



METHODE FÜR EINE INTEGRALE DIGITALE REPRÄSENTATION DER TECHNISCHEN GEBÄUDEAUSRÜSTUNG MIT SCHWERPUNKT AUF DER BESCHREIBUNG DER REGELUNG

Moritz Ihlenburg, Gesa Benndorf, Nicolas Réhault

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, Deutschland,

E-Mail: moritz.ihlenburg@ise.fraunhofer.de

Kurzfassung

Die energetische Betriebsoptimierung gebäudetechnischer Anlagen spielt eine zentrale Rolle bei der Erreichung der Klimaziele. Derzeit ist eine energetische Betriebsoptimierung jedoch oft mit hohem manuellem Aufwand verbunden, da die hierfür benötigten Informationen über die technische Gebäudeausrüstung oftmals über verschiedene Domänen und Akteure verteilt und in nicht-digitaler Form vorliegen. Im Projekt EnergieDigital wird deshalb eine Methodik für eine integrale, digitale Beschreibung der TGA entwickelt, die wir in diesem Beitrag vorstellen und dabei den Fokus auf die vollständige, digitale Repräsentation der Regelung innerhalb des Gesamtansatzes legen. Dabei werden die Regelungsfunktionen nach dem Standard IEC 61131-3 beschrieben und über die PLCont-Ontologie mit der Regelungstopologie aus Aktoren, Sensoren und Reglern verknüpft. Dazu zeigen wir Ansätze auf, die eine Überführung der Informationen aus der Gebäudeautomationsplanung in die digitale Repräsentation der Regelung unterstützen sollen.

Einleitung

Die deutsche Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt bis zum Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen (BMWi, 2015). Neben der Nutzung erneuerbarer Energiequellen ist die Betriebsüberwachung und -optimierung zur Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden ein zentraler Punkt zum Erreichen dieser Ziele. Derzeit ist eine energetische Betriebsoptimierung jedoch mit hohem manuellem Aufwand verbunden, da die hierfür benötigten Informationen über die technische Gebäudeausrüstung (TGA) oftmals über verschiedene Domänen und Akteure verteilt und in nicht-digitaler Form vorliegen. In dem Projekt EnergieDigital wurde eine Methode für eine integrale, digitale Beschreibung der TGA entwickelt, welche BIM-Informationen (Building Information Modelling) und gängige Datenformate aus einzelnen Domänen nutzt und über einen eindeutigen Anlagenkennzeichnungs-schlüssel (AKS) verknüpft. Im Kern verfolgt die Methode den folgenden Ansatz:

Die Geometrie und technische Eigenschaften der Komponenten werden in IFC gespeichert. Die in IFC implizit enthaltene topologische Verknüpfung der Anlagen wird mit Semantic Web Technologien (SWT) beschrieben und explizit in einem RDF-Format gespeichert (TUBES-System Ontology). (Pauen et al., 2021). In ähnlicher Weise werden die im Automationsschema implizit und nicht maschinen-lesbar gespeicherten logischen Verknüpfungen zwischen Sensoren, Reglern und Aktoren explizit in einem RDF-Format gespeichert. Die Funktionen zur Regelung der Anlage werden in einer nach IEC 61131-3 standardisierten Programmiersprache beschrieben und mit der Regelungstopologie verlinkt. Die Verknüpfung erfolgt durch die PLCont-Ontologie (PLC: Programmable Logic Controller) (Ihlenburg et al., 2020). Die Messdaten aus den Automationssystemen werden in einer hdf5-Datenbank abgelegt und mit einem eindeutigen Datenpunktbezeichner versehen. Die Gesamtheit aller in diesem Ansatz verwendeten Datenmodelle und Datenbanken stellt die digitale Repräsentation der Anlage dar. Eine schematische Übersicht des entwickelten Ansatzes ist in Abbildung 1 dargestellt.

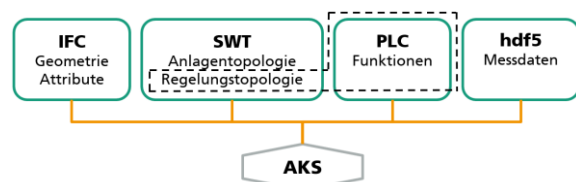


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Gesamtansatzes einer integralen, digitalen Beschreibung der TGA.

In diesem Beitrag liegt der Fokus auf der vollständigen, digitalen Beschreibung von Regelungen gebäudetechnischer Anlagen innerhalb des Gesamtansatzes (eingeraht in Abbildung 1). Wir präsentieren die Weiterentwicklungen der in Ihlenburg et al., 2020 beschriebenen Methode und schlagen außerdem Ansätze vor, welche die Überführung der Informationen aus der Gebäudeautomationsplanung in die digitale Repräsentation der Regelung unterstützen sollen. Dadurch kann der manuelle Aufwand bei der Erstellung reduziert werden, was aus unserer Sicht

einen wichtigen Aspekt bei einer Verwendung der Methode in der Praxis darstellt. Wir zeigen anhand eines Anwendungsbeispiels die Verwendung der entwickelten Methoden und die Einbindung und Visualisierung der digitalen Repräsentation der Regelung innerhalb des Gesamtkonzepts.

Methodik

In diesem Abschnitt legen wir die Methode zur digitalen Repräsentation von Regelungen gebäudetechnischer Anlagen dar. Die digitale Abbildung der Regelungsfunktionen soll dem IEC-Standard 61131-3 (John et al., 2009) folgen, um nah an der realen Implementierung in der Gebäudeautomation (GA) zu sein und somit zusätzliche Konvertierungsprozesse zu vermeiden. Dafür werden die auf den Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) nach dem IEC-Standard 61131-3 implementierten Funktionen als XML-Dokument standardisiert exportiert und anschließend mit der Regelungstopologie verknüpft.

Die Beschreibung der Sensoren, Aktoren und Regler in der Regelungstopologie erfolgt mit Elementen existierender Ontologien (SOSA, SEAS, CTRLont). (Haller et al., 2017, Lefrancois et al., 2017, Schneider, 2019) Die von den Autoren entwickelte PLCont-Ontologie ermöglicht es, die Regelungsfunktionen mit den Elementen der Regelungstopologie zu verknüpfen. In Abbildung 2 sind die verwendeten Klassen und deren Beziehungen schematisch dargestellt. Die `plc:PLCCode`-Klasse repräsentiert die implementierten Regelungsfunktionen und ist damit die zentrale Klasse. Davon ausgehend werden Regler mit den Inputsignalen der Sensoren und Outputsignalen der Aktoren verbunden. Des Weiteren können Parameterwerte mit Elementen der

PLCont-Ontologie beschrieben werden. Die Darstellung der Regelungsfunktionen erfolgt in drei verschiedenen Formaten (`plc:XML`, `plc:FBD`, `plc:ST`), die weiter unten näher beschrieben werden. Die jeweiligen Dokumente, welche die Darstellungen beschreiben, werden über eine Pfadangabe in der Ontologie referenziert.

Prozess zur Erstellung der digitalen Repräsentation der Regelung

Um die hier vorgestellte digitale Regelungsbeschreibung in der Praxis einsetzen zu können, haben wir Methoden entwickelt, um die Informationen aus bestehenden Prozessen möglichst effizient in die digitale Repräsentation zu überführen. Wir zeigen daher im folgenden Abschnitt Ansätze für eine teilautomatisierte Überführung der Informationen aus der GA-Planung in die digitale Repräsentation auf. Als Grundlage werden die in der VDI-Richtlinie 3814 (Verein Deutscher Ingenieure, 2020) beschriebenen Methoden und Arbeitsmittel für Planung, Ausführung und Übergabe verwendet. Während der Planung der Gebäudeautomation werden zunächst ein Anlagenschema und Funktionslisten nach der VDI 3814 erstellt. Die Funktionsbeschreibung wird meist in Textform erstellt und als PDF gespeichert. Diese textuelle Beschreibung, welche oft ohne standardisierte Vorgaben erstellt wird, dient dann zusammen mit der Funktionsliste als Vorlage für die Programmierung der SPS und damit der Regelung der Anlage. Die Implementierung erfolgt nach dem IEC-Standard 61131-3, in dem fünf Programmiersprachen festgelegt sind. Hiervon werden die text-basierte Sprache Strukturierter Text (ST) und die grafische Programmiersprache Funktionsblockdiagramm (FBD) in der Praxis am häufigsten verwendet.

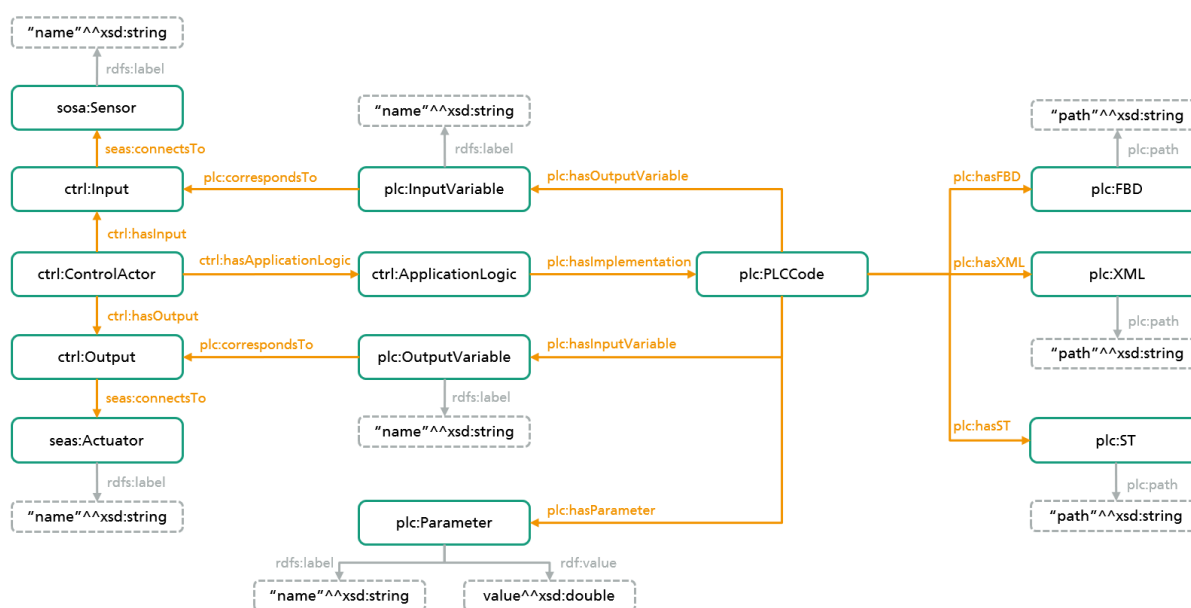


Abbildung 2: Klassen und Beziehungen der digitalen Repräsentation einer Regelung mit der PLCont-Ontologie als Bindeglied zwischen Regelungstopologie und Regelungsfunktionen

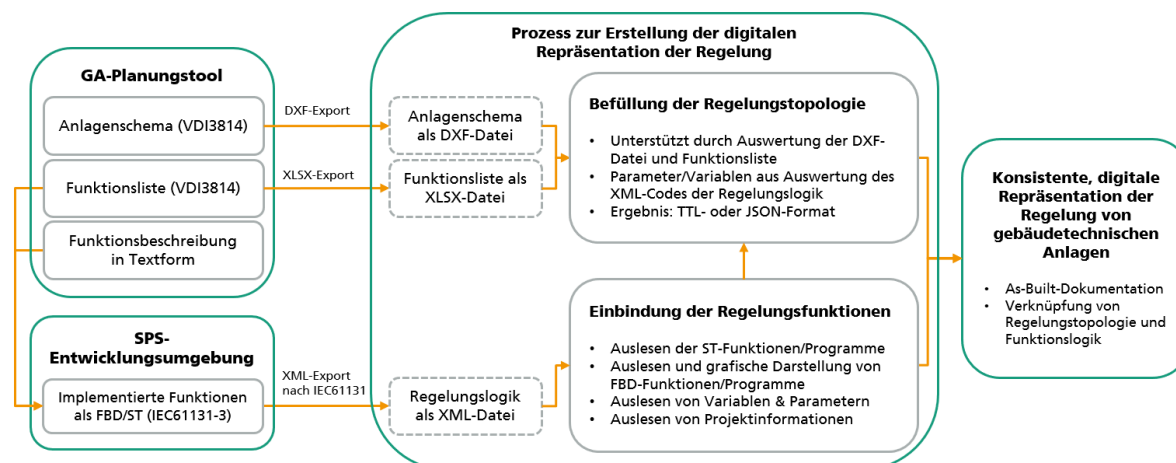


Abbildung 3: Prozess zur Überführung der Informationen aus der GA-Planung nach VDI 3814 in eine digitale Regelungsrepräsentation

In Abbildung 3 sind die Informationen und Dokumente, die während der Planung der Gebäudeautomation und Programmierung der SPS entstehen, auf der linken Seite dargestellt. Der Prozess zur Erstellung der digitalen Repräsentation der Regelung ist in der Mitte der Abbildung zu sehen und wird im Folgenden beschrieben. Der Prozess lässt sich grob in zwei Teile gliedern: die Befüllung der Regelungstopologie und die Einbindung der Regelungsfunktionen.

Befüllung der Regelungstopologie

Als Grundlage für die Erstellung der Regelungstopologie dienen das Anlagenschema und die Funktionsliste. Das Anlagenschema wird in der Regel in einem GA-Planungstool mit CAD-Funktionalitäten erstellt und anschließend als PDF gespeichert. Zusätzlich ist es auch möglich einen DXF-Export (Drawing Interchange Format) des Anlagenschemas durchzuführen. Dabei handelt es sich um ein Format zum Austausch von CAD-Zeichnungsdateien zwischen verschiedenen Programmen, welches entweder in Binär- oder ASCII-Darstellung vorliegt. Ziel ist es, semantische Informationen über Regler, Sensoren und Aktoren sowie deren Verbindungen zueinander aus der DXF-Datei des Anlagenschemas zu gewinnen. Auch wenn das Format an sich nicht für diese Anwendung gedacht ist, stellt es aktuell neben dem DWG-Format die einzige Möglichkeit dar, das Anlagenschema in einem maschinenlesbaren Format zu exportieren. Ein Anlagenschema wird in der Regel aus einzelnen, bereits existierenden Blöcken zusammengesetzt, welche die Komponenten repräsentieren. Diese Komponenten-Blöcke und deren Verbindungslinien lassen sich in dem DXF-Export des Schemas wiederfinden mit Informationen über den im CAD-Programm vergebenen Namen der Komponente, die eindeutigen Kennzeichnungen und die Endpunkte aller einzelnen Linien. Über einen Abgleich der Koordinaten der Endpunkten können semantische

Informationen über die Komponenten ausgelesen werden.

Die Funktionsliste wird als XLS(X)-Datei importiert und kann weitere Informationen über die Sensoren und Aktoren liefern. Die Zuordnung kann über eine Bezeichnung in der DXF-Datei erfolgen.

Als Beispiel wurde eine Beispieldatei der GA-Software TRIC® V8, ein Anlagenschema einer Klimaanlage, verwendet (siehe Abbildung 4). Die Sensoren und Aktoren sind mit einer Nummer, die Regler fast alle mit einem Namen gekennzeichnet. Die Blöcke der Sensoren und Aktoren beinhalten zusätzlich die türkis gestrichelten Verbindungslinien zur Reglerstruktur inklusive der Pfeilspitzen. Die Blöcke der Regler umfassen die jeweiligen Input- und Outputlinien und -pfeile.

Für das vorliegende Beispiel war es möglich alle zehn Regler, alle sechs Sensoren und alle vier Aktoren als Blöcke zu erkennen. Zusätzlich konnten allen bis auf zwei Aktor- und Sensorblöcken die zugehörigen Informationen aus der Funktionsliste über die Nummer zugeordnet werden. Von den Verbindungen werden circa die Hälfte erkannt. Verbindungen werden dann nicht erkannt, wenn es keine gemeinsamen Endpunkte zwischen zwei Elementen gibt. Dies kann unter anderem folgende Gründe haben:

- Die Mitte der flachen Seite einer Pfeilspitze ist kein Eckpunkt. Setzt dort eine Verbindung an, wird sie nicht erkannt.
- Bei Verzweigungen setzt eine Linie in der Regel in der Mitte einer anderen Linie an.
- Eckpunkte von Linien liegen teilweise leicht versetzt zueinander.

Im unteren Abschnitt von Abbildung 4 sind diese drei Fehlerquellen visualisiert, indem die Endpunkte der jeweiligen Objekte durch unterschiedliche Farben markiert sind.

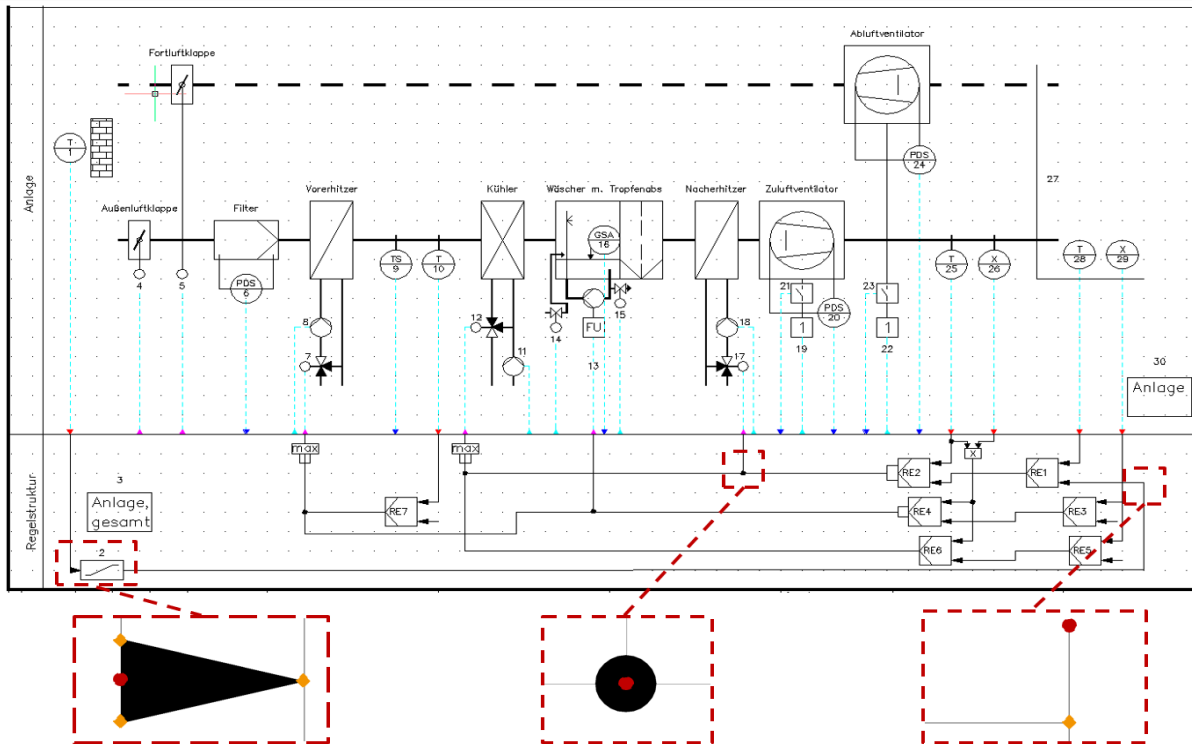


Abbildung 4: Anlagenschema einer raumlufttechnischen Anlage aus einem VDI 3814-konformen GA-Planungstool. Im unteren Abschnitt sind Fehlerquellen der Erkennung von Verbindungen visualisiert, indem die jeweiligen Eckpunkte, die nicht aufeinander liegen, farblich markiert sind.

Einbindung der Regelungsfunktionen

Zur Einbindung der Regelungslogik in das digitale Datenmodell wird der in der IEC 61131-3 standardisierte XML-Export der SPS-Funktionen verwendet. Dieser soll einen Austausch zwischen Entwicklungsumgebungen verschiedener Hersteller ermöglichen und eignet sich daher gut als herstellerunabhängige Repräsentation der vollständigen Regelungsfunktionen in der digitalen Regelungsbeschreibung. Über die PLCOnt-Ontologie wird das XML-Dokument direkt mit den Sensoren, Aktoren und Reglern in der Regelungstopologie verknüpft. Ein Ziel des vorgestellten Ansatzes ist es, einen einfachen und übersichtlichen Zugang zu den SPS-Funktionen zu ermöglichen. Da diese Dateien gerade für komplexe Regelungen schnell sehr groß und unübersichtlich werden können, sind sie jedoch häufig ungeeignet, um einem Anwender schnell einen Überblick über die implementierten Regelungsfunktionen zu verschaffen. Aus unserer Sicht eignen sich dazu Darstellungen, die ähnlich zu den gewohnten Ansichten in einer SPS-Entwicklungsumgebung sind. Um diese auch außerhalb einer solchen Programmierumgebung darstellen zu können, wird das XML-Dokument als Teil des in Abbildung 3 abgebildeten Prozesses analysiert und die Regelungsfunktionen visualisiert. Aktuell kann der Funktionscode in zwei Varianten dargestellt werden, je nachdem in welcher

Programmiersprache die ursprüngliche Implementierung auf der SPS erfolgt ist. Bei einer Programmierung mit der grafischen FBD-Sprache können die Informationen zu den einzelnen Funktionsblöcken und Eingangs- beziehungsweise Ausgangsvariablen im JSON-Format gespeichert werden. Auf Grundlage dieser Datei kann anschließend eine interaktive Grafik der Funktionslogik erstellt werden. In Abbildung 5 ist dieser Prozess beispielhaft für eine stark vereinfachte Variante einer Zulufttemperaturregelung einer Klimaanlage dargestellt.

Programmabschnitte im ST-Format und Parameterwerte können ebenso ausgelesen und im JSON-Format gespeichert werden. So ist es zum Beispiel möglich, ST-Programmabschnitte als Text in die interaktive Darstellung der Regelungsfunktionen zu integrieren. In dem Beispiel kann die Implementierung des calcTsupSev_fbd-Funktionsblocks durch Halten des Mauszeigers über dem Block angezeigt werden.

Integration der digitalen Repräsentation der Regelung in Gesamtansatz

Die vorgestellte Methode der digitalen Repräsentation der Regelung wurde im Rahmen des Projekts EnergieDigital in ein durch unseren Projektpartner vom E3D-Lehrstuhl der RWTH Aachen entwickeltes Web-Interface integriert, von dem ein Ausschnitt in Abbildung 6 zu sehen ist (Schlütter et al, 2022).

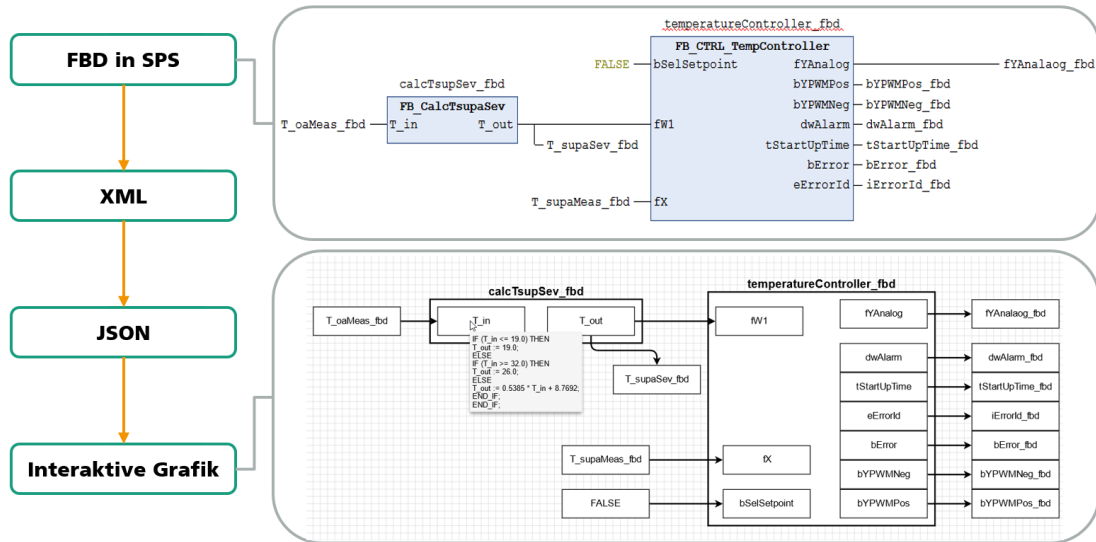


Abbildung 5: Prozessdarstellung der Überführung eines SPS-Programms in der FBD-Sprache in eine interaktive Grafik am Beispiel einer stark vereinfachten Zulufttemperaturregelung

Managements stark vereinfachen – gerade dann, wenn es sich um eine unbekannte Anlage handelt.

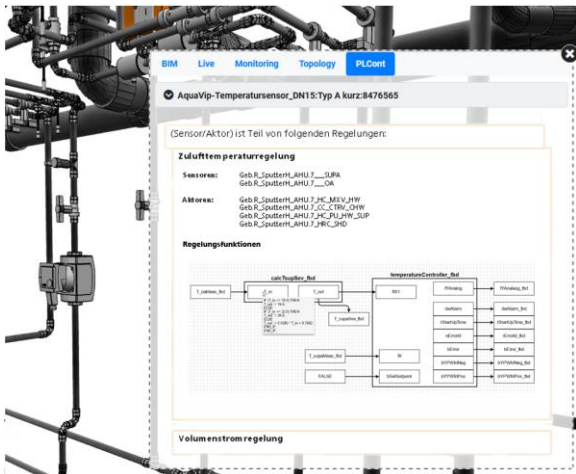


Abbildung 6: Darstellung der Reglungsfunktionen im Web-Interface

Die 3D-Übersicht ermöglicht einen Überblick über den Aufbau der Anlage. Zusätzliche Informationen, wie z.B. Live-Messdaten oder Anlagen- bzw. Regelungstopologieinformationen, können durch Klicken auf die Komponente angezeigt werden. Handelt es sich dabei um einen Sensor oder Aktor, der an einer Regelung beteiligt ist, so werden alle weiteren Komponenten des Regelkreises sowie die grafische Darstellung der Reglungsfunktionen angezeigt. Lassen sich zum Beispiel aus den Live-Daten eines Sensors Rückschlüsse auf eine fehlerhafte Regelung schließen, so kann man sich schnell eine Übersicht über die an dem Regelkreis beteiligten Komponenten und über die implementierten Reglungsfunktionen machen und somit Anomalien erkennen und diagnostizieren. Darüber hinaus ist es möglich, Parameter der Regelung wie zum Beispiel Grenz- oder Sollwerte anzuzeigen. Dieser Prozess kann eine Fehlersuche im Bereich des Facility

Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Paper beschreiben wir eine Methode für eine vollständige digitale Repräsentation von Regelungen gebäudetechnischer Anlagen als Teil eines integralen Gesamtansatzes einer digitalen Repräsentation der TGA. Die Regelungstopologie wird dabei mit Semantic Web Technologien abgebildet, während die Reglungsfunktionen in einer nach IEC 61131-3 standardisierten Programmiersprache beschrieben werden. Die von den Autoren entwickelte PLCont-Ontologie ermöglicht eine Verknüpfung der Topologie und der Funktionen. Es wird außerdem ein zweiteiliger Prozess eingeführt, der auf eine teilautomatisierte Überführung der Informationen aus der GA-Planung in die digitale Repräsentation abzielt.

Der Prozess zur Befüllung der Regelungstopologie beruht auf einer teilautomatisierten Erkennung der Sensoren, Aktoren, Regler und deren Verbindungen aus einem DXF-Export eines Automationsschemas nach VDI 3814. Es wird gezeigt, dass es über einen Abgleich von Koordinaten möglich ist, Verbindungen zwischen den Komponenten auszulesen. Gleichzeitig werden Probleme aufgezeigt, wenn zwei Blöcke keine gemeinsamen Punkte haben. Diese Probleme könnten umgangen werden, wenn es für alle Eckpunkte der Blöcke und Linien festgelegte Andockpunkte für weitere Elemente gäbe, deren Koordinaten in der DXF-Datei spezifiziert sind und somit eine Zuordnung erlauben. In der Praxis werden die Regelungskreise von Anlagen oft nicht detailliert nach der VDI 3814 geplant und der Abschnitt „Reglerstruktur“ im Automationsschema nicht befüllt. In diesem Fall kann die Erstellung der Regelungstopologie nicht mit dem vorgestellten

Verfahren automatisiert werden, sondern muss vollständig manuell erfolgen. Außerdem können je nach GA-Planungstool unterschiedliche Probleme bei der Erkennung der Blöcke und Verbindungen auftreten. Daher ist eine vollständig automatische Erstellung der Regelungstopologie für alle denkbaren Anwendungsfälle bisher schwierig. Der gezeigte Ansatz kann eine Nutzerin jedoch bei der Erstellung der digitalen Beschreibung unterstützen. Denkbar ist eine Benutzeroberfläche, bei der eine Anwenderin die automatisch gefundenen Verbindungen angezeigt bekommt und diese durch manuelle Eingaben ergänzt. Die digitale Repräsentation der Regelung mit den oben beschriebenen Klassen und Beziehungen kann dann automatisch aus den identifizierten und eingegebenen Verbindungen der Elemente erstellt werden. Für die Befüllung der Regelungstopologie sind auch alternative Ansätze denkbar, die beispielsweise auf einer digitalen Erfassung von Automations schemata, die als PDF oder als Bild-Datei vorliegen, mittels OCR-Techniken beruhen. Für die Zukunft ist es erstrebenswert, dass keiner der Zwischenschritte mehr notwendig ist. Stattdessen sollen in Zusammenarbeit mit Herstellern von GA-Planungstools Schnittstellen geschaffen werden, die einen direkten Export der Planungsinformationen in die digitale Repräsentation ermöglichen.

Der zweite vorgestellte Prozess ermöglicht eine Einbindung der Regelungsfunktionen in die digitale Repräsentation der Regelung. Die Funktionen können grafisch oder in Textform dargestellt werden und über Elemente der PLC-Cont-Ontologie mit der Regelungstopologie verknüpft werden. Die Grundlage für die Repräsentation der Regelungsfunktionen ist der standardisierte XML-Export. Nach der Programmierung der SPS oder einer Änderung kann ein neuer XML-Export durchgeführt werden. Darauf basierend können die Darstellungen der Regelungsfunktionen oder Werte der Regelungsparameter erstellt oder aktualisiert werden. Dieser Prozess kann weitgehend automatisch ablaufen und der Aufwand bei der Erstellung bzw. Aktualisierung der Repräsentation der Regelung wird im Vergleich zur manuellen Erstellung stark reduziert. Die Funktionen können außerdem in einem interaktiven Schema abgebildet werden. Dadurch ergibt sich eine SPS-nahe, herstellerunabhängige as-built-Abbildung der Regelungsfunktionen außerhalb der SPS.

Die hier vorgestellte digitale Repräsentation von Regelungen ermöglicht eine transparente Darstellung der in der GA programmierten Funktionen und eine Prüfung dieser Funktionen anhand von Messdaten. Zukünftig soll sie als graphische Benutzeroberfläche in ein interaktives Anlagenschema eingebunden werden, welches sowohl die Anlagen- als auch die Regelungstopologie sowie Regelungsfunktionen abbildet und digital verknüpft und somit Prozesse der

energetischen Betriebsoptimierung von Gebäuden unterstützen kann.

Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Projekts Energie.Digital durchgeführt, welches beim Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter der Kennzeichnung 03ET1611 gefördert wird. Die Autoren möchten der RWTH Aachen und Viega GmbH & Co. KG für ihren Beitrag am Projekt danken.

Literatur

- BMW, 2015. Energieeffizienzstrategie Gebäude – Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand
- Haller, A., Janowicz, K., Cox, S., Le Phuoc, D., and Taylor, Kerry, Lefrancois, M., 2017. Semantic Sensor Network Ontology, URL <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn/>.
- Ihlenburg, M., Rist, T., Benndorf, G. & Réhault, N., 2020. A hybrid method for an integral function description of building services, Proceedings of BauSIM 2020 - 8th Conference of IBPSA Germany and Austria
- John, K.-H. and Tiegelkamp, M., 2009. Die Programmiersprachen der IEC 61131-3 . In Tiegelkamp, M. and John, K. H., editors, SPS-Programmierung mit IEC 61131-3, pages 103–211. doi: 10.1007/978-3-642-00269-4 4
- Lefrancois, M., Kalaoja, J., Ghariani, T., and Zimmermann, A., 2017. D2.2 seas knowledge model. Technical report, ITEA 2
- Pauen, N., Schlütter, D., Frisch, J. & van Treeck, C., 2021. TUBES System Ontology: Digitalization of building service systems, Proceedings of the 9th Linked Data in Architecture and Construction Workshop
- Schlütter, D.; Ihlenburg, M.; Zbocna, M.; Pauen, N.; Benndorf, G.; Rehault, N.; Röcher, J.; van Treeck, C., 2022. BIM-Methoden für die Integration der Planung in den Betrieb, HLH, 01-02, 54-58. <https://doi.org/10.37544/1436-5103-2022-01-02-54>
- Schneider, G., 2019. Semantic Modelling of Control Logic in Automation Systems. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie
- Verein Deutscher Ingenieure , 2020. VDI 3814 – Blatt 4.3, Gebäudeautomation (GA) Methoden und Arbeitsmittel für Planung, Ausführung und Übergabe, GA-Automations schema, GA-Funktionsliste. GA-Funktionsbeschreibung