

Konzeption einer digitalen Lebenslaufakte für Erneuerbare-Energie-Anlagen

Johannes Schmidt

Institut für Angewandte Informatik e.V.
schmidt@infai.org

Antonius van Hoof

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

Stefan Kühne

Universität Leipzig
kuehne@informatik.uni-leipzig.de

Zusammenfassung—Die Lebenslaufakte einer Erneuerbare-Energie-Anlage enthält sämtliche zu dokumentierenden Informationen, die entlang des Anlagenlebenszyklus entstehen. Bisher liegen keine verbindlichen Festlegungen zur Semantik und Struktur solch einer Lebenslaufakte vor. Hieraus resultieren fachliche und informationstechnische Probleme, die eine effiziente Zusammenarbeit der Akteure und die qualitativ hochwertige Pflege der Lebenslaufakte erschweren. Dieser Beitrag beschreibt die Konzeption der Lebenslaufakte. Hierzu wird ein Entwicklungsansatz basierend auf etablierten Normen und Standards vorgestellt. Zudem werden verschiedene Implementierungsansätze für eine digitale Lebenslaufakte untersucht.

I. EINFÜHRUNG

In Deutschland nimmt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen eine besondere Stellung ein. Durch die Einführung des Erneuerbare-Energie-Gesetzes (EEG) ist die Zahl an Erneuerbare-Energie-Anlagen in den letzten Jahren stark gestiegen. Diese haben in diesem Jahr zeitweise bereits mehr Strom in das deutsche Stromnetz eingespeist als konventionelle Kraftwerke [1].

Das EEG sieht eine jährliche Degression der Vergütungssätze vor. Um profitabel zu bleiben, sind die Anlagenbetreiber von Erneuerbare-Energie-Anlagen angehalten, ihre Stromgestehungskosten zu optimieren. Eine Möglichkeit ist, neue Synergien aus den Wertschöpfungsnetzen [2] zu erschließen, wie dies bereits im Bereich der konventionellen Energieerzeugung geschieht [3].

Die unternehmensübergreifende Kooperation der Akteure bedingt eine enge Integration ihrer Informationssysteme. Dies gilt für die Energiewirtschaft im Allgemeinen (vgl. [4], [5]). Die hieraus resultierenden Verbesserungen im Datenaustausch und die Erhöhung des Automatisierungsgrads der Prozesse führen zu spürbaren Effizienzsteigerungen und somit zu Kostensenkungen.

Eine solch enge Kooperation setzt die vollständige (technische) Dokumentation zur Anlage, Lebenslaufakte genannt, und deren gemeinsame Erstellung und Pflege voraus. Sie dient als Entscheidungs- und Vorbereitungsbasis für durchzuführende Maßnahmen und als Hilfsmittel zum Nachweis des gesicherten Anlagenbetriebs.

Dieser Beitrag befasst sich sowohl mit fachlichen als auch technischen Fragestellungen zum Datenaustausch zwischen Mitgliedern eines Wertschöpfungsnetzes für Erneuerbare-Energie-Anlagen. Die Arbeit betrachtet die Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie sowie aus Biomasse. Abschnitt II analysiert die relevanten Akteure in Bezug auf

den Anlagenlebenszyklus und definiert die Struktur der Lebenslaufakte. Abschnitt III befasst sich mit den Potentialen und informationstechnischen Anforderungen an eine digitale Lebenslaufakte. Anschließend setzt sich Abschnitt IV mit möglichen Implementierungsansätzen solch einer digitalen Lebenslaufakte auseinander.

II. DOKUMENTATION FÜR ERNEUERBARE-ENERGIE-ANLAGEN

Im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken sind beim Betrieb von Erneuerbare-Energie-Anlagen häufig unterschiedliche Unternehmen und Dienstleister involviert. Dies erfordert „Vereinbarungen für die Dokumentation der Anlagen, der Komponenten und der Maßnahmen sowie die Festlegung von Informationsflüssen zwischen den Beteiligten an den verschiedenen Prozessen.“ [3, Teil 2, S. 34]. Bis heute fehlen derartige Festlegungen größtenteils. Es mangelt an gemeinsamen Informationsstruktur- und Prozessdefinitionen im Sinne von Standards und Richtlinien. Dies erkennt man u. a. daran, dass kein gemeinsames Verständnis zur Struktur und Handhabung der Lebenslaufakte existiert, obwohl sie für viele Mitglieder des Wertschöpfungsnetzes von besonderer Bedeutung ist. Im Folgenden werden die beteiligten Akteure entlang des Lebenszyklus einer Erneuerbare-Energie-Anlage und eine Definition der Lebenslaufakte vorgestellt.

A. Akteure im Anlagenlebenszyklus

Gemäß [6, S. 23] beschreibt der Anlagenlebenszyklus eine Folge von Lebensphasen einer Anlage. Dieser Beitrag bezieht sich auf einen vereinfachten Anlagenlebenszyklus bestehend aus der Planungs-, Errichtung-, Betriebs- und Entsorgungsphase (vgl. auch Tabelle I). Die Phasen werden sequentiell durchlaufen. Sowohl innerhalb einer Phase als auch bei einem Phasenübergang werden Informationen ausgetauscht.

In der Planungsphase wird die Finanzierung der Anlage festgelegt, ein passender Standort identifiziert und die Anlage entworfen und genehmigt. Die Errichtung erfolgt durch den Anlagenhersteller in Zusammenarbeit mit dem Anlagenbetreiber. Die Errichtungsphase endet mit dem Abschluss der Inbetriebnahme. Die Betriebsphase ist typischerweise bei Erneuerbare-Energie-Anlagen die längste Lebenszyklusphase, in der zahlreiche (wiederkehrende) Prozesse, wie bspw. Anlagenüberwachung, Instandhaltung, Begutachtung oder auch kaufmännische Prüfung und Auswertung, durchlaufen werden. Die wichtigsten Dienstleistungen in dieser Lebenszyklusphase sind in [7] zu finden. Am Ende der Betriebsphase wird die Entsorgung vorbereitet.

Tabelle I zeigt die wichtigsten Akteure und ordnet sie den Phasen des Anlagenlebenszyklus zu. Die den Akteursnamen zugrunde liegenden Quellen sind in Klammern gesetzt. Art und Umfang der Beteiligung eines Akteurs ist von den jeweiligen Vertragsbedingungen abhängig. Der Anlagenbetreiber, oder stellvertretend der Betriebsführer, ist für den ordnungsgemäßen, sicheren Betrieb der Energieanlage verantwortlich. In der Windenergiebranche übernimmt bspw. der Anlagenhersteller in der Zeit der Gewährleistung oder im Rahmen eines sog. Full-Service-Vertrags die Rolle des Betriebsführers. Nach Ende der Vertragslaufzeit wird die Anlage dem Betriebsführer bzw. dem Anlagenbetreiber übergeben. Dieser kann auf den Anlagenhersteller als Instandhaltungsdienstleister zurückgreifen oder unabhängige Dritte bzw. eigenes Personal für die Betriebs- und Wartungsaufgaben einsetzen. Versicherungen stellen Anforderungen an die Wartung und Betriebsführung der Anlagen, um ihr Versicherungsrisiko zu verringern (vgl. [8]). Banken verlangen wiederum den Abschluss von Versicherungen, um Kredite abzusichern. Netzbetreiber stellen den Netzanschluss für die Anlage zur Verfügung und könnten ggf. die Einspeisung in das Stromnetz regulierend steuern.

Tabelle I. BETEILIGTE AKTEURE IM ANLAGENLEBENSZYKLUS

	Planung	Errichtung	Betrieb	Entsorgung
Anlagenbetreiber (VDE-AR-N 4120)	●	●	●	●
Betriebsführer (FGW TR 7 A)		●	●	●
Anlagenhersteller	●	●	●	
Gutachter (FGW TR 7 A)		●	●	●
Bank	●	●	●	
Versicherung	●	●	●	
Instandhaltungsdienstleister (DIN EN 13269)		●	●	
Behörde	●	●	●	●
Netzbetreiber (EnWG)		●	●	

Grundlegend können Akteure auf Informationen aus einer der vorherigen oder der aktuellen Phase angewiesen sein (vgl. auch [9]). Während der Inbetriebnahme muss der Anlagenhersteller dem Anlagenbetreiber verschiedene Dokumente in Form einer Übergabedokumentation bereitstellen. Neben dem Anlagenbetreiber sind u. a. Gutachter, Instandhaltungsdienstleister oder der Betriebsführer auf diese Informationen angewiesen. Auf der anderen Seite benötigt bspw. der Gutachter sämtliche Wartungsberichte von allen Instandhaltungsdienstleistern, die im Rahmen der Betriebsphase an der Anlage gearbeitet haben.

B. Lebenslaufakte für Erneuerbare-Energie-Anlagen

Die Anlagenbetreiber von Erneuerbare-Energie-Anlagen sind verpflichtet, verschiedene Dokumentationsaufgaben zu leisten, die bspw. durch Behörden oder Versicherungen vorgeschrieben und auf Anfrage vollständig bereitzustellen sind. In diesem Kontext wird häufig der Begriff Lebenslaufakte verwendet. Bis heute liegt jedoch kein einheitliches Verständnis über die Definition und Struktur der Lebenslaufakte in der Branche vor. Derzeit greift das Normungsvorhaben zur DIN SPEC 91303 dieses Problem auf [10].

In vielen Branchen, wie bspw. in der Luftfahrt oder im Anlagenbau, werden ebenfalls Lebenslaufakten gepflegt (vgl. auch [11]). Als Synonym für Lebenslaufakte werden

die Begriffe Lebensakte, Maschinenakte oder auch Anlagendokumentation verwendet, wobei die unterschiedlichen Definitionen semantische Konflikte aufweisen.

In der Luftfahrt ist gesetzlich vorgeschrieben, dass alle am Flugzeug durchgeführten Tätigkeiten nachvollziehbar und vollständig dokumentiert werden müssen. In [12] ist der Aufbau einer solchen Lebenslaufakte exemplarisch dargestellt. Betreiber von verfahrenstechnischen Anlagen sind ebenfalls aufgefordert, eine vollständige Dokumentation zur Anlage zu pflegen. Weber verwendet den Begriff der Gesamtdokumentation synonym zu Lebenslaufakte und versteht darunter „alle Dokumente, die im Leben der verfahrenstechnischen Anlage erstellt, verwaltet und archiviert werden“ [13, S. 50]. Nach Schenk verfolgt die Lebenslaufakte die „vollständige Dokumentation aller relevanten Daten und Informationen zu den technischen Anlagen, einschließlich von Veränderungen über den gesamten Lebenszyklus“ [14, S. 37]. Balzer und Schorn verstehen die Anlagendokumentation als Ablagestruktur für sämtliche Bestands-, Bewegungs- und Prozessdaten zur Anlage [15, S. 286]. Gemäß der IG EVU bezieht sich die Anlagendokumentation jedoch ausschließlich auf „alle Dokumente, die die Komponenten der gesamten Anlage und ihr Zusammenwirken beschreiben“ [16, S. 6].

Der Vergleich der Begriffsdefinitionen zeigt, dass der Funktionsumfang einer Lebenslaufakte unterschiedlich bewertet wird. In einigen Fällen enthält die Lebenslaufakte ausschließlich Wartungspläne, Maßnahmenokumentationen und technische Informationen zu den Komponenten, jedoch keine Ereignisdokumentationen. Die meisten Beschreibungen definieren, dass die Lebenslaufakte nur Informationen über bereits abgeschlossene Tätigkeiten enthält. Andererseits soll die Lebenslaufakte auch geplante Stillsetzungen oder Wartungsmaßnahmen enthalten [17].

Die obigen Definitionen beziehen sich häufig auf die Lebenslaufakte als Dokumentensammlung mit evtl. angegliedertem Dokumentenmanagement. Dies ist jedoch in der Art unzureichend, dass bspw. Betriebsdaten nicht als Dokumente verstanden werden.

Diese Arbeit definiert die Lebenslaufakte für Erneuerbare-Energie-Anlagen als die Fortschreibung der Übergabedokumentation des Anlagenherstellers mit der Betriebs- und Rückbaudokumentation durch den Anlagenbetreiber bzw. Betriebsführer. Sie stellt somit die chronologische, vollständige Dokumentation zur Anlage entlang des gesamten Anlagenlebenszyklus dar (vgl. auch [13], [18]).

Die in der Lebenslaufakte enthaltenen technischen Informationen zur Anlage und ihrer Bauteile basieren auf den jeweiligen technischen Dokumentationen („as-Built“ Dokumentation). Diese werden im weiteren Verlauf des Lebenszyklus bei technischen Änderungen an der Anlage aktualisiert („as-Running“ Dokumentation). Weiterhin sind in der Lebenslaufakte alle betriebsrelevanten Ereignisse (z. B. Störungen) und daraufhin eingeleitete Maßnahmen dokumentiert (Logbuch [19]).

III. DIGITALE LEBENSLAUFAKTE

Die computergestützte Realisierung der Lebenslaufakte wird nachfolgend *digitale Lebenslaufakte* genannt. Der Anlagenbetreiber bzw. Betriebsführer ist bei ihrer Erstellung und

Pflege auf die Mitwirkung Dritter angewiesen. Sie definiert den formalen Rahmen für den unternehmensübergreifenden elektronischen Datenaustausch. Dieser Abschnitt fasst die wesentlichen Vorteile und Anforderungen an eine digitale Lebenslaufakte zusammen.

A. Motivation

Die Bedeutung einer standardisierten digitalen Lebenslaufakte nimmt mit steigender Größe des Wertschöpfungsnetzes zu. Gemeinsame strukturelle Festlegungen ermöglichen eine vereinfachte Ablage und Suche der Dokumente und Daten. Hierdurch soll der Aufwand zur Pflege der Lebenslaufakte verringert werden. Definiert man zudem formale Abhängigkeiten zwischen den Elementen der Lebenslaufakte, können diese automatisiert überprüft werden. Somit kann bspw. die Übergabedokumentation für Photovoltaikanlagen [20] auf Vollständigkeit geprüft werden. Die Verwendung standardisierter Typisierungen (Klassifikationssysteme) für bspw. Dokumente oder Anlagenzustände vereinfacht die gemeinsame Verwendung der Lebenslaufakte.

Die digitale Lebenslaufakte dient dem Anlagenbetreiber zur Entscheidungsunterstützung und als Informationsbasis zur Kommunikation zwischen allen Akteuren. Diese Art des Informationsaustauschs mit Hilfe solch einer digitalen Lebenslaufakte bringt Verbesserungen bspw. bei der Direktvermarktung des erzeugten Stroms (vgl. [17], [21]) oder bei der Erstellung von Treibhausgasbilanzen [22] für Biomasseanlagen. Ein weiterer Vorteil einer digitalen Lebenslaufakte besteht darin, dass aus ihr alle notwendigen Nachweisdokumentationen z. B. für Behörden oder Gutachter aber auch individuelle Dokumentationen für bspw. Instandhaltungsdienstleister automatisiert erzeugt werden können.

Die Vorteile einer digitalen Lebenslaufakte sind hiermit nicht abschließend beleuchtet. Es ist zu erwarten, dass sich durch die bedarfsgerechte Bereitstellung von Informationen zu Erneuerbare-Energie-Anlagen neuartige Mehrwertdienste am Markt entwickeln werden.

B. Anforderungen

Aus Literaturanalysen zum Thema Lebenslaufakte sowie aus Interviews mit Domänenexperten wurden die folgenden Anforderungen an eine digitale Lebenslaufakte abgeleitet, auf deren Basis in Abschnitt IV mögliche Lösungsansätze untersucht und bewertet werden:

- *Ganzheitlichkeit*: Die Lebenslaufakte soll verschiedene Typen und Modelle von Erneuerbare-Energie-Anlagen unterstützen.
- *Standardisierung*: Die Konzeption der Lebenslaufakte soll auf etablierten Standards, Normen und Richtlinien beruhen, um eine möglichst große Akzeptanz und Integrationsfähigkeit zu gewährleisten (vgl. Tabelle II).
- *Anlagenbezug*: Die Lebenslaufakte selbst und ihre Einträge besitzen einen direkten Bezug zur Anlagenstruktur.
- *Vollständigkeit*: Die Dokumentation in der Lebenslaufakte muss vollständig sein.
- *Dauerhaftigkeit*: Teile der Informationen in der Lebenslaufakte sind über einen langen Zeitraum vorzuhalten. Der technische Aufbau und Betriebszustand der

Erneuerbare-Energie-Anlage muss sich zu jedem zurückliegenden Zeitpunkt eindeutig rekonstruieren lassen.

- *Erweiterbarkeit*: Die Lebenslaufakte muss die Möglichkeiten bieten, kundenindividuelle Anpassungen vorzunehmen bzw. Erweiterungen einzupflegen.
- *Revisionssicherheit*: Alle Änderungen in der Lebenslaufakte müssen dauerhaft und nachvollziehbar dokumentiert sein.
- *Datenschutz und -sicherheit*: Aktuelle Standards zum Datenschutz und zur Datensicherheit müssen berücksichtigt werden.

IV. KONZEPTION DER DIGITALEN LEBENSLAUFAKTE

Grundlegend für die technische Realisierung der Lebenslaufakte ist ein konzeptionelles Datenmodell (vgl. [23, S. 135ff], [24, S. 12ff]). Aus der Analyse der gemeinsamen Eigenschaften und Beziehungen der verschiedenen Informationsobjekte ergeben sich die Modellelemente. Dabei kann auf bestehenden Modellen aus Standards und Normen (vgl. Tabelle II) aufgebaut werden. Die technischen Informations-[25, S. 102ff] und Integrationsbedarfe [26] setzen die Rahmenbedingungen für die Implementierung einer digitalen Lebenslaufakte. Hierzu sind die betrieblichen Informationssysteme der beteiligten Akteure zu dokumentieren, zu klassifizieren und mit den Elementen des Datenmodells in Beziehung zu setzen.

A. Konzeptionelles Datenmodell

Basis der Modellierung ist eine umfassende Prozess- und Literaturanalyse. Hinzu kommen Erkenntnisse aus der Analyse der relevanten Informationssysteme (vgl. auch [27], [28]) und ihrer Informationsobjekte. Ziel ist es, einheitliche Strukturen zu entwickeln, generische Datenobjekte zu identifizieren und zu klassifizieren.

1) *Strukturbildung*: Das Konzept der Lebenslaufakte unterscheidet zwischen der statischen Dokumentation (im Sinne eines Dokumentenmanagements [31]) und ergänzenden Bewegungsdaten wie bspw. Betriebsdaten oder Ereignisse.

Ein System beschreibt Objekte und ihre Beziehungen zueinander, die zum Zwecke der Erreichung eines spezifischen materiellen oder immateriellen Ziels als zusammengehörend betrachtet werden (vgl. [33]). Somit besteht ein System aus einer Struktur und einer Interpretation darauf. Gemäß der Systemtheorie ist der Systembegriff rekursiv [34]. Eine Anlage ist ein System unter dem Gesichtspunkt der materiellen (z. B. technischen, physikalischen oder chemischen) Zielerreichung. Eine Erneuerbare-Energie-Anlage ist eine Anlage mit dem Ziel der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen.

Die Anlagenstruktur kann durch einen Graphen beschrieben werden. Für verschiedene Interpretationen der Anlagenstruktur wurde das Konzept der Aspekte eingeführt [35]. Jeder Aspekt beschreibt einen Teilgraphen der Anlagenstruktur, der i. d. R. als gerichteter azyklischer Graph darstellbar ist. So bezieht sich bspw. der Standard Reference Designation System for Power Plants (RDS-PP) [36] auf die Aspekte Funktion, Ort und Produkt der Anlagenstruktur für Kraftwerke. Zwischen den verschiedenen Teilgraphen sind Übergänge definiert worden.

Die Anlagenstruktur beschreibt alle wesentlichen Betrachtungseinheiten der Anlage. Die Lebenslaufakte beinhaltet u. a. Dokumente, Stammdaten, Betriebsdaten und Ereignisse, die sich jeweils konzeptionell auf die Anlage selbst oder auf ein Element innerhalb der Anlagenstruktur beziehen. Somit ist es sinnvoll, alle Informationen in der Lebenslaufakte zu ihr in Beziehung zu setzen. Abbildung 1 zeigt die Zusammenhänge zwischen den Einträgen der Lebenslaufakte.

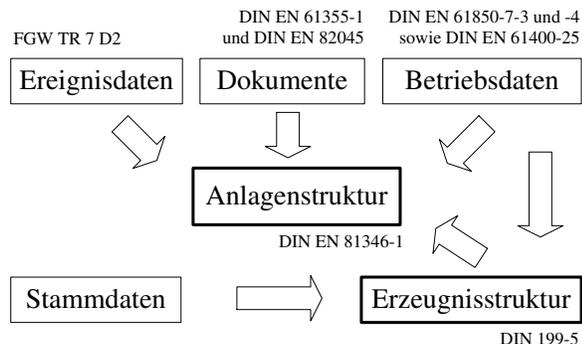


Abbildung 1. Strukturbeziehungen innerhalb der Lebenslaufakte

Dokumente bilden eine eigene (hierarchische) Struktur konform zu gängigen Dokumentenklassifikationen, wie bspw. in [37] beschrieben. Zudem können Dokumente gemäß [31] Beziehungen untereinander besitzen, wie bspw. „ist Kopie von“, „zitiert“ oder „ersetzt“. Dokumente können sich auf beliebige Elemente der Anlagenstruktur beziehen.

Die materielle Ausprägung der Anlage besteht aus einer Hierarchie aus Bauteilgruppen und Bauteilen. Diese Hierarchie wird als Erzeugnisstruktur bezeichnet [38]. Die Lebenslaufakte enthält sowohl *Stammdaten* zur Anlage (z. B. Anlagenschlüssel oder Standortinformationen) als auch zu allen Bauteilen (z. B. Seriennummer oder Hersteller). Die Verbindung zwischen Anlagen- und Erzeugnisstruktur ist zwar nicht verbindlich definiert, das Datenmodell der Lebenslaufakte muss sie jedoch berücksichtigen, da bspw.

Änderungen an der Erzeugnisstruktur ggf. eine Änderung an der Anlagenstruktur zur Folge haben kann.

Betriebsdaten gemäß DIN EN 61850 und DIN EN 61400-25 bilden ebenfalls eine hierarchische Struktur. Die Normen definieren logisch zusammenhängende Gruppen, Logical Nodes genannt, die sich implizit auf Elemente der Anlagenstruktur beziehen. Viele Attribute der Logical Nodes sind als optional definiert. Somit ist deren Implementierung herstellerspezifisch und vom jeweiligen Bauteil abhängig. Hieraus ergibt sich eine Verbindung zwischen den Betriebsdaten und der Erzeugnisstruktur sowie der Anlagenstruktur.

Ereignisdaten geben Auskunft über den Betriebszustand der Anlage. Die Richtlinie zum Zustands-Ereignis-Ursachen-Schlüssel (ZEUS) [32] definiert eine Klassifikation von Zuständen mit Bezug zur Anlagenstruktur. Die Richtlinie sieht einen Verweis auf die Anlagenstruktur explizit vor.

2) *Modelle und Daten*: Die Lebenslaufakte sollte auf etablierten Standards und Normen basieren. Tabelle II beschreibt für die Lebenslaufakte relevante Normen. Einige dieser Modelle liegen in der Unified Modeling Language (UML) vor. Da die UML in der Normung verbreitet ist, wird das Datenmodell der Lebenslaufakte aus Gründen der Wiederverwendung ebenfalls in UML erstellt.

Das Modell zur Lebenslaufakte sollte ohne Verlust der Konformität an die individuellen Bedürfnisse der Akteure anpassbar sein. So sind bspw. im IEC Common Information Model (CIM) [29] die Attribute der darin definierten Klassen grundsätzlich als optional definiert. Erst durch die Erstellung eines Profils werden die konkreten Multiplizitäten festgelegt. Das bedeutet jedoch, dass vor der Anwendung des CIM zum Datenaustausch eine Festlegung auf ein gemeinsames Profil notwendig ist. Diese Methode ist auch für die Konzeption der Lebenslaufakte von Relevanz.

B. Implementierungsansätze

Die computergestützte Realisierung der Lebenslaufakte basiert auf dem konzeptionellen Datenmodell, das die

Tabelle II. RELEVANTE MODELLE AUS DER NORMUNG

Norm / Richtlinie	Modellart ¹	Anmerkung
IEC 61970 / IEC 61968	Domänenmodell / Ontologie	Die Normenreihe zum Common Information Model (CIM) ist sehr umfangreich und beschreibt sowohl eine Domänenontologie als auch technologische Festlegungen für die Domäne der Energieerzeugung [29], [30]. Die IEC pflegt im Rahmen der Normung ein UML Modell zum CIM. Besonders die Teilmodelle Operation, Asset und Work sind für die Konzeption einer digitalen Lebenslaufakte interessant.
DIN EN 82045-2	Informationsreferenzmodell	Diese Norm beschreibt ein Informationsmodell für das Dokumentenmanagement [31]. Es werden Entitäten und Relationen zwischen ihnen definiert. Das Modell ist als Document Type Definition (DTD) und als EXPRESS-G Modell verfügbar. Eine Umwandlung in UML ist möglich. Einige Entitäten sind bereits im CIM integriert.
FGW TR 7 D2	Informationsmodell	Mit Hilfe des Zustands-Ereignis-Ursachen-Schlüssels (ZEUS) [32] können Anlagenzustände eindeutig beschrieben werden. Daneben lassen sich weitere Informationen wie z. B. die Bewertung eines Fehlerereignisses oder die Angabe von notwendigen Maßnahmen beschreiben. ZEUS liegt nur in Textform vor, ist jedoch leicht in ein UML Modell überführbar.
DIN EN 61850	Informationsmodell	Die Normenreihe definiert ein Informationsmodell für Kommunikationsnetze und -systeme in Stationen. Im Basismodell werden Systeme und Systemelemente als Logical Devices (LD) und Logical Nodes (LN) abgebildet. Zusätzlich werden zahlreiche Data Classes (DC) definiert. In der Normenreihe werden zahlreiche spezifische LNs für die unterschiedlichen Systeme definiert: Logical Teil 7-410 bezieht sich auf Wasserkraftwerke, Teil 7-420 auf dezentrale Energieerzeugungsanlagen (z. B. Photovoltaikanlagen). Das Modell liegt als UML Modell vor.
DIN EN 61400-25	Informationsmodell	Diese Normenreihe basiert auf dem Informationsmodell der DIN EN 61850 und definiert spezifische LNs und DCs für Windenergieanlagen. Die Modellierung in UML befindet sich in Arbeit.
FWG TR 7 D3	Informationsmodell	Ziel des Global Service Protocol (GSP) ist die Definition eines Informationsmodells für instandhaltungsrelevante Daten von Erneuerbare-Energie-Anlagen. Es setzt u. a. auf ZEUS auf. Aktuell befindet sich die Richtlinie in Bearbeitung und wird als XML Schema bereitgestellt werden. Eine Umwandlung in UML ist möglich.

¹ Gemäß DIN EN 82045-1 ist ein Informationsmodell eine „implementierungsunabhängige Spezifikation von Informationsstrukturen“ [31, S. 7]. Ein Domänenmodell ist ein auf eine Domäne bezogenes Informationsmodell.

gültigen Konzepte beschreibt. Die Daten und Dokumente zur Anlage sind heute in den unterschiedlichen betrieblichen Informationssystemen der beteiligten Akteure gespeichert. Das Datenmodell der Lebenslaufakte stellt die Basis für die Integration dieser Systeme dar.

Für die Auswahl einer geeigneten Implementierungsstrategie kann man auf etablierte Muster (Patterns) zur Datenintegration zurückgreifen. Schwinn und Schwelp unterscheiden zwischen Lösungen mit und ohne Datenredundanz [39]. Redundanzfreie Implementierungen lassen sich als direkten oder indirekten Datenzugriff realisieren. Ist Redundanz notwendig, kann man zwischen einer gemeinsamen und einer lokalen Kopie unterscheiden. In [40] wurde diese Systematik um den Aspekt der unmittelbaren bzw. zeitverzögerten Datenverarbeitung erweitert.

1) *Implementierung mit Datenredundanz*: Aus dem konzeptionellen Datenmodell kann ein Datenaustauschformat abgeleitet werden. Die Integrierung der Informationssysteme erfolgt auf der Anwendungs- oder Datenebene, wobei Adapter zur Herstellung der Integrationsfähigkeit eingesetzt werden können. In der Energiewirtschaft wird bspw. ein auf UN/EDIFACT basierendes Datenaustauschformat verwendet [41]. Das aktuell laufende Projekt Global Service Protocol (GSP) wird ebenfalls ein Datenaustauschformat definieren. Dieser Ansatz des direkten Datenaustauschs ist verhältnismäßig einfach zu realisieren, jedoch sind die Anforderungen an die Vollständigkeit und Revisionssicherheit nur unzureichend erfüllt.

Als Erweiterung zum genannten Ansatz ist eine Implementierung der Lebenslaufakte mit Hilfe von Mehrrechner-Datenbanksystemen [42] oder Data-Warehouse-Systemen zu sehen. Solch eine Lösung erfüllt die Anforderungen an die Vollständigkeit und Revisionssicherheit der Lebenslaufakte. Das konzeptionelle Datenmodell wird als globales Schema in einer Datenbank realisiert. Ein derartiger Ansatz wird z. B. vom Wissenschaftlichen Mess- und Evaluierungsprogramms (WMEP) zur Speicherung von Ertrags- und Wartungsdaten sowie Dokumenten verwendet [43].

2) *Implementierung ohne Datenredundanz*: Ein weiterer Implementierungsansatz ist die Integrierung der Informationssysteme durch die Bildung eines föderierten Informationssystems [44] auf Basis eines gemeinsamen virtuellen Schemas. Die Systeme sind virtuell integriert [25]. Die Daten und Dokumente aus den unterschiedlichen Systemen werden zur Laufzeit miteinander verknüpft. Die Autonomie der Informationssysteme bleibt unverändert. Die Daten werden ausschließlich auf Anfrage Berechtigten zur Verfügung gestellt. Implementierungen auf Basis von Linked Data [45] scheinen grundlegend geeignet zu sein, sind jedoch bisher im Bereich der Erneuerbaren Energien nicht verbreitet. Für das Common Erneuerbare Model existieren bereits verschiedene Implementierungen [30].

Um die Kopplung zwischen den Informationssystemen zu minimieren, werden die meisten föderierten Systeme mittels eines Mediator-Musters [39] realisiert. Dies setzt eine vertrauenswürdige (Kommunikations-)Plattform voraus. Im Forschungsprojekt EUMONIS wird die Architektur einer solchen Plattform untersucht (vgl. [46]).

Problematisch bei der Implementierung ohne Datenredundanz ist, dass über die lange Lebenszeit einer Anlage die Verfügbarkeit der verschiedenen Informationssysteme nicht gewährleistet werden kann. Die Anforderung der Vollständigkeit an die Lebenslaufakte würde somit (zumindest temporär) verletzt werden. Für die Gewährleistung der Revisionssicherheit stellt diese Art der Implementierung zudem hohe Anforderungen an ein professionelles Datenmanagement der verschiedenen Betreiber der jeweils autonomen Informationssysteme.

3) *Hybrider Ansatz*: Der Implementierungsansatz ohne Datenredundanz (föderiertes Informationssystem) realisiert eine Datenintegration zur Anfragezeit. Aus Gründen eines optimierten Laufzeitverhaltens sowie zur Sicherstellung der Anforderung der Vollständigkeit und Dauerhaftigkeit ist es ggf. sinnvoll, z. B. mit Hilfe von Cachingmechanismen die integrierten Anfragergebnisse in einem eigenen System zu persistieren.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Die digitale Lebenslaufakte hat zum Ziel, die Zusammenarbeit der am Anlagenlebenszyklus beteiligten Akteure zu verbessern. Zurzeit existiert im Kontext der Erneuerbaren Energien kein einheitliches Begriffsverständnis über Form und Inhalt der Lebenslaufakte. Dieser Beitrag stellt eine erste Begriffsdefinition zur Diskussion. Basis einer Realisierung der Lebenslaufakte ist die detaillierte Analyse der Informationsobjekte, der akteurspezifischen Informationsbedarfe und bestehender Normen und Standards. Das hieraus abgeleitete konzeptionelle Datenmodell bildet die Grundlage für die Implementierung. Anschließend wurden verschiedene Ansätze der Implementierung vorgestellt. Sie sollen in Zukunft in dedizierten Studien einander genauer gegenübergestellt werden. Hierzu sind außerdem die Anforderungen an die Datensicherheit und den Datenschutz genauer zu untersuchen, da die Realisierung der digitalen Lebenslaufakte maßgeblich von der Akzeptanz der Akteure und im Besonderen der Anlagenbetreiber bzw. Betriebsführer abhängt.

VI. DANKSAGUNG

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundprojekts EUMONIS (Förderkennzeichen: 01IS10033).

LITERATUR

- [1] Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR), "Rekord: Wind- und Solaranlagen produzieren mehr Strom als konventionelle Kraftwerke," Münster, 18.04.2013, <http://www.iwr.de/news.php?id=23475>, letzter Abruf am 22.07.2013.
- [2] O. Gausmann, *Kundenindividuelle Wertschöpfungsnetze*, 1st ed. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2009.
- [3] A. Ringhandt, A. Schubert, B. Hahn, V. Schulz, and W. Sucrow, "Von den Konventionellen lernen? 1-3," *Erneuerbare Energien*, no. 2-4, 2007.
- [4] C. Felden and J. J. Buder, "Integrierte Informationsversorgung zur Entscheidungsunterstützung in Netzgesellschaften," *WIRTSCHAFTSINFORMATIK*, vol. 54, no. 1, pp. 17-32, 2012.
- [5] G. Robinson and M. Zhou, "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.

- [6] *Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten - Teil 7: Instandhaltung von Kraftwerken für Erneuerbare Energien - Rubrik A - Allgemeiner Teil: Definition von Begriffen, Normative Verweisungen und Beschreibungen von Prozessen und Systemaspekten*, FGW e.V. Std. FGW TR 7 A, 2010.
- [7] M. Sonnenberg, J. Schmidt, and S. Kühne, "Klassifikation von Dienstleistungen der technischen Betriebsführung regenerativer Energieanlagen," in *Smart Services and Service Science - Proceedings of the 4th International Symposium on Services Science, Leipzig (Germany), September 25, 2012*, ser. Leipziger Beiträge zur Informatik, K. Meyer and N. Abdelkafi, Eds. LIV/InfAI, 2012, vol. 36.
- [8] Gothaer Allgemeine Versicherung AG. (2002) Grundsätze für die Prüfung zur zustandsorientierten Instandhaltung von Windenergieanlagen. <http://www.windwin.de/images/pdf/wc03040.pdf>, letzter Abruf am 12.07.2013.
- [9] J. Jansen, K. Hänsch, and M. Endig, "Lebenslaufakten zur Unterstützung des Betriebes verfahrenstechnischer Anlagen," Aachen, 25.-26. März 2010, 7. Symposium "Informationstechnologie für Entwicklung und Produktion in der Verfahrenstechnik".
- [10] *Bestandteile und Struktur einer Lebenslaufakte für Erneuerbare-Energie-Anlagen*, DIN e.V. Std. DIN SPEC 91 303, für Ende 2013 geplant.
- [11] A. van Hoof and J. Schmidt, "Anlagendokumentation für erneuerbare Energieanlagen: Kooperative Aspekte einer Lebenslaufakte," in *Betriebsführung und Instandhaltung regenerativer Energieanlagen*, ser. Leipziger Beiträge zur Informatik, S. Kühne and J. Schmidt, Eds. LIV, 2012, vol. XXXVIII, pp. 188–201.
- [12] o. V. Aufbau einer Lebenslaufakte. <ftp://ftp.uni-duisburg.de/PPL/lebenslaufakte.pdf>, letzter Abruf am 22.07.2013.
- [13] K. H. Weber, *Dokumentation verfahrenstechnischer Anlagen: Praxis-handbuch mit Checklisten und Beispielen*, ser. VDI-Buch. Berlin: Springer-Verlag, 2008.
- [14] M. Schenk, Ed., *Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs*. Berlin: Springer-Verlag, 2010.
- [15] G. Balzer and C. Schorn, *Asset Management für Infrastrukturanlagen - Energie und Wasser*, ser. VDI-Buch. Berlin: Springer-Verlag, 2011.
- [16] *Dokumentation digitaler Leitsysteme*, IG EVU Interessengemeinschaft Energieverteilung Std. IG EVU 012, 1999.
- [17] R. Zauner, "Impact of energy trading on O&M and vice versa," Hamburg, 13./14. März 2013, VGB-Fachtagung Instandhaltung von Windenergieanlagen 2013.
- [18] K. H. Weber, *Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen: Praxis-handbuch MIT Checklisten Und Beispielen*, ser. VDI-Buch. Berlin: Springer-Verlag, 2006.
- [19] *Einsatz wissensbasierter Diagnosemethoden und -systeme in der Instandhaltung*, VDI e.V. Std. VDI 2889, 1998.
- [20] *Netzgekoppelte Photovoltaik-Systeme - Mindestanforderungen an Systemdokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und wiederkehrende Prüfungen (IEC 82/749/CD:2012)*, DIN e.V. Std. E DIN EN 62 446 (VDE 0126-23), 2013.
- [21] M. Frey, "Verhalten positiv," *Sonne Wind & Wärme*, no. 06, pp. 26–27, 2012.
- [22] *Treibhausgase - Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene (ISO 14064-1:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14064-1:2012*, DIN e.V. Std. DIN EN ISO 14064-1, 2012.
- [23] W. Hesse and H. C. Mayr, "Modellierung in der Softwaretechnik: eine Bestandsaufnahme," *Informatik-Spektrum*, vol. 31, no. 5, pp. 377–393, 2008.
- [24] F. Bodendorf, *Daten- und Wissensmanagement*, 2nd ed., ser. Springer-Lehrbuch. Berlin: Springer-Verlag, 2006.
- [25] R. Jung, *Architekturen zur Datenintegration: Gestaltungsempfehlungen auf der Basis fachkonzeptueller Anforderungen*, 1st ed. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 2006.
- [26] P. Vogler, *Prozess- und Systemintegration: Evolutionäre Weiterentwicklung bestehender Informationssysteme mit Hilfe von enterprise application integration*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 2006.
- [27] H.-J. Appelrath and J. M. González, "Informationstechnik in der Energiewirtschaft," in *Handbuch Energiemanagement*, H.-P. Beck, A. Bauer, E. Meller, and C. Salander, Eds. EW Medien und Kongresse GmbH, 2010, vol. 12/2010, pp. 10510–10534.
- [28] O. Thomas, J. Krumeich, and M. Fellmann, "Integrierte Informationssysteme zur Unterstützung technischer Kundendienstleistungen," in *Hybride Wertschöpfung*, O. Thomas, P. Loos, and M. Nüttgens, Eds. Springer-Verlag, 2010, pp. 179–235.
- [29] M. Uslar, M. Specht, S. Rohjans, J. Trefke, and J. M. Vasquez Gonzalez, *The Common Information Model CIM: IEC 61968/61970 and 62325 - A practical introduction to the CIM*, ser. Power Systems. Berlin: Springer-Verlag, 2012, vol. 66.
- [30] M. Uslar, *Ontologiebasierte Integration heterogener Standards in der Energiewirtschaft: Dissertation*, ser. Oldenburg Computer Science Series. Oldenburg and Oldenburg: OIWR Oldenburger Verl. für Wirtschaft Informatik und Recht, 2010, vol. 10.
- [31] *Dokumentenmanagement - Teil 2: Metadaten und Informationsreferenzmodelle (IEC 820452:2004); Deutsche Fassung EN 820452:2005*, DIN e.V. Std. DIN EN 82 045-2, 2005.
- [32] *Technische Richtlinie für Erzeugungseinheiten Teil 7: Instandhaltung von Kraftwerken für Erneuerbare Energien Rubrik D2: Zustands-Ereignis-Ursachen-Schlüssel für Erzeugungseinheiten (ZEUS)*, FGW e.V. Std. FGW TR 7 D2, 2012.
- [33] *Technische Produktdokumentation - Vokabular - Begriffe für technische Zeichnungen, Produktdefinition und verwandte Dokumentation (ISO 10209:2012); Dreisprachige Fassung EN ISO 10209:2012*, DIN e.V. Std. DIN EN ISO 10 209, 2012.
- [34] R. Haberfellner and W. F. Daenzer, *Systems Engineering: Methodik und Praxis*, 11st ed. Zürich: Verl. Industrielle Organisation, 2002.
- [35] *Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung - Teil 1: Allgemeine Regeln (IEC 81346-1:2009); Deutsche Fassung EN 81346-1:2009*, DIN e.V. Std. DIN EN 81 346-1, 2010.
- [36] *Technische Produktdokumentation - Referenzkennzeichensystem - Teil 10: Kraftwerke (ISO/TS 16952-10:2008)*, DIN e.V. Std. DIN ISO/TS 16 952-10, 2010.
- [37] *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 e.V. Std. DIN EN 61 355-1, 2009.
- [38] *Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen; Stücklisten-Verarbeitung, Stücklistenauflösung*, DIN e.V. Std. DIN 199-5, 1981.
- [39] A. Schwinn and J. Schelp, "Design patterns for data integration," *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 18, no. 4, pp. 471–482, 2005.
- [40] A. Schwinn, "Entwurfsmusterbasierter Ansatz zur Systematisierung von Applikationsbeziehungen im Business Engineering," in *Integrationsmanagement*, ser. Business Engineering, J. Schelp and R. Winter, Eds. Springer-Verlag, 2006, pp. 31–59.
- [41] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., "Forum Datenformate: Informationsplattform zu den Datenformaten im deutschen Energiemarkt," Berlin, 2013, <http://www.edi-energy.de/>, letzter Abruf am 29.07.2013.
- [42] E. Rahm, *Mehrrechner-Datenbanksysteme: Grundlagen der verteilten und parallelen Datenbankverarbeitung*. Bonn: Addison-Wesley, 1994.
- [43] E. Echavarria, B. Hahn, G. J. W. van Bussel, and T. Tomiyama, "Reliability of Wind Turbine Technology Through Time," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 130, no. 3, pp. 031 005–1–031 005–7, 2008.
- [44] U. Leser and F. Naumann, *Informationsintegration: Architekturen und Methoden zur Integration verteilter und heterogener Datenquellen*. Heidelberg: dpunkt-Verl, 2007.
- [45] E. Curry, "System of systems information interoperability using a linked dataspaces," in *7th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE 2012)*, 2012, pp. 101–106.
- [46] J. Schmidt and A. van Hoof, "Architektur einer Service Plattform zur Unterstützung des Betriebs erneuerbarer Energieanlagen," in *Proceedings of the 11th International Conference on Wirtschaftsinformatik (WI2013)*, R. Alt and B. Franczyk, Eds., 2013, pp. 295–309.