

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN  
BEREICH INGENIEURWISSENSCHAFTEN  
FAKULTÄT INFORMATIK  
INSTITUT FÜR ANGEWANDTE INFORMATIK  
PROFESSUR PROZESSKOMMUNIKATION

KURZFASSUNG  
ZUR DISSERTATIONSSCHRIFT

**Infrastruktur für den Online-Zugriff  
auf prozesstechnische Apparate  
ohne dedizierte Kommunikationsanschaltung**

vorgelegt von

**Dipl.-Ing. Stefan Theurich**

geboren am 27. Juli 1983 in Erfurt

zum Erlangen des akademischen Grades

**Doktoringenieur**

(Dr.-Ing.)

eingereicht am

17. Dezember 2015

betreut durch

Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wollschlaeger

## **Zusammenfassung**

Der Betrieb von prozesstechnischen Produktionsanlagen wird stetig von verschiedenen Aufgaben begleitet, zum Beispiel der Steuerung und Optimierung der Produktion und der Aufrechterhaltung der Verfügbarkeit. Alle Gewerke, die sich mit dem Zustand der Anlage und des darin ablaufenden Prozesses beschäftigen, sind auf Daten angewiesen, die in der Anlage erfasst werden. Ein Großteil dieser Daten werden für die automatische Steuerungs-, Regelungs- und Sicherheitstechnik erfasst und darin in Echtzeit verarbeitet. Apparate und anderes Equipment sind zumeist nicht mit für deren Zustandsüberwachung dedizierter Messtechnik ausgestattet. Um Qualitätsmerkmale, Anlagenzustände oder Wartungsbedarfe erkennen zu können, müssen andere in der Anlage vorhandene Daten kombiniert und in Berechnungsmodellen kondensiert werden. Diese Methodik teilt sich in unterschiedliche Schritte auf: Datenakquise, Entwurf von Auswertemodellen, Modellintegration und Auswertung von Ergebnissen mit Ableitung von Aufgaben.

Die vorliegende Arbeit ordnet sich in die Softwareaspekte dieser Methodik ein. Dabei versucht sie, die zentrale Frage „Wie könnte eine Infrastruktur auf Basis von verbreiteten Standardtechnologien aussehen, welche alle Schritte des Engineeringprozesses für freie Apparatemodelle automatisieren kann?“ anhand eines Vorschlags für eine Infrastruktur zu beantworten.

Es wird eine Möglichkeit dargelegt, im Betrieb ohne Änderungen am bestehenden System kontinuierlich Daten für die Weiterverwendung in Apparatemodellen auszulesen. Der Entwurf und die Implementierung von Auswertemodellen wurde mit Hilfe eines entwickelten Werkzeugs unterstützt und dadurch die Struktur der Apparatemodelle vorgegeben, um eine einheitliche Modellintegration zu ermöglichen. Die Durchführung der Modellintegration erfolgte über die automatische Auswertung von Planungsdaten. Eine auf offenen Technologien basierende Ausführungsplattform für die Bewertungsmodelle wurde implementiert. Die Auswertung von Berechnungsergebnissen wurde über die Integration der Modelle in verbreitete, für Feldgeräte vorgesehene Standardwerkzeuge ermöglicht. Diese Infrastruktur ermöglicht es den verschiedenen Gewerken des Anlagenbetreibers, generische Bewertungsmodelle auf die Apparateinstanzen in der Anlage anzuwenden, und mit deren Berechnungsergebnissen ihre Aufgaben einfacher oder besser bearbeiten zu können.

Nach einer Analyse der technischen Rahmenbedingungen wurde ein Konzept zur Modellintegration entwickelt und dessen Automatisierbarkeit diskutiert. Dieses Konzept wurde prototypisch umgesetzt. Es wurden Softwarekomponenten für den Betrieb sowie Softwarewerkzeuge für die Unterstützung sowohl der Erstellung als auch der Integration von Apparatemodellen entwickelt. Anhand dieser wurde Umsetzbarkeit des Konzepts überprüft.

# 1 Motivation

Eine prozesstechnische Anlage und ihr Prozess sind über die wenigen Schnittstellen der Mess-, Stell- und Regelungstechnik (MSR) mit dem Prozessleitsystem und der digitalen Anlage verbunden. Aufgrund der Größe und der Komplexität der Anlagen sowie der Anschaffungs-, Verwaltungs- und Wartungskosten der MSR-Technik werden diese Schnittstellen auch bewusst schlank gestaltet. Zustandsgrößen und Eigenschaften von Anlage und Prozess werden nicht nur direkt über Messverfahren bestimmt, sondern auch über physikalische und logische Zusammenhänge hergeleitet. Deswegen können Verfahrensoptimierung, Plant Asset Management, Condition Monitoring und weitere wertsteigernde Aufgaben nicht direkt auf alle Zustandsgrößen und Eigenschaften zugreifen, die für eine umfassende Bewertung notwendig wären. Aufgrund dieser schwachen Bindung von physischen Bestandteilen einer Anlage und deren digitaler Repräsentation leitete sich die in der Zusammenfassung gestellte Forschungsfrage ab.

Als eine mögliche Antwort wird in dieser Arbeit eine Infrastruktur skizziert, mit der in weitestgehend geschlossenen Systemen über eine geeignete Auswahl von Daten und Schnittstellen nicht von vornherein vorgesehene, aber wertsteigernde Funktionen implementiert und aufwandsarm integriert werden können. Dafür soll es möglich gemacht werden, Modelle zu entwickeln, die den Zustand des Apparates oder des darin ablaufenden Prozesses bewerten können. Die notwendigen Vorgänge sollen nicht in das Produktivsystem oder geschlossene Softwarekomponenten eingreifen und keinen Einfluss auf den sicheren und zuverlässigen Betrieb haben. Dabei sollen standardisierte Datenformate und standardisierte Schnittstellen verwendet werden, um die für die Modelle notwendigen Daten identifizieren und auslesen zu können. Anhand von Beispiel-Modellen und -Anlagendaten sollen Funktion und Skalierbarkeit der Infrastruktur überprüft werden. Eine Integration bzw. Integrierbarkeit der Berechnungsergebnisse in gewerkespezifische Werkzeuge soll die Verwendbarkeit der Ergebnisse nachweisen. Die Inhalte der Berechnungsmodelle sollen nicht Teil dieser Arbeit sein.

## 2 Technologien

Um das angestrebte Konzept zur Modellintegration umsetzen zu können, werden Informationen aus und über Anlagenstruktur, Automatisierungsstruktur und den verwendeten Automatisierungsgeräten benötigt. Aus einer großen Auswahl von konkurrierenden Technologien und Lösungen, die untersucht wurden, wurde eine Teilmenge für die Umsetzung ausgewählt. Zwei wesentliche von diesen werden im Folgenden vorgestellt.

### 2.1 Computer Aided Engineering eXchange

Der CAEX-Standard IEC 62424 [1] wurde 2008 veröffentlicht und stellt mit der Schema-version 2.15 ein offenes XML-Metamodell für den Austausch von Engineeringdaten zur Verfügung. Er erweitert das Modell aus [2] um Schnittstellenklassen und Instanzhierarchien. Das gegebene Metamodell lässt sich nach Belieben instanziierten, was sowohl Stärke (beliebige Verwendbarkeit) als auch Schwäche (Notwendigkeit der Festlegung der Semantik des Modells) darstellt.

Aufgrund der Struktur des Metamodells können Domänenmodelle und Instanzen teilweise auf Vollständigkeit und Korrektheit automatisch überprüft werden. Arbeiten hierzu wurden in [3] veröffentlicht.

## 2.2 Field Device Integration (FDI)

Aus dem Konzept der Trennung von Geräteinformationsmodell und dessen Darstellung [4] ging eine Initiative zur Vereinheitlichung der Integrationstechnologien hervor. Firmen, die die unterschiedlichen Vorgängertechnologien definiert und etabliert hatten, gründeten die *FDI-Corporation* und arbeiteten an der Harmonisierung der EDDL [5] und an internationalen Standards für die Festlegung der Informationsmodelle und Kommunikationsmechanismen (in IEC 62769-1 [6] und weiteren Teilen). Die sieben Teile der IEC 62769 behandeln die unterschiedlichen Aspekte und Komponenten von FDI. Zusätzlich gibt es noch FDI-Profile für die verschiedenen Kommunikationstechnologien wie PROFIBUS PA und Foundation Fieldbus (100er-Teile der IEC-Norm).

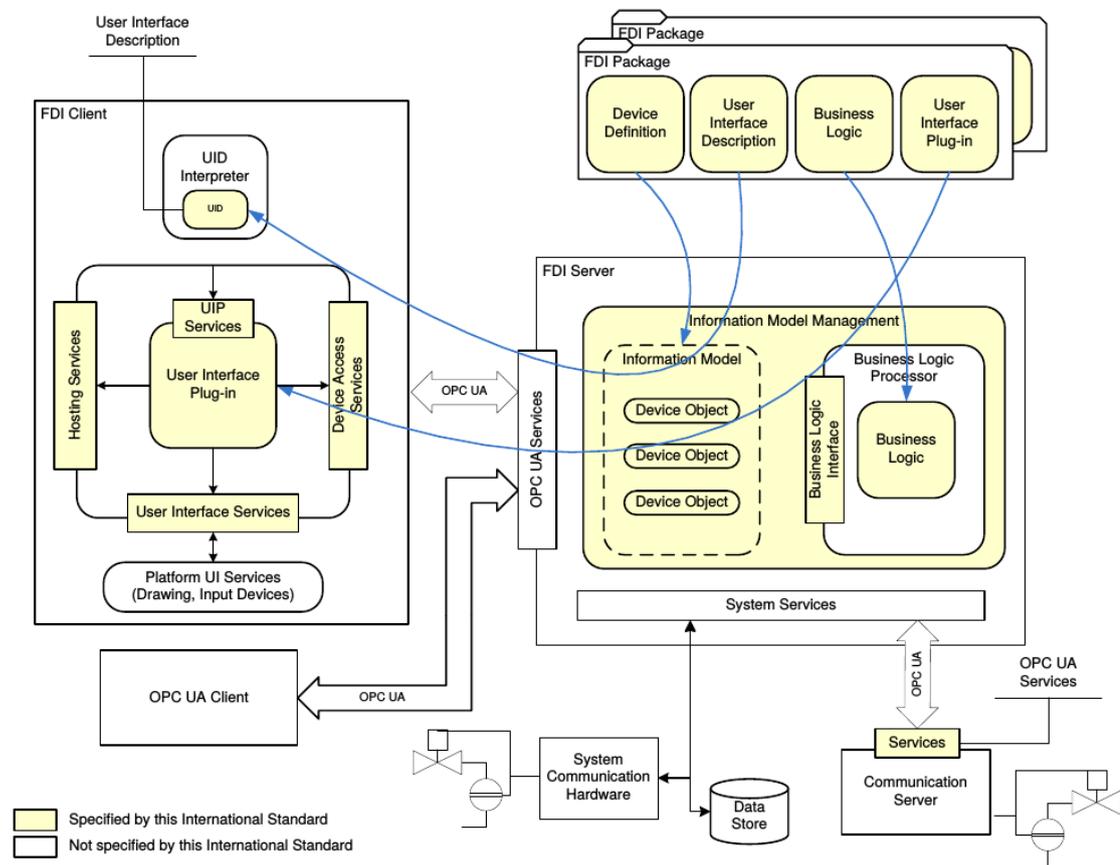


Abbildung 1: FDI-Architektur (aus [6, Fig. 1, S. 17])

FDI verspricht eine einheitliche Integration von Geräten auf einer einheitlichen technologischen Basis [5]. Das Informationsmodell ist als OPC UA-Modell notiert [7] und sollte auch über OPC UA zugreifbar sein [6]. Die zentrale Komponente ist der FDI Server. Er

hat Zugriff auf alle Feldgeräte über die zwei spezifizierten Zugriffsmethoden. Für jedes Gerät hält er ein Informationsmodell vor, welches mithilfe von Gerätebeschreibungen instanziiert wird. Es ist ein informationstechnischer Stellvertreter für das entsprechende Gerät. Das Informationsmodell basiert auf dem OPC UA DI-Informationsmodell [8]. Die Gerätebeschreibung folgt der harmonisierten EDDL [9]. Je nach Nutzeraktion und gemäß der Regeln in der *Business Logic* von Server und Gerätebeschreibung wird mit dem Gerät kommuniziert und die Daten im Informationsmodell mit denen im Gerät synchronisiert. Der FDI Client stellt dem Nutzer das Informationsmodell mithilfe von per EDDL beschriebenen Standardoberflächen (User Interface Descriptions (UIDs)) oder programmierten, gerätespezifischen Oberflächen (User Interface Plugins (UIPs)) dar. Die Gerätebeschreibung mit *Device Definition*, *User Interface Description* und *Business Logic* und optionalen *User Interface Plugins* werden vom Gerätehersteller als FDI Package [10] ausgeliefert.

### 3 Konzept

Das Grundkonzept wurde bereits in [11] veröffentlicht und einige Werkzeugaspekte wurden in [12] und [3] weiter vertieft. Erste Ideen zur abstrakten übergreifenden Verwendung von Messstellen wurden in [13] aus einer anderen Arbeit heraus aufgegriffen. Zur technologischen Basis wurde in [3] und [14] beigetragen.

#### 3.1 Domänenmodell

Das Domänenmodell in Abbildung 2 stellt stark abstrahiert drei Partialmodelle dar. Dies sind die drei Gruppen in der linken oberen, linken unteren Ecke und auf der rechten Seite.

**Partialmodell 1 – Geräteanforderung und konkretes Gerät** In der IEC 62424 [1] sind verschiedene sog. PCE-Kategorien definiert, die mit einem Kennbuchstaben die üblichen Prozessgrößen kategorisieren. Die Aufnahme einer solchen Prozessgröße oder die Einflussnahme auf eine Prozessgröße sind abstrakte Grundaufgaben, die durch eine standardisierte Rolle repräsentiert werden. Jede dieser Rollen garantiert den Zugriff auf bestimmte Messwerte oder Stellfunktionen sowie die benötigten dazu gehörigen Zusatzfunktionen (Parametrierung von Alarmen, etc.).

Ein Mess- oder Stellgerät mit einer spezifischen Aufgabe besitzt für dessen Kernfunktion eine Schnittstelle zur Übertragung des Mess- oder Stellwertes. Zusätzlich können bei modernen Geräten viele verschiedene Parameter eingestellt und Zusatzfunktionen bedient werden. Die Parameter werden zur Bedienung und Parametrierung mittels generischer Werkzeuge in Gerätebeschreibungen abgelegt.

Beide Teile des Partialmodelles sind über ihre Semantik miteinander implizit verbunden (Verbindungen *B* und *D*).

**Partialmodell 2 – Bilanzraum** Anhand von Eigenschaften und Größen in einem Bilanzraum lassen sich Aussagen über die Qualität des Prozesses [15] und den Zustand der technischen Ressourcen [16] ableiten. Sowohl mechanische Anlagenteile als auch technische Einrichtungen zur Erfassung und Beeinflussung werden als technische Ressourcen

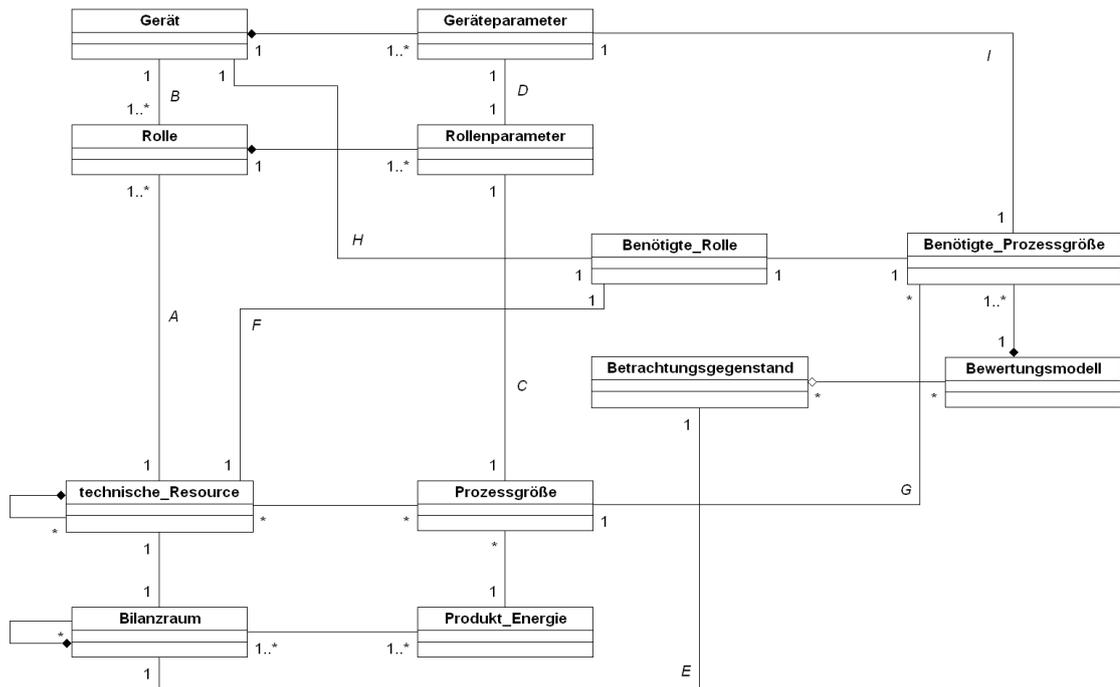


Abbildung 2: Gesamtmodell, alle Verknüpfungsschritte

bezeichnet. Jeder Bilanzraum hat ein- und ausgehende Edukt- und Produktströme sowie Energieströme. Deren Eigenschaften sind Prozessgrößen, die sich direkt oder indirekt messen lassen.

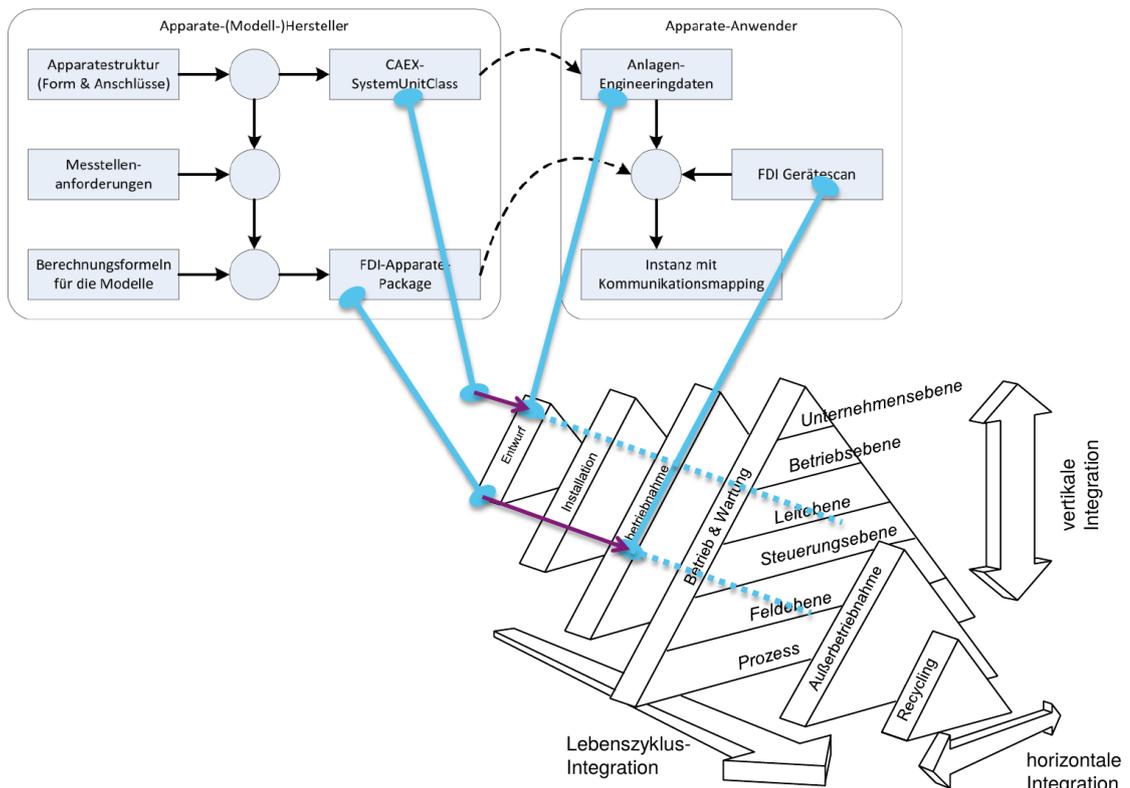
**Partialmodell 3 – Apparatemodell** In jedem Bilanzraum wird ein zu einem bestimmten Detaillierungsgrad herunter gebrochener Verfahrensschritt bearbeitet. Oft wiederkehrende, bekannte Verfahrensschritte sind Grundoperationen. Dafür werden im Detail Engineering Teilanlagen, Anlagenteile und schließlich Apparate vorgesehen. Je nach dem Zweck eines Bewertungsmodells ist das Ziel der Betrachtung entweder der Verfahrensschritt (Prozessdiagnose) oder der Apparat (Plant Asset Management (PAM)). Diese wurden im Partialmodell als *Betrachtungsgegenstand* abstrahiert.

Ein Bewertungsmodell formalisiert Expertenwissen über einen Betrachtungsgegenstand. Es benötigt Informationen über Prozessgrößen innerhalb des Bilanzraums des Apparates oder Verfahrensschritts. Ein generisches Bewertungsmodell für einen konkreten Betrachtungsgegenstand fordert also bei seiner Instanziierung Rollen, um auf die für seine Berechnungen benötigten Prozessgrößen zugreifen zu können.

**Verknüpfung der unterschiedlichen Partialmodelle** Die Verbindungen (A, C und E bis I) können mittels bestehender Technologien und Methoden der Automatisierungstechnik und der industriellen Kommunikationstechnik hergestellt werden. Hierfür werden Engineeringdaten der Anlage (z. B. in CAEX [1] notiert), Integrationstechnologien für Feldgeräte (z. B. mittels EDD [17] beschrieben und mit FDI [6] bereitgestellt) und Informationsmodelle (z. B. mittels OPC UA DI instanziiert und zugreifbar gemacht) verwendet.

### 3.2 Werkzeugkette

Unter Berücksichtigung des durch die Akteure üblicherweise vorgehaltenen Know-Hows und der zeitlichen Abhängigkeiten im Anlagen- und Apparate-Lebenszyklus wurde die in Abbildung 3 dargestellte Werkzeugkette entworfen und in [12] vorgestellt. Sie beschreibt die Tätigkeiten bestimmter Akteure und Integrationspunkte im Lebenszyklus eines Bewertungsmodells. Dieser Lebenszyklus ist in den Lebenszyklus der Anlage, in der er instanziiert werden soll, eingeordnet. Mittels verschiedener Datenbestände und standardisierter Modelle sollen alle Schritte der Werkzeugkette nach Möglichkeit automatisiert werden, um eine einfache Erstellung und Integration der Modelle zu erreichen.



**Abbildung 3:** Werkzeugkette zur Integration von Apparatemodellen (aus [12]) mit Einordnung in den Anlagenlebenszyklus (hellblau – Einordnung der Bereitstellung in Lebenszyklusphasen, violett – Abhängigkeit, hellblau gestrichelt – Möglichkeiten der späteren Einführung)

Bei oft verwendeten Apparaturen wird üblicherweise im Basic Engineering der Anlage mit der Rolle des Apparates geplant. Diese soll vom Modellhersteller auch angegeben werden. Sobald die Struktur und die Schnittstellen des Apparates festgelegt worden sind, kann er im Detail Engineering eingeplant werden. Um später das Auffinden der Instanzen zu vereinfachen, kann dem Planer ein Planungsdatenartefakt für den Apparatetyp zur Verfügung gestellt werden. Es kann aus Strukturinformationen automatisch generiert werden. Dieses Artefakt sollte in einem Exportformat vorliegen, dessen Semantik definiert bzw. standardisiert ist und somit verwendet werden kann, ohne Mehrdeutigkeiten zu generieren.



Weiterhin können Parameter für die Adaption an statische Prozessbedingungen eingeführt werden. Das Modell kann aus der Verfügbarkeit bestimmter Messstellen die berechenbaren Modellkennzahlen selbst bestimmen.

## 4 Umsetzung

Das ausgearbeitete Konzept zur Modellbeschreibung und Modellintegration wurde anhand einer prototypischen Implementierung validiert. Um einen Prototypen für die Umsetzung des Konzepts zur Modellintegration entwickeln und testen zu können sind technische Voraussetzungen zu erfüllen. Da in der Praxis die Durchdringung mit einigen verwendeten Technologien nicht so weit fortgeschritten war, dass Produkte verfügbar waren, die eingebunden bzw. deren Ausgaben verwendet werden konnten, mussten diese Voraussetzungen geschaffen werden. Das sind zum einen vollständige Engineeringdatenexporte und zum anderen eine Emulation eines FDI Servers.

Aufgrund der Integration in die FDI Infrastruktur sollen die Apparatepakete als FDI Package ausgeliefert werden. Dafür müssen ihre Struktur und ihre Berechnungsmodelle in einer EDD-Datei wiedergegeben werden. Zur einfacheren Integration wird die Struktur des Apparates mit einer CAEX-SystemUnitClass dargestellt.

### 4.1 Apparatepaket-Werkzeug

Aufgrund der Komplexität der EDDL-Sprache, der strikten Randbedingungen bei der Integration von Apparatepaketen und der Komplexität von Modell- und Menüstruktur ist das Schreiben einer EDD einem Hersteller von Apparaten oder Apparatemodellen nicht zuzumuten bzw. zuzutrauen. Demzufolge muss dem Modellhersteller eine entsprechende Werkzeugunterstützung angeboten werden. Hierfür wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Prototyp als Proof of Concept erstellt und in [12] veröffentlicht. Abbildung 5 zeigt die Benutzungsoberfläche des Werkzeugs.

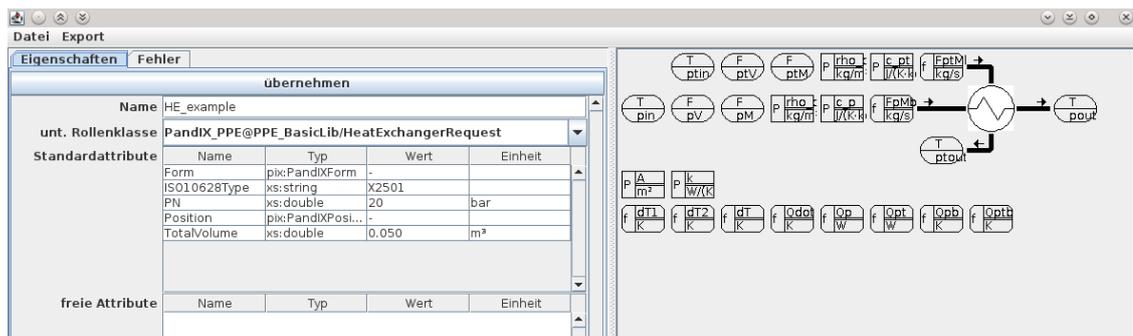


Abbildung 5: Übersicht über die GUI des Apparatepaket-Werkzeugs (aus [12])

### 4.2 Infrastruktur für den Betrieb

Eine zusätzliche Komponente – der Equipment Instance Handler (EIH) – bindet die FDI Apparatepackages zur Laufzeit in den FDI Server ein und realisiert die für die

Bewertungsmodelle notwendigen Lesezugriffe auf Feldgeräte mittels des FDI Servers. Abbildung 6 zeigt diese Einbindung.

Eine Konfigurations-Komponente verarbeitet die globalen Einstellungen und die Instanzdaten, die vom Instanziierungswerkzeug geliefert werden. Die vom EIH angebotene OPC UA-Schnittstelle, setzt ein FDI Communication Server-Informationsmodell um. Die darin empfangenen Anfragen werden an die entsprechenden Instanzen weitergeleitet. In diesen Instanzen erfolgen die konfigurierte Abbildung auf konkrete Feldgeräte und der Aufruf von Lesebefehlen. Diese werden vom OPC UA-Client wiederum über den FDI Server an die entsprechenden Feldgeräte weitergeleitet.

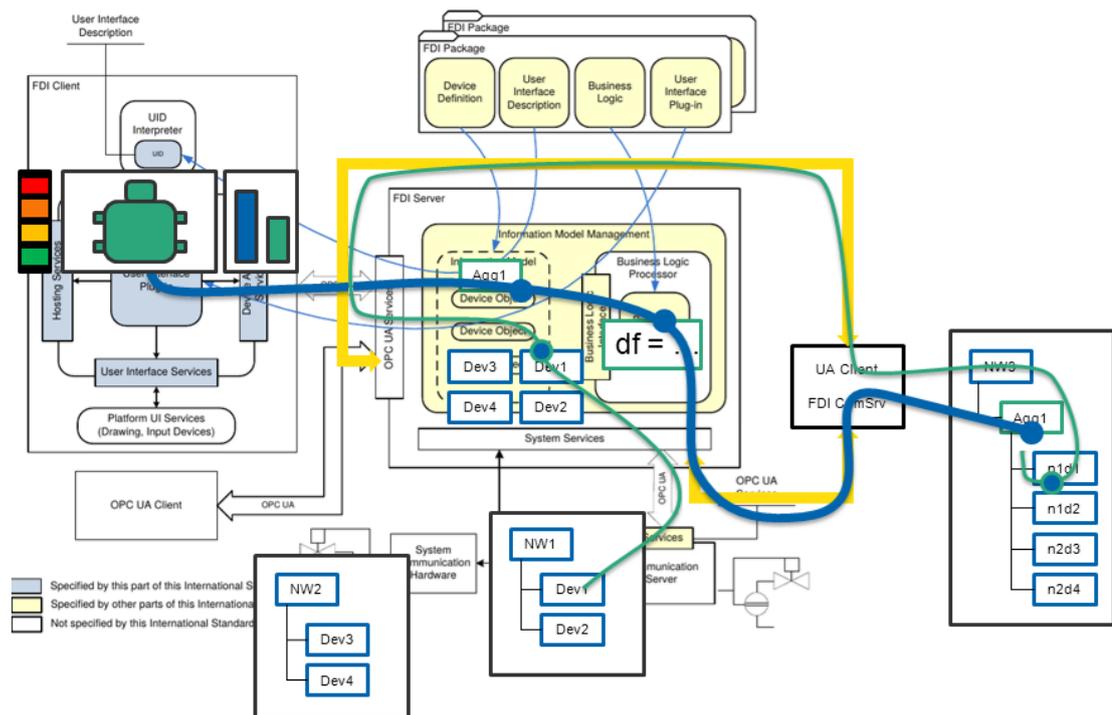


Abbildung 6: Lesevorgänge bei Aktualisierung von Kennzahlen für das Apparatmodell

### 4.3 Instanziierungswerkzeug

Um ein FDI Apparatpackage für einen Apparat in Betrieb zu nehmen, sind verschiedene Konfigurationsaufgaben in FDI Server und EIH durchzuführen. Hierfür müssen Daten bereitgestellt und analysiert werden.

Die automatische Integration erfolgt über die Suche von Instanz- und Messstellendaten in einem CAEX-Export. Um die Suche nach verwendbaren Messstellen in CAEX-Engineeringdaten durchzuführen, wurde eine auf XPath basierende Abstraktion entwickelt. Die Suche verläuft vom zu instanzierenden Apparat entlang von unverzweigten Produktäumen und untersucht die über ExternalReferences und InternalLinks angeschlossenen Elemente auf mögliche Messstellen.

Anhand der Messstellen-Planungsdaten können die zugehörigen Feldgeräte im FDI Server identifiziert und auf sie zugegriffen werden. Für diesen Zugriff wurde ein Java-

OPC UA-Stack in das Instanziierungswerkzeug integriert und ein mitgeliefertes Beispiel zu einem Browse-Client erweitert.

#### 4.4 Auswertung

Zur Auswertung und Einschätzung der entwickelten Infrastruktur wurden Apparatemodelle entwickelt und instanziiert. Als Modelle wurden fünf Beispiele für Grundoperationen im Apparatpaket-Werkzeug umgesetzt. Wie in anderen Lösungen (z. B. in [18]) werden die Berechnungsfunktionen für Kennzahlen über bekannte Zusammenhänge hergeleitet und allgemein notiert. Die Anwendungsregeln werden implizit durch die Messstellen-Anforderungsmuster festgelegt. Als Beispiele wurden hinreichend verbreitete oder offensichtliche Modelle ausgewählt.

Um die Abdeckung der Berechnungsfunktionen mit tatsächlichen Messstellen in den Apparatemodellen einschätzen zu können, wurden die Beispielm Modelle mithilfe von Anlagenplanungsdaten instanziiert. Die dafür notwendigen, in CAEX notierten Engineeringdaten wurden mit Dia modelliert (Abbildung 7) und mittels *Dia2CAEX* [19, 3] generiert. Zusätzlich wurden die CAEX-Daten der Versuchsanlage des Lehrstuhls Prozessleittechnik der RWTH Aachen (*ACPLT Pumpwerk*) [20] herangezogen.

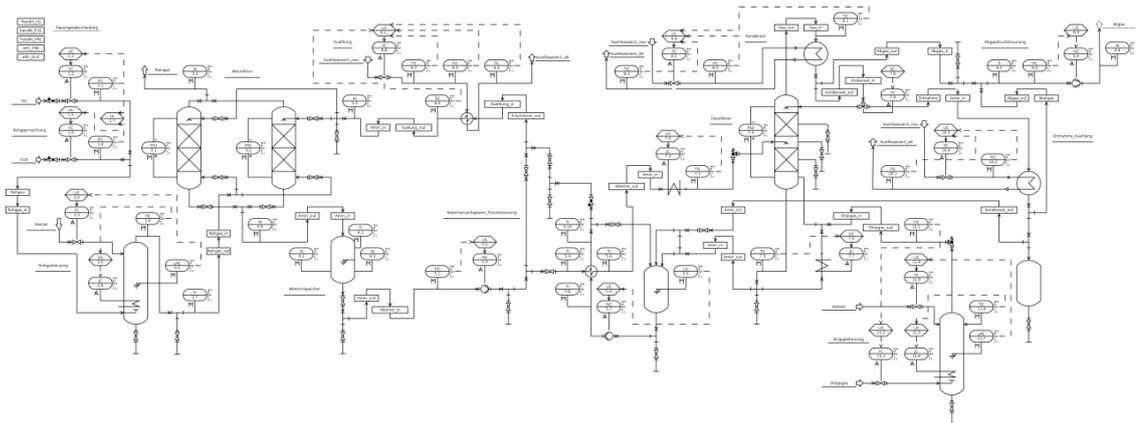


Abbildung 7: Überblick über die in *Dia* modellierte Gaswaschanlage (aus [19] auf Basis von [21, Bild 4.2, S. 54])

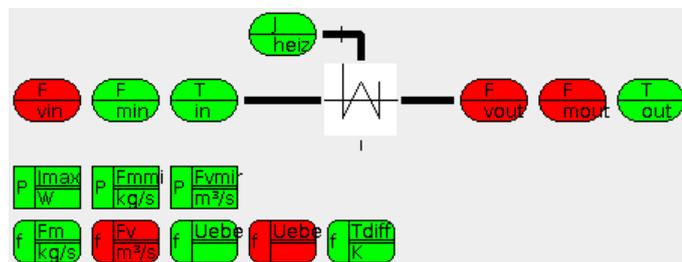


Abbildung 8: Instanziierung Heizung *W 6*

Die Abdeckung der Messstellenanforderungen der Modelle in konkreten Anlagenmodellen (wie in Abbildung 8 durch die Färbung hervorgehoben) wurde einzeln diskutiert und

statistisch untersucht. Somit konnte eine allgemeine Aussage zur Lastsituation in den industriellen Kommunikationssystemen in der Anlage abgeleitet werden.

## 5 Ergebnisse und Fazit

Mithilfe der umgesetzten Komponenten (Apparatepaket-Werkzeug, Instanziierungswerkzeug und Equipment Instance Handler) konnte nachgewiesen werden, dass das beschriebene Konzept zur Modellintegration unter den gegebenen Vorbedingungen angewendet werden kann. Durch die Verwendung des CAEX-Austauschformats kann das Engineering und die Integration der Modelle vereinfacht und automatisiert werden. Als Ausführungs- und Kommunikationsplattform wurde die Field Device Integration-Technologie verwendet. Die verwendeten Technologien sind zukunftsfähig und die durch sie eingeführten Abhängigkeiten sind durch verfügbare Produkte auflösbar. Mit den Anwendungsbeispielen wurde gezeigt, dass Modelle abstrakt definiert und auf konkrete Strukturen angewendet werden können. Die Einhaltung der Anforderungen bezüglich Automatisierbarkeit, Rückwirkungsfreiheit und Offenheit wurde diskutiert und nachgewiesen.

Darüber hinaus werden einige Anforderungen aus Forschungsbedarfen im Bereich *Industrie 4.0* für die konzeptionierte und prototypisch umgesetzte Infrastruktur erfüllt. Die Einbindung der Modelle ist eine Selbstkonfigurationsfunktion; die Infrastruktur selbst ermöglicht eine Einbindung unabhängiger, externer Komponenten ohne die Basisfunktion zu beeinflussen. Dabei wurden ausschließlich Technologien verwendet, die vor und außerhalb der *Industrie 4.0* entstanden sind. Hiermit wurde ebenfalls gezeigt, dass unabhängig von konkreten Umsetzungen viele Voraussetzungen für die „digitale Revolution“ in der Automatisierung bereits erfüllt sind.

## Literatur

- [1] International Electrotechnical Commission, Hrsg. *IEC 62424: Representation of process control engineering - Requests in P&ID diagrams and data exchange between P&ID tools and PCE-CAE tools*. Jan. 2010.
- [2] U. Epple. „Austausch von Anlagenplanungsdaten auf der Grundlage von Metamodellen“. In: *atp - automatisierungstechnische Praxis* (07 Juli 2003), S. 61–70.
- [3] S. Theurich, A. Schüller, M. Wollschlaeger und U. Epple. „Dienstbasierte Prüfung von CAEX-Exporten mit standardisierten Bibliotheken“. In: *Automation 2014 – Smart X Powered by Automation*. VDI-Verlag, Juli 2014. ISBN: 978-3-18-092231-7.
- [4] K. Bender, D. Großmann und B. Danzer. „FDT + EDD + OPCUA = FDD UA – Die Gleichung für eine einheitliche Gerätebeschreibung?“. In: *atp - automatisierungstechnische Praxis* (02 Feb. 2007), S. 48–54.
- [5] FDI Cooperation. *Field Device Integration*. Foliensatz. Juni 2011.
- [6] International Electrotechnical Commission, Hrsg. *CDV IEC 62769-1: Field Device Integration (FDI) – Part 1: Overview*. Nov. 2013.
- [7] D. Großmann und W. Manke. „Geräteintegration mit FDI und OPC UA – Mit standardisierten Informationsmodell Geräte integrieren“. In: *atp edition* (11 Nov. 2012), S. 56–65.
- [8] International Electrotechnical Commission, Hrsg. *IEC 62541-100: OPC Unified Architecture – OPC UA for Devices*. 2013.
- [9] International Electrotechnical Commission, Hrsg. *IEC 61804-3: Function Blocks (FB) for Process Control – Part 3: Electronic Device Description Language (ED DL)*. 2012.
- [10] International Electrotechnical Commission, Hrsg. *CDV IEC 62769-4: Field Device Integration (FDI) – Part 4: FDI Packages*. Nov. 2013.
- [11] S. Theurich, M. Stöß, M. Wollschlaeger und L. Urbas. „Communication and Information Engineering of FDI Equipment Packages“. In: *Emerging Technologies Factory Automation (ETFA), 2012 IEEE 17th Conference on*. Sep. 2012, S. 1–8. DOI: 10.1109/ETFA.2012.6489551.
- [12] S. Theurich und M. Wollschlaeger. „Entwicklung und Integration von FDI-Paketen für Apparate“. In: *Jahreskolloquium Kommunikation in der Automation, KomMA 2013*. 14. Nov. 2013.
- [13] S. Theurich, C. Hahn, R. Frenzel und M. Wollschlaeger. „Field bus abstraction as a means to enable net-work-independent applications Fieldbuses and Networks in Industrial and Embedded Systems“. In: *8th IFAC International Conference on Fieldbuses and Networks in Industrial and Embedded Systems (2009)*. Mai 2009, S. 131–138. DOI: 10.3182/20090520-3-KR-3006.00020. URL: <http://www.ifac-papersonline.net/Detailed/46497.html>.
- [14] S. Theurich und M. Wollschlaeger. „Plant Asset Management und Condition Monitoring mit FDI“. In: *PI Konferenz 2015*. Hrsg. von A. Laubenstein. 12. März 2015.

- [15] NAMUR – Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie, Hrsg. *NAMUR-Arbeitsblatt 96: Prozessdiagnose – ein Statusbericht*. Nov. 2002.
- [16] NAMUR – Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie, Hrsg. *NAMUR-Empfehlung 129: Plant Asset Management*. Okt. 2009.
- [17] International Electrotechnical Commission, Hrsg. *IEC 61804-3: Function Blocks (FB) for Process Control – Part 3: Electronic Device Description Language (ED DL)*. 2nd. 2010.
- [18] T. Schmidberger, A. Fay und R. Draht. „Automatisiertes Engineering von Prozessleitsystem-Funktionen“. In: *atp - automatisierungstechnische Praxis* (02 Feb. 2005), S. 45–51.
- [19] S. Theurich. *Dia2CAEX – Transformation Dia Sketch zu CAEX*. 23. Juni 2014. URL: [http://www.inf.tu-dresden.de/index.php?node\\_id=3601&ln=de](http://www.inf.tu-dresden.de/index.php?node_id=3601&ln=de) (besucht am 08.08.2014).
- [20] U. Epple, Hrsg. *CAEX – IEC 62424, ACPLT/OV-Bibliothek\_V2.15.1, Pumpwerk*. 12. Nov. 2009. URL: <http://www.plt.rwth-aachen.de/cms/PLT/Forschung/Projekte2/~ejwy/CAEX-IEC-62424/> (besucht am 28.04.2015).
- [21] A. Ohle. „CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus Gasströmen durch Absorption in Poly(methyldiglykol)amin“. Diss. Technische Universität Dresden, 10. Aug. 2009.