T., Fay, A., Seitz, C., & Müller, A. (2013). Energieeffizienz in der Fertigung bewerten. *atp magazin*, 55(07-08), (pp.70-77). Abgerufen von: [http://ojs.di-verlag.de/index.php/atp\\_edition/article/view/2207](http://ojs.di-verlag.de/index.php/atp_edition/article/view/2207)
- [13] VDI/VDE 3682. (2005). *Formalisierte Prozessbeschreibungen*. VDI: [www.vdi.de](http://www.vdi.de)
- [14] Innovationsallianz Green Carbody Technologies InnoCaT. (2014). *Ergebnisse: Innovationsallianz Green Carbody Technologies - InnoCaT*. Abgerufen von: <http://www.greencarbody.de/csdata/epaper/1/de/5092697ae50e3/>.
- [15] Wolff, D., Hundt, L. Dreher, S. (2013). Requirements on the engineering of advanced standby strategies in automobile production. In *Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing*, (pp. 165–170), Berlin, 2013. <http://dx.doi.org/10.14279/depositononce-4665>
- [16] Weinert, N., Mose, C. (2014). Investigation of advanced energy saving stand by strategies for production systems. *Procedia Cirp*, 15, (pp. 90-95).
- [17] Bartsch, M., & Niemann, K. (2016). Energie- und Lastmanagement in Automatisierungssystemen. *atp magazin*, 58(11), (pp. 46-54). Abgerufen von: [http://ojs.di-verlag.de/index.php/atp\\_edition/article/view/2321](http://ojs.di-verlag.de/index.php/atp_edition/article/view/2321)
- [18] PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (PNO). (2017). *GSDML Specification for PROFINET IO Version 2.34*. Abgerufen von: [https://www.profibus.com/download/gsdml-specification-for-profinet/?return\\_url=download%2F](https://www.profibus.com/download/gsdml-specification-for-profinet/?return_url=download%2F)

- [19] PLCopen: Technical Paper PLCopen Technical Committee 6. (2009). *XML Formats for IEC 61131-3, Version 2.01 - Official Release*. Abgerufen von: [http://www.plcopen.org/pages/tc6\\_xml/specifications/](http://www.plcopen.org/pages/tc6_xml/specifications/)
- [20] DIN EN 61131-3. (2014). Speicherprogrammierbare Steuerungen – Teil 3: Programmiersprachen. DIN: www.beuth.de
- [21] Jamro, M. (2014). Automatic generation of implementation in SysML-based model-driven development for IEC 61131-3 control software. In *2014 19th international conference on methods and models in automation and robotics (mmar)* (pp. 468-473). IEEE.
- [22] Vogel-Heuser, B., Witsch, D., Katzke, U. (2005). Automatic code generation from a UML model to IEC 61131-3 and system configuration tools. In *2005 International Conference on Control and Automation* (Vol. 2, pp. 1034-1039). IEEE.
- [23] Schumacher, F. (2013). *Automatische Generierung von IEC 61131-3 Steuerungscode aus einer GRAFCET-Spezifikation*. Dissertation, Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr, Hamburg. Abgerufen von: [http://edoc.sub.uni-hamburg.de/hsu/volltexte/2013/3033/pdf/2013\\_Schumacher.pdf](http://edoc.sub.uni-hamburg.de/hsu/volltexte/2013/3033/pdf/2013_Schumacher.pdf).
- [24] Frey, G., Schmidt, A. (2000). Automatische Erzeugung von SPS-Programmen aus Petrinetzen. *Tagungsband der Fachtagung Verteilte Automatisierung*, (pp. 177-184).
- [25] Drath, R., Fay, A., Schmidberger, T. (2006). Computer-aided design and implementation of interlock control code. In *2006 IEEE Conference on Computer Aided Control System Design, 2006 IEEE International Conference on Control Applications, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Control* (pp. 2653-2658). IEEE.
- [26] Gemein, F., Aicher, T., Vogel-Heuser, B., Brunner, B. (2018). Einsatz von Software-Modulen zur automatischen Erstellung der Steuerungssoftware von chargenorientierten verfahrenstechnischen Anlagen kleiner und mittlerer Größe. In *15. Fachtagung EKA – Entwurf komplexer Automatisierungssysteme (EKA)*.
- [27] Würger, A., Niemann, K.-H. Fay, A. (2018). Automatische Codegenerierung für Automatisierungssysteme in Energiemanagementanwendungen. In: *Tagungsband Automation, 18. Leitkongress Mess- und Automatisierungstechnik*, (pp. 959–971), Baden-Baden, 2018.
- [28] Würger, A., Niemann, K.-H. Fay, A. (2018). Modellierung von Informationen für das Energiemanagement automatisierungstechnischer Anlagen. In: *15. Fachtagung EKA – Entwurf komplexer Automatisierungssysteme (EKA)*.
- [29] AutomationML consortium. (2014). *AutomationML Whitepaper Communication*. Abgerufen von: [https://www.automationml.org/o.red/uploads/dateien/1459418220-AutomationML%20Whitepaper%20-%20AutomationML%20Communication%20v1\\_Sept2014.pdf](https://www.automationml.org/o.red/uploads/dateien/1459418220-AutomationML%20Whitepaper%20-%20AutomationML%20Communication%20v1_Sept2014.pdf)
- [30] AutomationML consortium. (2016). *Application Recommendations: Automation Project Configuration*. Abgerufen von: [https://www.automationml.org/o.red/uploads/dateien/1461747585-AutomationML%20AR%20-%20Automation%20Project%20Configuration\\_Apr2016.pdf](https://www.automationml.org/o.red/uploads/dateien/1461747585-AutomationML%20AR%20-%20Automation%20Project%20Configuration_Apr2016.pdf)
- [31] Drath, R. (Ed.). (2009). *Datenaustausch in der Anlagenplanung mit AutomationML: Integration von CAEX, PLCopen XML und COLLADA*. Springer-Verlag.
- [32] 3S-Smart Software Solutions GmbH. (2018). *CODESYS V3, Installation und Erste Schritte, Version 11.0*. Abgerufen von: <https://de.codesys.com/download/download-center.html> (25.05.2018).
- [33] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). (2019). *Glossar der Plattform Industrie 4.0*. Abgerufen von: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Industrie40/Glossar/glossar.html>

## AUTOREN

Andreas Würger, M. Eng. (geb. 1989) ist seit 2017 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsprojekt „integriertes Anlagenengineering zur Erhöhung der Energieeffizienz IAE<sup>4</sup>“ an der Hochschule Hannover. Davor studierte er an der Hochschule Hannover den Bachelorstudiengang Elektro- und Informationstechnik sowie den Masterstudiengang Sensor- und Automatisierungstechnik. Vor und während seines Studiums war er bei der MARS GmbH in Verden beschäftigt, unter anderem als Auszubildender zum Elektroniker für Automatisierungstechnik sowie als Werksstudent.

### Kontakt

Hochschule Hannover  
 Fakultät I – Elektro- und Informationstechnik  
 Postfach 92 02 61  
 D-30441 Hannover  
 ☎ +49 (0) 511 92 96 12 40  
 @ Andreas.Wuerger@HS-Hannover.de

Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Niemann (geb. 1959) vertritt seit 2005 die Lehrgebiete Prozessinformatik und Automatisierungstechnik an der Hochschule Hannover. Von 2002 bis

2005 war er an der Fachhochschule Nordostniedersachsen für das Lehrgebiet Prozessdatenverarbeitung verantwortlich. Davor war er in leitender Stellung in der Entwicklung von Prozessleitsystemen tätig, unter anderem bei ABB, Elsas Bailey und Hartmann & Braun.

Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay (geb. 1970) ist Professor für Automatisierungstechnik an der Fakultät für Maschinenbau der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg. Sein Forschungsschwerpunkt sind Beschreibungsmittel, Methoden und Werkzeuge für ein effizientes Engineering von Automatisierungssystemen.

Michael Gienke, Dipl.-Inform., (geb. 1967) ist Leiter Entwicklung Prozessleitsysteme bei der ABB Automation GmbH in Minden. Seine Schwerpunkte sind die Integration von Feldgeräten und die Entwicklung von IO-Systemen für die Prozessleittechnik.

Martin Paulick, Dipl.-Inf. (FH), (geb. 1967) arbeitet seit 2004 als Produktmanager im Bereich System & Application AUTOMATION bei WAGO Kontakttechnik GmbH & Co.KG. Davor war er von 1993 bis 2004 als Entwickler und System Consultant für Automatisierungssysteme bei ABB tätig.