

2013

Architektur einer Service Plattform zur Unterstützung des Betriebs erneuerbarer Energieanlagen

Johannes Schmidt

Universität Leipzig, Institut für Angewandte Informatik (InfAI) e. V., Leipzig, Deutschland, schmidt@infai.org

Antonius van Hoof

Duale Hochschule Baden-Württemberg, Stuttgart, Deutschland, a.vanhoof@hb.dhbw-stuttgart.de

Follow this and additional works at: <http://aisel.aisnet.org/wi2013>

Recommended Citation

Schmidt, Johannes and van Hoof, Antonius, "Architektur einer Service Plattform zur Unterstützung des Betriebs erneuerbarer Energieanlagen" (2013). *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2013*. 19.

<http://aisel.aisnet.org/wi2013/19>

This material is brought to you by the Wirtschaftsinformatik at AIS Electronic Library (AISeL). It has been accepted for inclusion in Wirtschaftsinformatik Proceedings 2013 by an authorized administrator of AIS Electronic Library (AISeL). For more information, please contact elibrary@aisnet.org.

Architektur einer Service Plattform zur Unterstützung des Betriebs erneuerbarer Energieanlagen

Johannes Schmidt¹ und Antonius van Hoof²

¹ Universität Leipzig, Institut für Angewandte Informatik (InfAI) e. V,
Leipzig, Deutschland
schmidt@infai.org

² Duale Hochschule Baden-Württemberg, Stuttgart, Deutschland
a.vanhoof@hb.dhbw-stuttgart.de

Abstract. In Germany, key players and SMEs in the market for wind, solar and biomass energy production have demanded a need for an universal IT service platform to enable the offering of standardized high quality services for technical operation and maintenance of renewable energy power plants. To proceed towards this goal, a comprehensive data model and a technical systems integration architecture derived from a thorough requirements and business process analysis are necessary prerequisites. This paper presents and discusses the current state of research on these particular issues. Special attention is paid to the use and harmonization of international technical standards (IEC, ISO, DIN) in the area of renewable energy power plant operation.

Keywords: Systemarchitektur, Datenföderation, kanonisches Datenmodell, erneuerbare Energie

1 Einführung

Spätestens seit der von der deutschen Bundesregierung im Jahr 2011 ausgerufenen Energiewende befassen sich Politik und Wirtschaft intensiv mit Fragestellungen zur Energieerzeugung und -verteilung aus erneuerbaren Energien als Ersatz für die Kernenergie und CO₂-lastige Kohlekraftwerke. Zu den „alternativen“ Energiequellen gehören Windkraft, Solarenergie (Photovoltaik) und Wasserkraft, gefolgt von Biomasse, Solar- und Geothermie. Um langfristig den Energiebedarf aus vorwiegend erneuerbaren Quellen zu sichern, ist ein schneller Ausbau dieser Erzeugungsanlagen notwendig. Nach Schätzung des Statistischen Bundesamtes betrug im Jahr 2011 der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung in Deutschland 19,9% [1]. Für das Jahr 2020 ist ein Anteil von 47 % anvisiert [2].

Im Vergleich zur Kernenergie und Kohlekraft weisen die derzeit am stärksten in Deutschland fokussierten erneuerbaren Energiearten Windkraft und Solarenergie besondere Eigenschaften auf. Ihre Verfügbarkeit hängt von den aktuellen Wetterbedingungen ab und der Ort der Stromerzeugung wird durch geographische Rahmenbedingungen vorgeben. Hieraus resultiert, dass der produzierte Strom teilweise über weite Strecken zu den Verbrauchern transportiert werden muss und sich neue Anforderungen an die Stromnetze mit Bezug auf die Energiespeicherung und einen optimierten Stromtransport ergeben.

Neben Investitionen ins Stromnetz und in den optimierten Einsatz der IuK-Technologien im Rahmen der verschiedenen Smart Grid Initiativen ist es auch notwendig, die Produktionsprozesse für die erneuerbaren Energien zu optimieren.

Im Vergleich zu klassischen Kraftwerken finden sich in der Branche der erneuerbaren Energien, bedingt durch kleinere Produktionseinheiten oder aufgrund der geographischen Anlagenverteilung, andersartige Betreiberstrukturen. Zahlreiche Organisationen mit jeweils spezifischen Anforderungen und IT-Systemen sind in die Betriebs- und Instandhaltungsprozesse einbezogen. Es gilt somit, alle Akteure, Prozesse und betrieblichen Informationssysteme so zu integrieren, dass – gerade vor dem Hintergrund der sinkenden staatlichen Förderungen – ein wirtschaftlich optimierter Betrieb der Energieerzeugungsanlagen gewährleistet ist. Eine derartige Integration ist bis dato noch nicht gegeben: Kommunikation per Telefon oder Fax und Medienbrüche beim Datenaustausch prägen viele Prozesse. Häufig stehen auch die notwendigen Daten den relevanten Akteuren nicht zur Verfügung.

Verschiedene Akteure der Branche haben sich dieser Problematik gestellt und entwickeln derzeit in einer vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Innovationsallianz eine Software- und Systemplattform für Energie- und Umweltmonitoringsysteme¹. Im Zentrum der Untersuchungen steht dabei die Unterstützung aller Akteure im Rahmen der Betriebsführung und Instandhaltung regenerativer Energieanlagen. Im Folgenden werden die ersten Ergebnisse dieses Projektes präsentiert. Im nächsten Abschnitt wird auf die erhobenen Anforderungen an eine Service Plattform eingegangen und die Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz einer solchen Plattform beschrieben. Anschließend erfolgt in Abschnitt 3 die Präsentation des aus den Anforderungen abgeleiteten fachlichen Integrationsmodells sowie der erarbeiteten Referenzprozesse und Daten. Der Abschnitt 4 behandelt die resultierende Architektur der Plattform. Abschließend werden die bisherigen Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick zu den geplanten weiteren Aufgaben gegeben.

2 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Die im Rahmen des Projektes zu realisierende Service Plattform soll alle Akteure in der erneuerbaren Energiebranche in den unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus

¹ Projekt EUMONIS, Förderzeichen 01IS10033C. Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie bei allen Projektpartnern, ohne deren Unterstützung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

einer Energieerzeugungsanlage unterstützen, beginnend bei der Planung über den Betrieb und die Instandhaltung bis zur Demontage und Verschrottung (vgl. [3]). Das Hauptaugenmerk liegt jedoch auf der Betriebs- und Instandhaltungsphase. Hierzu wurde eine detaillierte Anforderungsanalyse für den Betrieb von Energieerzeugungsanlagen zur Stromerzeugung aus Wind, Photovoltaik und Biomasse durchgeführt, dessen Ergebnisse zusammenfassend in diesem Abschnitt vorgestellt werden.

Die Service Plattform bietet den betroffenen Akteuren eine erweiterbare technische Infrastruktur für eine Vielzahl von Dienstleistungen in der Domäne (vgl. auch [4]). Der Begriff Plattform bezieht sich hierbei auf die technische Gesamtheit von Einzelanwendungen im Rahmen einer gemeinsamen Betriebs- und Kommunikationsinfrastruktur, über die spezifische Dienstleistungen erbracht oder unterstützt werden. Die Basis bildet die technische Anbindung beliebig vieler Energieanlagen unterschiedlichen Typs. Die Betriebsdaten dieser Anlagen sollen sowohl direkt als auch intermediär durch ein Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) System zur Speicherung und Auswertung übertragen werden. Neben den Betriebsdaten soll die Plattform auch weitere Daten einer Anlage verwalten können: Anlagen- und Komponentenstammdaten, technische Dokumentationen, Berichte und Zertifikate, Instandhaltungsinformationen und allgemeine betriebswirtschaftliche Daten (z.B. Daten aus ERP Systemen) sowie Prognosedaten (z.B. Wetterprognosen und Strommarktprognosen) und Geoinformationen.

Viele der benötigten Funktionalitäten werden von bereits am Markt erhältlichen Softwaresystemen geboten. Solche Systeme sind aber meistens nur für große Akteure geeignet, insbesondere Energieversorgungsunternehmen (EVUs). An die Bedürfnisse kleiner Energieerzeuger sind sie i.d.R. nicht angepasst. Zudem lässt sich feststellen, dass diese Systeme eine geringe Integrationsfähigkeit aufweisen. Die zu entwickelnde Service Plattform zielt daher auf eine stärkere Kooperation zwischen den Akteuren der Branche ab. Für den effizienten Betrieb einer Anlage benötigt der Betreiber die Unterstützung von bspw. unabhängigen Wartungs- und Instandhaltungsunternehmen. Gemäß den gesetzlichen Vorgaben bedarf eine Anlage regelmäßiger Prüfungen und Zertifizierungen durch unabhängige technische Prüfgesellschaften. Allen beteiligten Akteuren sollen die jeweils notwendigen Daten, Dokumentationen und Funktionalitäten standardisiert über eine Service Plattform zur Verfügung gestellt werden.

2.1 Funktionale Anforderungen

Die Plattform soll ein umfassendes Portfolio an domänenspezifischen Diensten bereitstellen. Einige davon sind bereits in am Markt verfügbaren Softwaresystemen realisiert. Es gilt jedoch, diese Dienste durchgängig und transparent miteinander zu integrieren. Im Folgenden werden die zentralen Funktionalitäten dieser Dienste vorgestellt.

Betriebsdatenhaltung. Alle Betriebsdaten der Anlage können vom System gespeichert und bei Bedarf für Auswertungen zur Verfügung gestellt werden. Dies schließt Import und Export von Daten aus bzw. nach SCADA Systemen ein.

Stammdatenverwaltung. Das System kann alle Stammdaten einer Anlage und deren Komponenten (Anlagestammdaten, Vertragsstammdaten, Kontaktstammdaten, EVU-

Stammdaten) verwalten. Dies schließt Import und Export solcher Daten aus bzw. nach Fremdsystemen ein.

Komponentenstammbaum. Das System erlaubt die strukturierte Visualisierung aller Komponenten einer Anlage. Die aktuelle Komponentenkonfiguration kann geändert und rückwirkend nachvollzogen werden.

Steuerung. Bei Bedarf kann die Anlage durch einen qualifizierten Benutzer aus der Ferne bedient, d.h. beispielsweise ein- oder ausgeschaltet, werden. Die Kommunikation mit der Anlage erfolgt direkt oder durch ein vorhandenes SCADA System. Solch eine Steuerung setzt eine Echtzeitverbindung zur Anlage voraus.

Überwachung und Ereignismanagement. Das Ereignismanagement ermöglicht die Verwaltung von Ereignismeldungen. Ereignisse sind Signale, die automatisiert ausgelöst werden, wenn bspw. vordefinierte Wartungszeitpunkte erreicht sind oder ein Betriebsdatum von einem vordefinierten Wertebereich abweicht. Im Ereignismanagement werden diese Ereignisse verwaltet und dienen als Entscheidungsgrundlage für die Einleitung einer Entstörungsmaßnahme. Die Überwachung ist dem Ereignismanagement übergeordnet und für die kontinuierliche Beobachtung und Protokollierung der Betriebsdaten verantwortlich. Hierzu soll das System den Akteuren geeignete Visualisierungen und Auswertungsberichte zur Verfügung stellen.

Zustandsbeurteilung. Ausgesuchte Betriebsdaten einer Anlage sollen als Zeitreihen auf das Auftreten von anormalen Mustern untersucht werden. Die Zustandsbeurteilung ist im Rahmen einer zustandsorientierten Instandhaltungsstrategie [3] von besonderer Bedeutung, damit eine Reparatur ggf. vor dem Eintreten eines Fehlers ausgeführt werden kann.

Instandhaltung und Wartungsplanung. Das System unterstützt die verschiedenen Akteure bei der Koordination von Wartungs- und Instandhaltungsaktivitäten. Dies bezieht die Planung von Terminen, Ressourcen und Personal (inkl. Beauftragung externer Dienstleister) ein. Die Initiierung dieser Aktivitäten kann durch das Ereignismanagement oder die Zustandsbeurteilung erfolgen. Weiterhin ist eine Schnittstelle zum Auftragsmanagement (überbetrieblicher Austausch von Auftrags- und Rechnungsdaten) und zur Anbindung aktueller Wetterprognosen (Windenergieanlagen dürfen bspw. nicht bei Sturm gewartet werden) sowie externer Daten (Anbindung zur Strombörse) notwendig.

Terminmanagement. Gerade weil an der Wartung und Instandhaltung häufig mehrere Akteure aus verschiedenen Unternehmen involviert sind und weil Wetter- und Stromprognosen bei der Terminfindung berücksichtigt werden müssen, muss die Plattform eine unternehmens- und systemübergreifende Unterstützung bei der Terminfindung und -koordination anbieten.

Prognose. Die Analyse der unterschiedlichen Anwendungsfälle hat gezeigt, dass besonders im Bereich der Betriebsführung und Instandhaltung domänenspezifische Prognosen von bspw. Wetterdaten oder Energieprognosen eine besondere Rolle spielen. Sie werden in erster Linie von anderen Anwendungsmodulen der Plattform als

Eingangsgrößen benötigt. Hierzu ist die Anbindung und Vereinheitlichung externer Prognosesysteme notwendig.

Lebenslaufakte. Alle betriebsrelevanten Daten, Dokumente und Ereignisse über die gesamte Lebenszeit einer Anlage sollen in einer digitalen Lebenslaufakte lückenlos festgehalten werden bzw. referenzierbar sein. Aus der Lebenslaufakte ist ersichtlich, welche Anlagekomponenten im Laufe der Zeit wann und von wem gewartet, ausgetauscht und geprüft wurden. Bau- und Schaltpläne sowie Anleitungen zu einzelnen Komponenten und zur Gesamtanlage sowie frühere Wartungsberichte und Prüfzertifikate lassen sich hier finden.

2.2 Rahmenbedingungen

Die Plattform wird derzeit nach den Bedürfnissen der Akteure aus den Gebieten Wind, Photovoltaik und Biomasse entwickelt. Sie soll jedoch offen gestaltet sein, so dass andere Anlagentypen ebenfalls angeschlossen und betrieben werden können. Die zu entwickelnde Plattform erreicht dies durch die durchgängige Verwendung von offenen IuK- und Branchenstandards sowie -normen. Auf einige dieser Standards wird im Folgenden noch genauer eingegangen. Zudem soll die Plattform so gestaltet werden, dass eine größtmögliche Verschiedenheit an Fremdsystemen (am Markt vorhandene teils proprietäre Softwarelösungen) leicht in die Plattform integriert oder an die Plattform angebunden werden kann.

Derzeit werden verschiedene Betreibermodelle für eine solche Plattform entwickelt und evaluiert. Es ist zu erwarten, dass sich verschiedene Betriebsszenarien mit bspw. nur einer zentral betriebenen Plattform oder einem losen Verbund von Plattformen ergeben werden. Es ist auch nicht auszuschließen, dass Unternehmen mit einer großen Zahl an Energieanlagen eine eigene Instanz der Plattform betreiben wollen. Die technische Ausgestaltung der Plattform soll diese unterschiedlichen Betreibermodelle prinzipiell erlauben. Dies hat u.a. Auswirkungen auf die Anforderungen an die Skalierbarkeit sowie Mandantenfähigkeit.

Ein sehr wichtiges Kriterium für die Akteure sind Fragen zur Sicherheit. Da die meisten Daten einer Anlage, insbesondere die Betriebsdaten, einen direkten wirtschaftlichen Wert für die jeweiligen Dateninhaber darstellen, wurde mehrfach gefordert, dass ein Dateninhaber volle Kontrolle über die Art der Datenzugriffe und über die berechtigten Personenkreise haben soll. Nach Möglichkeit sollen die Daten beim Inhaber verbleiben und Dritte erhalten bei entsprechender Berechtigung Zugriff auf die Daten.

Die Service Plattform wird als verteiltes, offenes, föderiertes System realisiert. Eine Data Warehouse Lösung (zentral gehaltene, aus Fremdsystemen replizierte und aggregierte Daten) ist aufgrund der Anforderung zur lokal gesteuerten Autorisierung und Authentisierung sowie der Anforderung zur Integration verschiedener Softwaresysteme mit autonomer Datenhaltung nicht möglich.

Abschließend wurde von den Akteuren mehrfach geäußert, dass die Plattform als „Software as a Service“ (SaaS) bzw. als Cloud Computing Lösung betrieben werden sollte, um die Zukunftsfähigkeit der Plattform zu sichern.

3 Fachliche Integration

Die Konzeption der Service Plattform basiert auf der Identifikation und Festlegung von Referenzprozessen und eines gemeinsamen Datenmodells. Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben die Prozesserhebung im Rahmen der Domänenanalyse und die Konzeption des kanonischen Datenmodells für die Plattform.

3.1 Prozessmodell

Im Rahmen einer umfassenden Domänenanalyse mit dem Schwerpunkt auf dem Anlagenbetrieb und der Instandhaltung wurden die relevanten Rollen, deren Aktivitäten, sowie die benötigten Daten und Informationssysteme identifiziert und in logische Abhängigkeiten und zeitliche Abfolge gebracht. Die Abbildungen 1 und 2 stellen die Ergebnisse als Matrix dar. Schwerpunkt der Untersuchungen waren Prozesse zur Anlagenüberwachung, zum Störungs- und Wartungsmanagement sowie zur Auftragserteilung, -abwicklung und -abrechnung.

	Behörde	Betreiber	Betriebsführer	Servicedienstleister (ISP)	Zulieferer	Hersteller	Sachverständiger	Übertragungsnetzbetreiber	Verteilnetzbetreiber
Behörde									
Betreiber	●	●	●						
Betriebsführer	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Servicedienstleister (ISP)			●	●	●				
Zulieferer				●	●				
Hersteller			●	●	●	●			
Sachverständiger			●				●		
Übertragungsnetzbetreiber			●					●	
Verteilnetzbetreiber			●						●

Abb. 1. Rollenmatrix

	Alarm	Anlagenparameter	Betriebsdaten	Kennwert	Konstruktionsdaten	Stammdaten	Wetterdaten
Behörde						●	
Betreiber	●		●		●	●	
Betriebsführer	●	●	●	●	●	●	●
Servicedienstleister (ISP)	●	●	●	●	●	●	●
Zulieferer							●
Hersteller	●	●			●	●	
Sachverständiger			●		●	●	
Übertragungsnetzbetreiber			●			●	
Verteilnetzbetreiber			●			●	

Abb. 2. Datenmatrix

Am Betrieb und der Instandhaltung regenerativer Energieanlagen sind zahlreiche Rollen beteiligt. Im Gegensatz zu den konventionellen Kraftwerken werden diese Rollen häufig durch unterschiedliche Akteure (im Sinne von unterschiedlichen Unternehmen und Organisationen) eingenommen (vgl. auch [5]). Erschwerend zu dieser organisatorischen Verteilung der Zuständigkeiten kommt die räumliche Trennung zwischen den Anlagenstandorten und den Akteuren hinzu. Der optimierte Einsatz von IuK-Technologie kann somit zur Optimierung der Kommunikation und des Datenaustauschs beitragen.

In Abbildung 1 markiert ein schwarzer Punkt eine direkte Kommunikationsbeziehung zwischen zwei Akteuren. Die Rolle des Betriebsführers besitzt die meisten Abhängigkeiten zu anderen Rollen. Der Betriebsführer handelt häufig im Auftrag eines

Betreibers, der bspw. in Form eines Investmentfonds organisiert sein kann. Für die Wartungs- und Instandsetzungsaufgaben beauftragt dieser entweder den Hersteller der Anlage oder ein unabhängiges Serviceunternehmen (engl. Independent Service Provider, ISP). Zudem muss der Betriebsführer im Auftrag des Betreibers zahlreiche gesetzlich vorgeschriebene Nachweise und Zertifikate bei Behörden einreichen, die teilweise durch Sachverständige erstellt werden müssen.

Neben den Rollenabhängigkeiten wurden die jeweils benötigten bzw. verwalteten Daten analysiert. In Abbildung 2 wird ein schwarzer Punkt eingetragen, wenn eine Rolle das spezifische Datum verwaltet oder für die Ausübung ihre Tätigkeiten benötigt. Der Betriebsführer und der ISP verwalten oder verarbeiten unterschiedliche Daten. Aus dieser Analyse lassen sich die Koordinations- und Integrationsbedarfe zwischen den verschiedenen Rollen ableiten. So benötigt beispielsweise der ISP im Falle eines Alarms Zugriff auf die aktuellen Betriebsdaten, um den Fehler analysieren zu können. Aus Abbildung 2 ist weiterhin ersichtlich, dass alle beteiligten Rollen auf den Zugriff auf Stammdaten angewiesen sind. Die Prozessanalyse hat gezeigt, dass die verschiedenen Rollen derzeit jeweils auf lokal vorgehaltene Versionen der Stammdaten zugreifen, wodurch Inkonsistenzen auftreten können, wenn Änderungen der Stammdaten (bspw. im Rahmen einer Komponentenaustausch oder einer Anlageerweiterung) nicht an alle abhängigen Rollen kommuniziert werden. Dies wirkt sich insbesondere negativ auf die Instandhaltungsplanung aus.

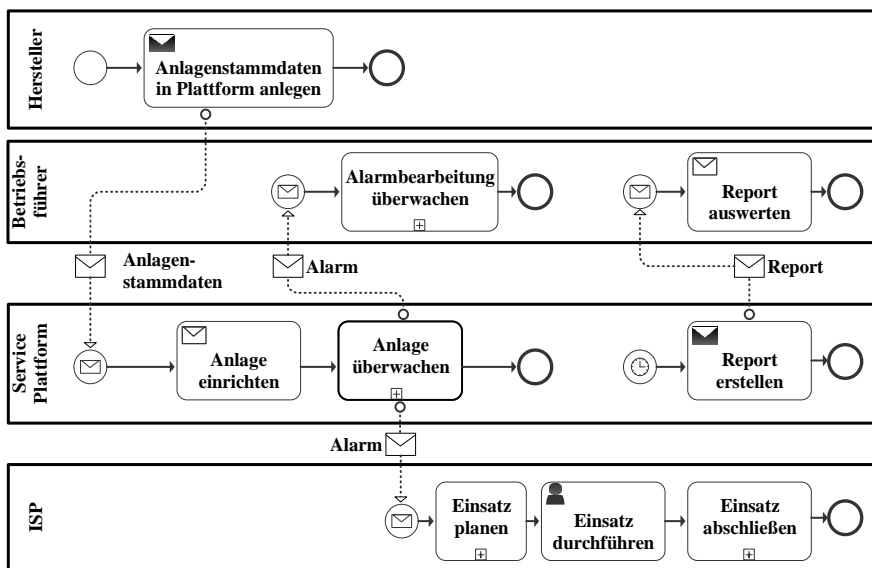


Abb. 3. Prozessdarstellung in BPMN

Im Rahmen der Anforderungsanalyse wurden zahlreiche Ist-Prozesse aufgenommen und beschrieben. Komplexere Soll-Prozesse wurden in der Business Process Model and Notation (BPMN) modelliert. Aufgrund der Vielzahl an Prozessen wurden sie in Prozesslandkarten miteinander in Bezug gesetzt. Abbildung 3 zeigt einen Beispiel-

prozess zur Anlagenüberwachung. Zur besseren Übersicht wird nur eine stark vereinfachte Darstellung verwendet. Der Hersteller stellt die Anlagenstammdaten initial der Service Plattform zur Verfügung. Anschließend kann der Betriebsführer mit der Anlagenüberwachung beginnen. Sowohl der Betriebsführer als auch der ISP werden im Fehlerfall benachrichtigt. Zudem kann sich der Betriebsführer Reports über den Anlagenzustand erstellen lassen.

3.2 Kanonisches Datenmodell

Für die Integrierung [6] von Informationssystemen verschiedener Akteure hat sich die Verwendung eines kanonischen Datenmodells (Canonical Data Model [7], [8]) bewährt. Ein kanonisches Datenmodell ist die Definition einer logisch einheitlichen Sicht auf Daten mehrerer unterschiedlicher Datenquellen. Es definiert die Struktur und Semantik der gültigen Konzepte und ihre Relationen zueinander. In diesem Sinne stellt ein kanonisches Datenmodell ein virtuelles Datenschema für einen Verbund konkreter Datenquellen dar, die gemeinsam wie eine einheitliche Datenquelle betrachtet werden. Der Zugriff auf die konkreten Datenquellen erfolgt transparent über die Benutzung des virtuellen Schemas. Die Festlegung auf ein kanonisches Datenmodell wurde aufgrund der Vielzahl an anzubindenden Datenquellen und externen Anwendungen getroffen. Für die Integrierung einer neuen Anwendung ist ein Mapping gemäß dem kanonischen Datenmodell auf die in den physischen Datenquellen verwendeten Schemata notwendig. Weiterhin bildet das gemeinsame Datenmodell die Grundlage für die Definition der auszutauschenden Daten.

Auch für die Energiebranche ist dieser Integrierungsansatz relevant [9], [10] und notwendig [11]. Das zu entwickelnde kanonische Modell muss den Aufbau der unterschiedlichen Energieerzeugungsanlagen, die überbetrieblichen Prozesse sowie die Semantik und den Vertraulichkeitsgrad der verschiedenen Daten berücksichtigen. Eine umfassende Literaturrecherche und Befragungen von Domänenexperten haben gezeigt, dass ein sehr unterschiedliches Verständnis über die Fachbegriffe zu den Daten besteht. Dies zeigt die Wichtigkeit eines standardisierten semantischen Modells innerhalb der Anwendungsdomäne.

Die große Bedeutung der Betriebsdaten und regulatorische Vorgaben innerhalb der Energiebranche haben zur Folge, dass verschiedene Normen, Standards und Richtlinien bei der Entwicklung eines kanonischen Datenmodells berücksichtigt werden müssen. Als Standardmodell – besonders für EVUs – hat sich das Common Information Model (CIM) der International Electrotechnical Commission (IEC) etabliert, wobei der eigentliche Energieerzeugungsprozess und die dafür benötigten Daten darin wenig Berücksichtigung finden. CIM betrachtet zudem nicht explizit die Domäne der erneuerbaren Energien. Zurzeit ist kein allgemein anerkanntes Domänenmodell für die Instandhaltung und den Betrieb von erneuerbaren Energieanlagen bekannt.

Basierend auf der Domänenanalyse wurden abstrakte Konzepte identifiziert. Abbildung 4 stellt diese Konzepte und ihre Abhängigkeiten für den Anwendungsbereich der Anlagenüberwachung und Instandhaltung dar. Es handelt sich um eine vereinfachte Darstellung des kanonischen Datenmodells für die Service Plattform. In der Abbildung sind die Konzepte des Datenmodells als Box mit fettgedruckter Schrift darge-

stellt. Instanzen der Konzepte sind grau eingefärbt und mit einer „is-a“ Relation gekennzeichnet. Daneben sind die relevanten Normen und Richtlinien, die sich explizit auf diese Konzepte beziehen, als Boxen mit gestrichelten Linien und mit strichelten Relationen im Modell eingetragen. Bei der Entwicklung des Modells müssen bestehende Definitionen aus Normen und Standards berücksichtigt werden, um eine höchstmögliche Akzeptanz seitens der Anwender zu erreichen. Nachfolgend werden die einzelnen Konzepte und angewendeten Normen näher beschrieben.

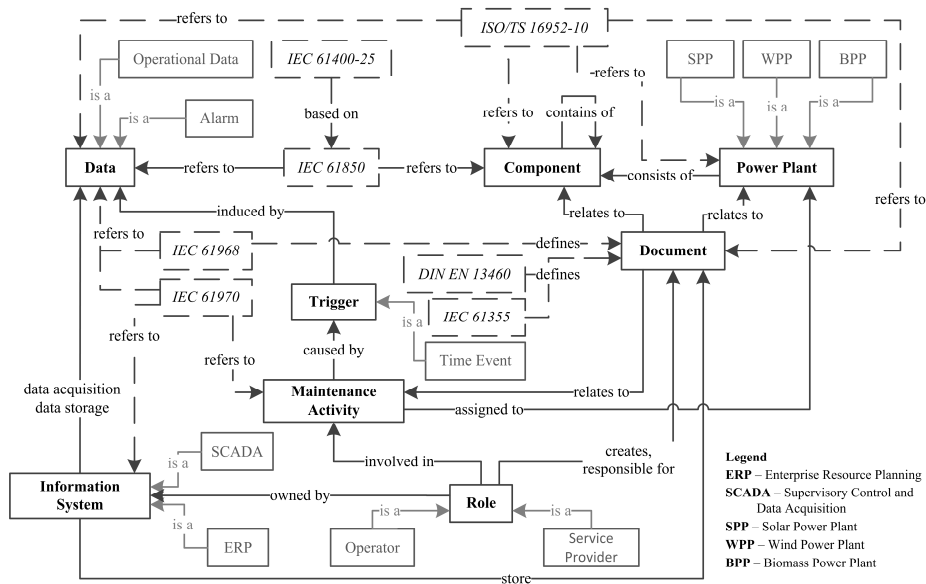


Abb. 4. Abstraktes Modell des kanonischen Datenmodells (basierend auf [26])

Konzepte. Die Stammdaten zur Energieanlage bilden die Basis des kanonischen Datenmodells, modelliert mittels des Konzeptes Power Plant. Spezifische Anlagentypen (SPP, WPP, BPP) sind von diesem Konzept abgeleitet. Eine Anlage besteht aus beliebig vielen Komponenten (Component), die je nach Anlagenart unterschiedlich komplex aufgebaut sind. Es ergibt sich somit ein spezifischer hierarchischer Komponentenbaum für jede Anlage. Das Modell berücksichtigt dies durch die Rekursionsrelation zum Konzept Component. Zu einer Komponente können verschiedenste Daten (Data) ausgelesen werden. Der Bezug der Daten zur Energieanlage ergibt sich über die Komponente. Im Rahmen der unterschiedlichen Arbeitstätigkeiten werden zahlreiche Dokumente (Document) zur Anlage erstellt und mit ihr verknüpft. Besonders für die Instandhaltung ist eine konsistente und chronologisch zugreifbare Dokumentationshistorie wichtig. Das Modell sieht eine Relation zwischen der Dokumentation und einer Instandhaltungsaktivität (Maintenance Activity), die durch ein geplantes oder ungeplantes Ereignis (Trigger) ausgelöst wird, vor. Das kanonische Datenmodell berücksichtigt zudem den Bezug der unterschiedlichen Konzepte zu den beteiligten oder verantwortlichen Akteuren (Role). Für die eigentliche Anwendungsintegration

zur Laufzeit sind Informationen zu den verwendeten Informationssystemen (*Information System*) notwendig. Neben den klassischen betrieblichen Informationssystemen sind zahlreiche domänenspezifische Systeme von Bedeutung. Die Klassifikation der Informationssysteme für EVUs nach Appelrath und Gonzales [12] kann als Basis für eine strukturierte Erhebung innerhalb der Domäne der regenerativen Energien dienen.

Normen und Standards. In Abbildung 4 sind ausgesuchte Normen und Standards als Teil des Datenmodells dargestellt. Da die Normenreihen IEC 61850 [13], IEC 61400-25 [14] und das Common Information Model (CIM) (IEC 61968 [15] und IEC 61970 [16]) als Unified Modeling Language (UML) Modelle verfügbar sind, wird die Erstellung eines übergeordneten Modells erleichtert. Zudem können Techniken der modellgetriebenen Softwareentwicklung [17] zur Erzeugung von bspw. Nachrichtenstrukturen angewendet werden. Für das CIM sind zudem Werkzeuge verfügbar, mit denen die Erstellung angepasster Profile möglich ist, die als Ontologie exportiert bzw. als Datenmodell verwendet werden können [18].

Alle Konzepte des Modells beziehen sich direkt oder indirekt auf eine Anlage bzw. dessen Stammdaten. Zur Unterstützung der Anforderung der Datenverteilung ist eine eindeutige und einheitliche Kennung für Anlagen notwendig. Hierzu eignet sich der Standard zum Reference Designation System for Power Plants (RDS-PP) [19]. Die eindeutige Identifikation der Energieanlage sollte über das in der Norm definierte Conjoint-Kennzeichen erfolgen. Im aktuellen Entwurf für die Anwendung von RDS-PP für Windenergieanlagen [20] ist vorgesehen, dass im Conjoint der Aufstellungsort gemäß dem World Geodetic System (VGS84) kodiert wird. Daneben sind weitere Identifikationsangaben wie bspw. eine Länderkennung möglich. Diese Informationen müssen im Konzept der *Power Plant* berücksichtigt werden.

Sowohl RDS-PP als auch die Normen IEC 61850 und IEC 61400-25 beziehen sich auf die Komponenten der Energieerzeugungsanlage. Ein Mapping zwischen den Normen ist möglich (vgl. [21]), wodurch eine Verknüpfung der Komponentenstammdaten und Betriebsdaten möglich wird.

RDS-PP bezieht sich explizit auf die Dokumentenklassifikationsnorm IEC 61355-1 [22], in der das Konzept *Document* semantisch detailliert wird. Der VGB PowerTech stellt zudem in der Richtlinie B 103 [23] eine Kennzeichensystematik für Dokumente im Kraftwerkswerbetrieb bereit. Daneben sind für den Anwendungsbereich der Instandhaltung Dokumententypen in der Norm DIN EN 13460 [24] definiert.

Für einzelne Teile des kanonischen Datenmodells konnten Konzepte aus anderen Modellen wiederverwendet werden. CIM enthält keine Klasse, die sich auf eine erneuerbare Energieanlage bezieht. Attribute für die Instandhaltung können jedoch von der Klasse *Asset* aus dem CIM Modell übernommen werden. CIM enthält zahlreiche Klassen für den Bereich der Instandhaltung wie bspw. *WorkTask* oder *ScheduledEvent*. Die Komponentendefinitionen aus bspw. RDS-PP können als Enumeration modelliert werden. Das Informationsmodell der IEC 61400-25 basiert auf dem Standard IEC 61850. Beide Standards können direkt mit der *Power Plant* bzw. mit einer *Component* in Beziehung gesetzt werden.

4 Architekturdesign

Im nachfolgenden Abschnitt wird die Architektur der Service Plattform, die aus den Anforderungen und Rahmenbedingungen abgeleitet wurde, vorgestellt. Nach einer kurzen Übersicht folgen technische Details der verschiedenen Architekturmodule.

4.1 Übersicht

Die Service Plattform ist eine Implementierung einer Integrationsplattform [8]. Ziel des Architekturdesigns ist es, fest abgegrenzte Architekturebenen im Sinne einer Schichtenarchitektur zu definieren. Dadurch wird die Gesamtkomplexität reduziert. Die Interoperabilität der verschiedenen Architekturkomponenten wird durch die Festlegung einer einheitlichen Kommunikationsmiddleware mit standardisierten Nachrichtentypen erreicht.

Aufbauend auf der Prozesserhebung und Analyse der Anforderungen konnten zahlreiche fachliche und technische Module identifiziert werden. Das Architekturkonzept unterscheidet zwischen Anwendungsmodulen, Querschnittsmodulen und technischen Architekturmodulen. Abbildung 5 stellt das Architekturdesign und die Module dar.

Die Komponenten der Plattform und die verschiedenen Plattforminstanzen werden über einen Messagebus gekoppelt. Das einheitliche Datenmodell ist eine Implementierung des in Abschnitt 3.2 beschriebenen kanonischen Datenmodells. Zu integrierende Komponenten werden mit Hilfe von Wrappern bzw. Adaptern angebunden. Für den Austausch von Betriebsdaten wird ein separater Kommunikationskanal definiert, um den regulären Bus nicht zu überlasten.

Das Design der Gesamtarchitektur und der Module folgt den Prinzipien einer serviceorientierten Architektur (SOA) (vgl. [25]), da dieser Architekturstil für die in Abschnitt 2.2 formulierten Rahmenbedingungen am besten geeignet ist. Die verschiedenen Module kommunizieren ausschließlich über Schnittstellen und sind lose miteinander gekoppelt. Somit ist die Plattform leicht an sich ändernde (z.B. gesetzliche oder technische) Rahmenbedingungen anpassbar.

Das Design der Architektur muss die strengen Anforderungen zur Datenhoheit, zum Datenschutz und zur Datensicherheit berücksichtigen. Die Architektur wird als föderiertes Informationssystem konzipiert und verwendet ein kanonisches Schema für den transparenten Zugriff auf die Module und Datenquellen. Die Verknüpfung der unterschiedlichen Daten aus den internen und externen Datenquellen erfolgt innerhalb der Plattform. Das Kommunikationsprotokoll innerhalb der Plattform garantiert die geforderte Ortstransparenz. Die eindeutige Identifikation der Anlagenstammdaten erfolgt mit Hilfe des RDS-PP Conjoint.

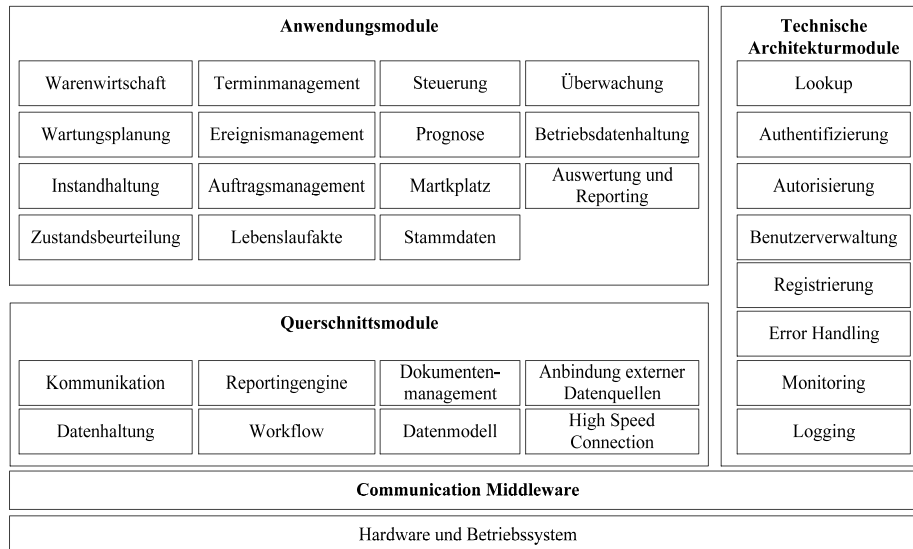


Abb. 5. Module der Service Plattform

4.2 Anwendungsmodule

Die Anwendungsmodule fassen fachliche Anforderungen zusammen. Aufbauend auf diesen Modulen wurden erste Schnittstellenspezifikationen erarbeitet. Module können Teil der Plattform sein oder als Proxyimplementierung die Anfragen an externe Applikationen weiterleiten. Anwendungsmodule besitzen Abhängigkeiten untereinander und zu Querschnittsmodulen.

Das Modul Lebenslaufakte stellt eine zentrale Komponente der fachlichen Architektur dar. Es enthält sämtliche instandhaltungsrelevanten Informationen zur Energieerzeugungsanlage über den gesamten Lebenszyklus. Die Verwaltung von Dokumentationen zur Anlage – wie z.B. Berichte, technische Beschreibungen oder Zertifikate – ist hierbei von besonderer Bedeutung. Das Modul Lebenslaufakte greift über das Dokumentenmanagementmodul auf Dokumente zu. Basis der Lebenslaufakte sind die Stammdaten zur Anlage, zum Besitzer oder zu den Anlagenkomponenten. Die Lebenslaufakte verknüpft die in den verschiedenen Informationssystemen befindlichen Informationen zur Anlage gemäß dem kanonischen Datenmodell. Die Lebenslaufakte bietet verschiedene Abfragemöglichkeiten an. Eine mögliche Abfragesprache auf das kanonische Datenmodell auf Basis der Terminologie von RDS-PP wurde in [26] beschrieben. Für die technische Umsetzung scheint das Framework JBoss Teiid [27] geeignet zu sein. Es erlaubt die Integrierung von Datenbanken, Web Services und anderen Datenquellen. Für die Absicherung des Datenzugriffs sind die technischen Module zur Authentifizierung und Autorisierung einzubinden. Mit Hilfe des Moduls Auswertung und Reporting greift der Betriebsführer oder der ISP auf die Lebenslaufakte zu und kann sich Anlagenauswertungen erstellen lassen.

4.3 Querschnittsmodule

Anwendungsmodule implementieren domänenspezifische Geschäftslogik und können auf Basisfunktionen, die durch die fachlichen Querschnittsmodule bereitgestellt werden, aufbauen. Nachfolgend sind die wichtigsten Querschnittsmodule beschrieben.

- **Kommunikation:** Die Implementierung der Anbindung der verschiedenen Energieerzeugungsanlagen ist von den Anwendungsmodulen in einem separaten Modul getrennt. Dadurch wird die Kopplung zwischen den Anwendungsmodulen und den Energieanlagen verringert. Das Modul **High Speed Connection** ist eine Sonderform der **Kommunikation**, da diese sich explizit auf den Austausch von Betriebsdaten bezieht. Für eine optimale Lastverteilung und aus Sicherheitsaspekten wird die Geschäftskommunikation von den Betriebsdaten getrennt.
- **Datenhaltung:** Stellt den Anwendungsmodulen einen Persistenzdienst zur Verfügung. Das **Dokumentenmanagement** ist eine Sonderform der Datenhaltung.
- **Datenmodell:** Dieses Modul stellt Funktionen für das kanonische Datenmodell zur Verfügung, z.B. für die Verwaltung und Abfrage der registrierten Datenquellen.
- **Workflow:** Die Service Plattform implementiert zahlreiche automatisiert ausführbare Geschäftsprozesse. Das Modul Workflow stellt hierfür Dienste zur Abbildung technischer Workflows bereit.
- **Anbindung externer Quellen:** Die Integration verschiedener innerhalb und außerhalb der Plattform befindlicher Datenquellen ist für die Implementierung der Anwendungsmodule von besonderer Bedeutung. Die spezifische Anbindungslogik der Datenquellen wird in diesem Modul gekapselt und die Daten werden in das kanonische Datenmodell übersetzt. Hierzu werden Funktionen des Moduls **Datenmodell** benötigt.

4.4 Technische Architekturmodule

Die technischen Module bilden das Rahmenwerk der Plattformarchitektur. Sie kapseln technische Details der Implementierung und stellen Funktionen zur Laufzeitüberwachung oder allgemeine technische Dienste zur Verfügung. Für die Energiebranche gelten besonders hohe Anforderungen an den Datenschutz und die Datensicherheit. Diese Anforderungen werden durch die Module Authentifizierung und Autorisierung adressiert. Die Benutzerverwaltung bildet die Basis des Sicherheitssystems. Daneben sind zahlreiche technische Module zum Fehlermanagement, Logging oder zum Monitoring des Systems notwendig. Die Anbindung einer Energieanlage ist nur möglich, wenn ein gesicherter Kommunikationskanal aufgebaut und die Anlage zertifiziert ist. Dies gilt ebenfalls für außerhalb der Plattform befindliche Anwendungssysteme. Die Module müssen als Teil der Registrierung angeben, welche Daten gemäß dem kanonischen Datenmodell sie benötigen oder bereitstellen. Zur Laufzeit ist das Lookupmodul im Sinne einer serviceorientierten Architektur für die Identifikation der berechtigten und geeigneten Komponenten verantwortlich.

5 Zusammenfassung

Neben dem Netzausbau und dem optimierten Netzmanagement ist auch die Optimierung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen ein wichtiges Forschungsfeld. Dies gilt besonders vor dem Hintergrund der sinkenden staatlichen Förderungen. In diesem Beitrag wurde, nach einer Einordnung der wirtschaftlichen Bedeutung der vorliegenden Forschungsarbeit, ein kurzer Abriss der fachlichen Anforderungen und Rahmenbedingungen für die Realisierung einer Service Plattform für die Unterstützung der Betriebsführung und Instandhaltung von erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen gegeben und ein Einblick in die Geschäftsprozessanalysen gewährt. Anschließend wurde ein hieraus abgeleitetes kanonisches Datenmodell vorgestellt, welches insbesondere auf Ergebnissen der internationalen Normung aufsetzt. Eine Präsentation der fachlichen Schichtenarchitektur der Service Plattform sowie eine Diskussion ihrer technischen Architektur und entsprechenden technischen Rahmenbedingungen rundeten die kurze „tour de horizon“ ab.

Für die nächste Zukunft ist eine von der Praxis geleitete Evaluation und Konsolidierung des kanonischen Datenmodells geplant. Die Projektpartner sind bemüht, dass diese Arbeit, ebenso wie eine bereits angefangene Referenzimplementierung der technischen Architektur, Eingang in die internationale Normungsarbeit finden wird.

Bei den fachlichen und technischen Überlegungen zur Plattformarchitektur stand die prinzipielle praktische und technische Machbarkeit im Vordergrund. Um die Zukunftsfähigkeit der Arbeit zu garantieren, bedarf es einer ausführlichen Evaluation der Betreibermodelle und der Systemarchitektur mit Hinblick auf die Möglichkeiten des Cloud Computing.

Literatur

1. Statista: Erneuerbare Energien – Anteil an der Bruttostromerzeugung bis 2011. Anteil erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung in Deutschland in den Jahren von 1990 bis 2011, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/1807/umfrage/erneuerbare-energien-anteil-der-energiebereitstellung-seit-1991>
2. Schmidt, J., Mühlhoff, J.: Erneuerbare Energien 2020 – Potentialatlas Deutschland. Berlin (2010)
3. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung; Dreisprachige Fassung EN 13306:2010. Beuth GmbH, Berlin (2010)
4. Sonnenberg, M., Schmidt, J., Kühne, S.: Klassifikation von Dienstleistungen der technischen Betriebsführung regenerativer Energieanlagen. In: The International Symposium on Services Science (ISSS 2012). LIV, Leipzig (2012)
5. Ringhandt, A., Schubert, A., Hahn, B., Schulz, V., Sucrow, W.: Von den Konventionellen lernen? Teil 1 bis 3. Erneuerbare Energien (2007)
6. Thränert, M.: Integration-Engineering. Grundlagen, Vorgehen und Fallstudien. LIV, Leipzig (2009)
7. Hohpe, G., Woolf, B., Brown, K.: Enterprise integration patterns. Designing, building, and deploying messaging solutions. Addison-Wesley, Boston (2004)
8. Liebhart, D.: Integration Architecture Blueprint. Leitfaden zur Konstruktion von Integrationslösungen. Hanser, München (2008)

9. Becker, D., Falk, H., Gillerman, J., Mauser, S., Podmore, R., Schneberger, L.: Standards-based approach integrates utility applications. *IEEE Comput. Appl. Power* 13, pp. 13–20 (2000)
10. Robinson, G., Zhou, M.: Utility applications should be integrated with an interface based on a canonical data model, not directly with each other. In: *IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*. 2004, pp. 1169–1173. IEEE (2004)
11. Uslar, M.: Semantic interoperability within the power systems domain. In: *Proceedings of the first international workshop on Interoperability of heterogeneous information systems - IHIS '05*. pp. 39–45. ACM Press (2005)
12. Appelrath, H.-J., González, J.M.: Informationstechnik in der Energiewirtschaft. In: Beck, H.-P., Bauer, A., Meller, E., Salander, C. (eds.): *Handbuch Energiemanagement*. pp. 10510–10534. EW Medien und Kongresse GmbH, Frankfurt am Main (2010)
13. International Electrotechnical Commission: Communication networks and systems in substations – ALL PARTS. IEC 61850-SER ed1.0 (2012)
14. International Electrotechnical Commission: Wind turbine generator systems – ALL PARTS. IEC 61400-SER ed1.0 (2011)
15. IEC International Electrotechnical Commission: Normenreihe IEC 61968 (2003 bis 2012)
16. IEC International Electrotechnical Commission: Normenreihe IEC 61970 (2004 bis 2011)
17. Stahl, T., Völter, M., Efftinge, S., Haase, A.: *Modellgetriebene Softwareentwicklung: Techniken, Engineering, Management*. dpunkt. (2007)
18. Uslar, M., Specht, M., Rohjans, S., Trefke, J., Vasquez Gonzalez, J.M.: *The Common Information Model CIM. IEC 61968/61970 and 62325 – A practical introduction to the CIM*. Springer, Berlin (2012)
19. IEC International Electrotechnical Commission: Technical product documentation – Reference designation system – Part 10: Power plants. ISO/TS 16952-10 (2008)
20. VGB Powertech: RDS-PP Application specification Part 32: Wind energy - Draft VGB PowerTech Service GmbH, http://www.vgb.org/vgbmultimedia/AKADNEU/VGB_S_823_T32_EN_2012_02_03_Draft_Final1.pdf
21. Erol, D.: *Reference Architecture for Wind Power Integration. Information Modeling*. Stockholm (2009)
22. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: *Klassifikation und Kennzeichnung von Dokumenten für Anlagen, Systeme und Ausrüstungen - Teil 1: Regeln und Tabellen zur Klassifikation (IEC 61355-1:2008); Deutsche Fassung EN 61355-1:2008*. DIN EN 61355-1 Beuth GmbH, Berlin (2009)
23. VGB Powertech: *Kennbuchstaben für Dokumentenartklassen in Kraftwerken (DCC-Schlüssel)*. VGB B 103, VGB PowerTech Service GmbH, Essen (2010)
24. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: *Instandhaltung – Dokumente für die Instandhaltung; Deutsche Fassung EN 13460:2009*. DIN EN 13460, Beuth GmbH, Berlin (2009)
25. Heutschi, R.: *Serviceorientierte Architektur. Architekturprinzipien und Umsetzung in die Praxis*. Springer, Berlin (2007)
26. Schmidt, J., van Hoof, A.: Towards a Cooperative Life Cycle Documentation for Distributed Renewable Energy Power Plants. In: *7th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE 2012)*, pp. 32–37, Genoa (2012)
27. JBoss: *JBoss Teiid*, <http://www.jboss.org/teiid>