

Reihe 8

Mess-,  
Steuerungs- und  
Regelungstechnik

Nr. 1258

Dipl.-Ing. Lars Evertz,  
Stuttgart

## Entwicklung einer Systemstruktur zur einheitlichen Verwaltung von entitätsbezogenen Lebenszyklusdaten

**ACPLT**  
**AACHENER**  
**PROZESSLEITTECHNIK**

Lehrstuhl für  
Prozessleittechnik  
der RWTH Aachen



# „Entwicklung einer Systemstruktur zur einheitlichen Verwaltung von entitätsbezogenen Lebenszyklusdaten“

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte Dissertation

vorgelegt von **Dipl.-Ing.**

**Lars Evertz**

aus Leverkusen.

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wollschlaeger

Tag der mündlichen Prüfung: 01. Dezember 2017



# Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 8

Mess-, Steuerungs-  
und Regelungstechnik

Dipl.-Ing. Lars Evertz,  
Stuttgart

Nr. 1258

Entwicklung einer  
Systemstruktur zur  
einheitlichen Verwaltung  
von entitätsbezogenen  
Lebenszyklusdaten



Lehrstuhl für  
Prozessleittechnik  
der RWTH Aachen

Evertz, Lars

## **Entwicklung einer Systemstruktur zur einheitlichen Verwaltung von entitätsbezogenen Lebenszyklusdaten**

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 8 Nr. 1258. Düsseldorf: VDI Verlag 2018.

166 Seiten, 54 Bilder, 10 Tabellen.

ISBN 978-3-18-525808-4, ISSN 0178-9546,

€ 62,00/VDI-Mitgliederpreis € 55,80.

**Für die Dokumentation:** Systemstruktur – Entität – Lifecycle Management – Industrie 4.0 – Merkmale – Webservices – Wertschöpfungsketten – Datenverwaltung

Die Übergabe gedanklicher oder physischer Einheiten bildet die Basis für unternehmensübergreifende Wertschöpfung. Um diese gemeinsame Wertschöpfung optimieren zu können, müssen alle Beteiligten in der Lage sein, jederzeit auf alle diese Einheiten betreffenden Informationen zugreifen zu können; unabhängig davon, in welchem Verantwortungsbereich sich die Einheit gerade befindet. Dies ist ein Kernaspekt von Industrie 4.0. Zu seiner Umsetzung wird in diesem Beitrag eine Systemstruktur entwickelt, die ausgehend von Merkmalen und einer dienstbasierten Schnittstelle die globale Verfügbarkeit und Adressierbarkeit der Informationen bei einfacher Erweiterbarkeit sicherstellt. Ferner können Zusammenhänge zwischen verschiedenen Informationen modelliert werden, wobei die Modelle selbst mit den Informationen verknüpft werden. Die Entwicklungen werden anhand mehrerer Anwendungsfälle evaluiert.

### **Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter [www.dnb.de](http://www.dnb.de) abrufbar.

### **Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek**

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at [www.dnb.de](http://www.dnb.de).

D82 [Diss. RWTH Aachen University, 2017]

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-9546

ISBN 978-3-18-525808-4

---

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Lehrstuhl für Prozessleittechnik der RWTH-Aachen. An dieser Stelle möchte ich denen danken, die mich während dieses Unterfangens begleitet und die Zeit in Aachen zu einem sehr positiven Abschnitt meines Lebens gemacht haben.

An erster Stelle bedanke ich mich bei Herrn Professor Dr.-Ing. Ulrich Epple dafür, dass er diese Dissertation ermöglicht hat und mir in vielen, teils kontroversen Diskussionen andere Sichtweisen aufgezeigt und dabei so manches „Aha“-Erlebnis ausgelöst hat. Seine Führung und die dabei gegebenen Freiräume bildeten weiterhin die Grundlage für den Zusammenhalt und die gute Atmosphäre unter allen Mitarbeitern.

Ebenso bedanke ich mich bei Professor Dr.-Ing. habil. Martin Wollschlaeger, Inhaber der Professur für Prozesskommunikation der Technischen Universität Dresden, für die Übernahme der Rolle des Zweitgutachters.

Ferner bedanke ich mich bei meine Kollegen vom Lehrstuhl für den fachlichen und weniger fachlichen Austausch. Es hat immer Freude gemacht mit euch zu arbeiten. Besonderer Dank gebührt Andreas, Christian, Constantin, David und Kai für interessante Diskussionen und Feierabendrunden.

Außerdem gilt mein Dank Martina Uecker für die Unterstützung bei allen Fragen rund um Labor und Anlagen sowie Frau Bey und Frau Milescu-Huber für die Unterstützung bei den kleinen und großen organisatorischen Dingen.

Schlussendlich bedanke ich mich bei meinen Eltern Jutta und Willi und meinen Schwestern Nina und Sarah-Julia. Ihr habt mir diesen Weg ermöglicht und mich begleitet.

Stuttgart, im September 2017

*Lars Evertz*

*„Je mehr ich lerne,  
desto mehr merke ich,  
wie wenig ich kann.“*

ein weiser Trainingspartner - frei nach  
Sokrates

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungen und Symbole</b>	<b>VII</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>X</b>
<b>Abstract</b>	<b>XII</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Aufbau der Dissertation	4
<b>2 Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1 Merkmale	5
2.1.1 Merkmaldatenbanken und Klassifikationssysteme	9
2.2 Entitätenmodelle	11
2.2.1 Entitäten im Industrie 4.0 Verständnis	11
2.2.2 Core Product Model	12
2.2.3 Modell der ISO 15926	14
2.2.4 Modell der ISO 13584 [59]	15
2.3 Dienstbasierte Interaktion	16
2.3.1 Webservices	18
2.3.2 Remote Procedure Call (RPC)	20
2.3.3 ACPLT/KS	20
2.3.4 Objects Linking and Embedding (OLE) for Process Control (OPC) Unified Architecture (OPC-UA)	22
2.4 Produktdatenaustausch	24
2.5 Lebenszyklusmodelle	25
2.5.1 Referenzmodell	26
2.5.2 Lebenszyklusmodell der IEC 62890	26
2.5.3 Lebenszyklen im Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0 [88]	28
2.5.4 Lebenszyklusmodell nach ISO/IEC/IEEE 15288 bzw. ISO/IEC 12207 [67]	29
<b>3 Analyse bestehender Lifecycle-Management Ansätze</b>	<b>32</b>
3.1 Product Lifecycle Management	32
3.1.1 PROMISE Projekt	34
3.2 Asset Management (AM)	35
3.3 Version Management	39
3.4 Diskussion	40
<b>4 Reale Lebenszyklen und ihre Modellierung</b>	<b>44</b>
4.1 Zusammenführung von Lebenszyklusabbildungen einer Entität	49

4.2	Lebenszyklusbeschreibungen in der Verwaltungsschale . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Entwicklung einer Systemstruktur</b>	<b>57</b>
5.1	Rekapitulation der Anforderungen . . . . .	57
5.2	Entitätsdatenmetamodell . . . . .	58
5.3	Metamodell der Lebenszyklusabbildung . . . . .	62
5.4	Datenmodell für die Umsetzung der Lebenszyklusverwaltung . . . . .	63
5.5	Schnittstellen zum Entitäts- und Lebenszyklusdatenaustausch . . . . .	68
5.5.1	Dienste für Semantikdefinitionen . . . . .	69
5.5.2	Dienste für Merkmaldatenaustausch . . . . .	71
5.5.3	Dienste für den Umgang mit zeitbezogenen Einheitenabbildern . . . . .	72
5.5.4	Dienst für den Umgang mit Ereignisrepräsentationen . . . . .	75
5.6	Komponenten des Gesamtsystems und ihre Aufgaben . . . . .	76
5.6.1	Definitionsdatenbanken . . . . .	76
5.6.2	Entitätenverwaltungsserver . . . . .	77
5.6.3	Historiendatenbanken . . . . .	79
5.6.4	Ereignisdatenbanken . . . . .	79
5.7	Struktur und Interaktion im Gesamtsystem . . . . .	79
5.8	Bezug zur Verwaltungsschale . . . . .	83
<b>6</b>	<b>Prototyp und Evaluation</b>	<b>85</b>
6.1	Beschreibung der Anwendungsfälle . . . . .	85
6.2	Aufbau des Prototypen . . . . .	88
6.2.1	Entitätenverwaltungsserver . . . . .	88
6.2.2	Klient . . . . .	92
6.3	Umsetzung und Evaluation der Anwendungsfälle . . . . .	92
6.3.1	Anwendungsfall 1: Datenvielfalt und Flexibilität . . . . .	92
6.3.2	Anwendungsfall 2: Unternehmensübergreif . . . . .	94
6.3.3	Anwendungsfall 3: Proaktive Verwaltung . . . . .	97
6.3.4	Virtuelle Einheiten und Prädiktion . . . . .	99
<b>7</b>	<b>Diskussion und Ausblick</b>	<b>101</b>
<b>Anhang A: Spezielle Elemente des Metamodells</b>		<b>104</b>
A.1	Merkmalbeschreibungen . . . . .	104
A.2	Aussagebeschreibungen . . . . .	105
A.3	Identifikatoren . . . . .	106
<b>Anhang B: Web Service Description Language (WSDL)-Beschreibung der Dienst-</b>		
<b>schnittstelle</b>		<b>107</b>
B.1	Gemeinsame Definitionen . . . . .	107
B.2	Dienste für Semantikdefinitionen . . . . .	109
B.3	Dienste für Merkmaldatenaustausch . . . . .	121
B.4	Dienste für Entitätsdatenaustausch . . . . .	126
B.5	Dienste für Ereignisdatenaustausch . . . . .	138
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>143</b>

---

# Abkürzungen und Symbole

AM	Asset Management.
API	Application programming interface (Schnittstelle zur Anwendungsprogrammierung).
AT	Automatisierungstechnik.
BLOB	Binary Large OBject (Datenobjekt unbekannter Struktur).
bspw.	beispielsweise.
bzw.	beziehungsweise.
CAD	Computer Aided Design.
CDD	Common Data Dictionary.
CPM	Core Product Model.
CRUD	Create, Read, Update, Delete.
d. h.	das heißt.
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DNS	Domain Name System.
DTD	Document type definition.
eOTD	ECCMA Open Technical Dictionary.
EPC	Electronic Product Code.
et al.	et altera - und weitere.
etc.	et cetera - und so weiter.
GUID	Globally unique identifier (global einzigartiger Identifikator).
HTTP	Hypertext Transfer Protocol.
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol (HTTP) Secure (Übertragung von HTTP unter Nutzung des Transport Layer Security Protokolls).
I40	Industrie 4.0.
IANA	Internet Assigned Numbers Authority.
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission.
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers.
IEV	International electrotechnical vocabulary (Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch).

ISO	Internationale Organisation für Normung.
IT	Informationstechnologie.
MIME	Multipurpose Internet Mail Extensions.
NIST	National Institute of Standards and Technology.
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards.
OLE	Objects Linking and Embedding.
ONC	Open Network Computing.
ONS	Object Naming Service.
OPC	OLE for Process Control.
OPC-UA	OPC Unified Architecture.
PAC	PEID Access Container.
PDKM	Product Data and Knowledge Management.
PDM	Product Data Management.
PEID	Product Embedded Information Device.
PLM	Product Lifecycle Management.
PMI	PROMISE Messaging Interface.
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0.
RFC	Request for Comments.
RNTD	RosettaNet Technical Dictionary.
RPC	Remote Procedure Call.
SOA	Service oriented Architecture (dienstorientierte Architektur).
SOAP	SOAP - Ein Übertragungsprotokoll für Nachrichten (ehemals Simple Object Access Protocol).
SOM	Semantic Object Model.
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data (Standard für den Austausch von Produktdaten).
SVN	Subversion.
u. a.	unter anderem.
UML	Unified Modeling Language.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System.
UNSPSC	United Nations Standard Products and Services Code.
UPnP	Universal Plug And Play.
URL	Uniform Resource Locator.
VPN	Virtual Private Network.

W3C	World Wide Web Consortium.
WSDL	Web Service Description Language.
XDR	External Data Representation.
XML	Extensible Markup Language.
z. B.	zum Beispiel.

---

# Kurzfassung

Wertschöpfung in der Industrie findet heutzutage in komplexen Netzwerken aus vielfältigen Unternehmen statt. Der Übergang von Waren und Dienstleistungen zwischen diesen Unternehmen ist daher alltägliche Praxis und stellt den Kernbereich der übergreifenden Interaktion dar. Durch gedankliche Verlängerung der Wertschöpfungsketten, wie sie im Rahmen der Initiative Industrie 4.0 identifiziert wurden, über ein einzelnes Unternehmen hinaus, werden die Komplexität der Verzahnung und der Austausch von (physischen oder gedanklichen) Einheiten als Knotenpunkte leicht erkennbar. Die Verzahnung ist jedoch was den Austausch von Informationen angeht wesentlich weniger weit fortgeschritten als es beim Austausch von Produkten der Fall ist. Der Informationsaustausch macht aber eine Optimierung der gemeinsamen Wertschöpfung erst möglich. Folglich bietet es sich für die Unternehmen an, Informationen, die mit den ausgetauschten Einheiten zusammenhängen, gegenseitig zugänglich zu machen. Ziel ist die Nutzbarmachung aller Informationen, die während der Existenz einer Einheit erfasst werden, für alle Beteiligten, da dies jedem einzelnen von ihnen die Optimierung seiner Wertschöpfungsprozesse erlaubt. Beispiele sind Informationen zur Nutzung einer Maschine, die ihrem Hersteller die Weiterentwicklung vereinfachen oder von Wartungsdienstleistern für die Erzeugung eines optimalen Wartungsplans genutzt werden. Auch für den Nutzer ergeben sich neue Möglichkeiten, wenn er mit Hersteller und Dienstleister gemeinsam seine eigenen Prozesse optimieren kann. Ein derartiger unternehmensübergreifender Informationsaustausch ist daher eine Zielvorstellung, gerade auch im Bereich Industrie 4.0.

Für diesen Austausch bedarf es gemeinsamer Modelle und Schnittstellen. Solche sind jedoch bislang nicht übergreifend vorhanden. Zwar gibt es vielversprechende Asset Management und Product Lifecycle Management Ansätze, doch sind diese entweder auf bestimmte Domänen oder gar Gegenstandstypen beschränkt, oder sind so abstrakt gehalten, dass ihre Umsetzungen möglicherweise nicht interoperabel sind. Daher wird in dieser Arbeit ein System für das Lifecycle Management von Einheiten entwickelt, das

1. In der Lage ist, Einheiten und ihre Eigenschaften über die gesamte Existenzphase zu verfolgen;
2. Die dynamische Anpassung der Modellierung der Einheiten erlaubt;
3. Durch ein Metamodell ein gemeinsames Verständnis aller modellierten Einheiten und Eigenschaften schafft und daher
4. Über Unternehmensgrenzen hinweg aufgebaut werden kann.

Dabei wird die Interoperabilität durch die Nutzung einer ebenfalls in dieser Arbeit spezifizierten Dienstschnittstelle erzeugt.

Die Abbildung des Lebenszyklus einer Einheit erfolgt durch die Erfassung ihrer inhärenten Eigenschaften zu diskreten Zeitpunkten. Diese sind im Rahmen von Erfassungs-

genauigkeiten widerspruchsfrei, da sie der Realität entsprechen. Scheinbar widersprüchliche Aussagen können aufgelöst werden, wenn die Erfassungsbedingungen bekannt sind.

Daher wird für die Verarbeitung der Lebenszyklusinformationen ein Merkmal-Ansatz gewählt, der diese Metainformationen aufnimmt und gleichzeitig die aufgenommenen Informationen ohne Vorwissen erkundbar macht. Die einfache Erweiterung der abgebildeten Eigenschaften einer Einheit ist ebenso möglich, wie die Abfrage der Bedeutung jedes gespeicherten Werts. Neben den Eigenschaften werden auch Zusammenhänge abgebildet.

Zur Adressierung jedes Abbildes und jedes Datums werden URL-basierte Identifikatoren genutzt. Diese erlauben weltweit eindeutige Identifikation und sind gleichzeitig aufgrund der vorhandenen Infrastruktur dezentral verwaltbar. Die Schnittstelle zur Abfrage aller Informationen basiert auf Web-Technologien und stellt bis zur Übertragungstechnologie spezifizierte Dienste zur Verfügung. Dadurch ist die Interaktion in heterogenen Systemlandschaften möglich.

Ausgehend hiervon werden die Komponenten eines Gesamtsystems und ihre Verkopplung vorgestellt. Es gibt Komponenten zur Haltung von Semantikinformatoren und zur Haltung der Lebenszyklusabbilder sowie aktive Komponenten, die die Informationen über die angesprochene Schnittstelle abfragen und weiter verarbeiten. Letztere können auch so gestaltet sein, dass sie die angesprochenen Zusammenhänge zwischen Eigenschaften oder Einheiten automatisch auswerten. Zwei solche Komponenten wurden für die Evaluierung des Ansatzes implementiert. Dabei wurden die entwickelten Informationsmodelle vollständig umgesetzt und die Schnittstelle so weit, wie es für die Verwaltung der Lebenszyklusinformationen notwendig ist. Die Schnittstellenteile, die der Erzeugung der gemeinsamen Semantikbasis dienen, wurden nicht umgesetzt, da für die Verwaltung der Lebenszyklusinformationen die Dienste ausreichen, die diese Basis abfragen. Die Beschreibungselemente für die semantische Basis wurden vor der Evaluierung manuell angelegt.

Anhand vierer Anwendungsfälle wurden Konzept und Implementierung evaluiert. Die Anwendungsfälle bilden die oben aufgelisteten Anforderungen ab und gehen in so weit darüber hinaus, als das auch auf die automatische Abbildung und Auswertung von Zusammenhängen zwischen Einheiten und ihren Eigenschaften eingegangen wird. Dies zeigt die Fähigkeit des Konzepts, die aufgenommenen Daten direkt und überall nutzbar zu machen. Die formale Abbildung von Zusammenhängen ist zwar systemspezifisch und daher nicht im Konzept festgelegt, die Art, wie die Informationen für solche Abbildungen zugänglich gemacht werden, ist jedoch spezifiziert. So können für verschiedene Anwendungsfälle die passenden Beschreibungssprachen gewählt werden. Der Zugriff auf die Einheitsinformationen erfolgt einheitlich und erlaubt die Erkundung der Eigenschaften der Einheiten zu beliebigen Zeitpunkten ihrer Existenz unabhängig vom Ort des Zugriffs, sofern das Vertrauen zwischen Anbieter und Nutzer der Informationen den Zugriff erlaubt. Hinsichtlich der Informationssicherheit können bewährte Methoden aus dem Bereich der Webtechnologien Anwendung finden. Insgesamt zeichnet sich der Ansatz durch hohe Flexibilität und Interoperabilität aus.

---

# Abstract

Nowadays, industrial enterprises generate value within complex and heterogeneous networks. A core point of interaction between these enterprises is the exchange of goods and services. In the course of the initiative of „Industrie 4.0“ a number of core value chains within an enterprise were identified. Continuing all of these value chains over several enterprises, the aforementioned complex web becomes visible. Therein, the exchange of material and immaterial units marks the points of interaction. This interaction is far less advanced concerning the exchange of (meta-) information than concerning exchange of the products themselves. This poses a problem as meta-information is needed to optimize interdependent value generation. Hence, it seems promising for enterprises to share information concerning their exchanged things. The ultimate goal is to put every bit of information gathered throughout the lifecycle of each thing at the disposal of each party concerned with this thing. This enables the enterprises to optimize their value generation processes. For example manufacturers of machines or service contractors can take on information concerning the usage of a machine to improve it or to develop better maintenance plans respectively. Moreover the user of the machine gains the ability to improve his processes and scheduling based on additional information from his partners. Consequently, this cross enterprise sharing of (meta-) information is a major goal in „Industrie 4.0“.

To enable this exchange of information common models and interfaces are needed. There are several promising asset management and product lifecycle management concepts. However, these are either targeted at specific domains or even types of things, or they use such an abstract level of specification that bringing together their implementations will probably need huge efforts or even be impossible at all. Therefore in this Dissertation, the author develops a lifecycle management system that

1. can describe arbitrary things and their properties throughout their whole time of existence;
2. allows to dynamically change how these things are modelled (structure and properties);
3. uses a meta-model to create a common understanding how things are modelled and what meaning each property has and therefore
4. can be implemented and used across enterprises.

To ensure interoperability the system uses a service interface that is specified down to the technological level in this document.

The lifecycle of a unit is modelled by measuring the properties inherent to the unit at discrete points in time. The gathered information is - inaccuracies of measurement aside - without inconsistencies, as it depicts reality. Seemingly inconsistent data can be resolved if the environment and conditions of the measurements are known.

Hence, the concept to manage lifecycle data takes this meta-information into account. At the same time it allows for browsing the gathered information without previous knowledge of the unit. Furthermore it is possible to add or remove properties to be measured without interruption of the system. Querying a measured value's semantics is possible as well. In addition to properties, relationships can be modelled.

Each modelled unit and each datapoint is addressed with an URL-base identifier. This allows for globally unique identification. Moreover, existent infrastructure is used to manage these identifiers efficiently and decentrally. The interface to all gathered information is web-based. It uses HTTP as the transfer protocol and specifies services in WSDL. Hence interaction between heterogeneous systems can be achieved easily.

Starting out with this concept, components and their interaction within a system are introduced. There are components to store and provide semantic information or life cycle data. Then, there are proactive components, which use the aforementioned interface to request information and work with it. The latter includes modelling or simulating the relationships between units and properties. Two of these components were implemented in order to evaluate the approach. The information model was implemented completely and the interface as far as necessary to handle lifecycle information. Operations to build up the common semantic base were not implemented as it was sufficient to use the requesting side of this. The common semantic base was build up manually before the evaluation started.

Concept and implementation were evaluated with four use cases. These mirror the listed requirements and extent them to modelling and interpretation of relationships between units and properties. This shows how the gathered information can be used instantaneously and everywhere. The concept defines no formal way to describe relationships. However, it specifies how the data needed to interpret relationships can be acquired. Hence, it is possible to choose the right formalisms for the use cases at hand. Access to information works in a unified manner. It allows to browse units and their properties and query information about arbitrary points in their existence phase. It is only restricted by the parties holding the information and their mutual trust. To enforce this security of information, well-proven and widespread methods from the web-domain can be used. Altogether, the concept shows a high grade of flexibility and interoperability.

