

Antrieb 4.0 – Vision wird Realität

Merkmale, Daten und Funktionen elektrischer Antriebssysteme
in der Industrie 4.0 für Hersteller, Maschinenbauer und Betreiber





Die Elektroindustrie

Antrieb 4.0 – Vision wird Realität

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.

Fachverband Automation

Fachbereich Elektrische Antriebe

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Verantwortlich: Gunther Koschnick

Bernhard Sattler, Stefanie Wiesner

Telefon: +49 69 6302-377

Fax: +49 69 6302-279

E-Mail: antriebe@zvei.org

www.zvei.org

April 2018



Dieses Werk ist lizenziert unter einer
Creative Commons Namensnennung,
Nicht-kommerziell, Weitergabe unter
gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz.
Trotz größter Sorgfalt übernimmt der ZVEI für
Vollständigkeit und Richtigkeit der Inhalte keine Gewähr.

Inhalt

Management-Summary	4
1 Einleitung:	
Vernetztes Denken für den elektrischen Antrieb	4
2 Grundlagen für Industrie 4.0 in der Antriebstechnik	6
2.1 Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)	6
2.2 Die Industrie 4.0-Komponente	7
2.3 Kommunikation und Semantik I4.0	8
2.4 Vorhandene Standards	8
3 Umsetzung Industrie 4.0 in der Antriebstechnik	11
3.1 Merkmale des Antriebs 4.0	11
3.2 Daten des Antriebs 4.0	13
4 Funktionen des Antriebs 4.0	15
4.1 Oszilloskop-I4.0-Funktion	16
4.2 Weitere I4.0-Funktionen	20
5 Ausblick	21
Redaktion	22

Management-Summary

In einem Ad-hoc-Arbeitskreis des ZVEI haben sich verschiedene Hersteller von Antriebstechnik mit Vertretern aus dem Maschinenbau und den Bereichen Klassifizierung und Normung zusammengeschlossen, um unter Mitwirkung der universitären Forschung die Realisierung des „Antriebs 4.0“ voranzutreiben. Diese Informationsbroschüre berichtet über erste Ergebnisse und erläutert die Umsetzung des elektrischen Antriebs als Industrie 4.0-Komponente (I4.0-Komponente). Hierbei spielt die einheitliche, herstellerunabhängige Datenbereitstellung eine besondere Rolle. Zur Schaffung einer einheitlichen Datenstruktur mit I4.0-Semantik wurde das auf internationalen Standards aufbauende Klassifizierungssystem eCl@ss ausgewählt, in dem viele Merkmale verschiedener Bereiche der Antriebstechnik bereits definiert sind. Die dadurch entstehenden standardisierten Daten sind dann auch die Basis für den Aufbau von Informationsmodellen wie zum Beispiel für OPC-UA. In einem weiteren Schritt werden bereits erste Funktionen herstellerunabhängig beschrieben. Als konkretes Beispiel wird die Oszilloskop-Funktion vorgestellt. Insgesamt erarbeitet der Arbeitskreis Merkmale, Daten und Funktionen elektrischer Antriebssysteme übergreifend für Hersteller, Maschinenbauer und Anlagenbetreiber und stellt damit die physische Realisierung des Antriebs von morgen in nahe Aussicht.

1 Einleitung: Vernetztes Denken für den elektrischen Antrieb

Die Kernkomponente Antrieb durchläuft ganz unterschiedliche Wertschöpfungsprozesse: von der Planung und Herstellung über die Integration in Maschinen bis hin zur Inbetriebnahme und schließlich der Nutzung im Produktionsprozess. Elektrische Antriebe machen in Verbund mit Sensoren und IT-Lösungen ein Umdenken von Aktoren möglich. Somit stellen sie Initiatoren von Industrie 4.0 (I4.0) dar. Die Antriebstechnik sieht sich daher in der aktiven Rolle, die Gestaltung des künftigen Industrieprodukts Antrieb 4.0 voranzutreiben. Dazu erarbeitet derzeit der Ad-hoc-Arbeitskreis Industrie 4.0 Elektrische Antriebe des Zentralverbands Elektrotechnik und Elektroindustrie (ZVEI) ein Konzept, das Terminologie und Klassifizierung rund um die Antriebe aufgreift, Merkmale und Funktionen in den Kontext I4.0 setzt und letztlich die Basis für eine standardisierte Digitalisierung des Antriebs legt.

Infolge der Digitalisierung erhalten Hersteller, Maschinenbauer und Betreiber einer Anlage ein umfassendes Wissen über den Produktionsprozess mit verstärkter Transparenz der technischen Abläufe. Im Zuge dieser digitalen Transformation wird eine Modularisierung im Wertschöpfungsprozess von Produktionsanlagen und Produkten, ähnlich zu Softwareprodukten, umgesetzt und vorangetrieben. Jedes einzelne Modul dient dabei als Informations- und Wissensträger mit definierten Eigenschaften und Kommunikationsschnittstellen. Besonders aufgrund der immer kürzer werdenden Lebenszyklen von Maschinenelementen muss es das Ziel sein, bei der Umsetzung von Schnittstellen und Datenkommunikation einheitliche und allgemeingültige Standards zu etablieren. Durch geeignete horizontale und vertikale Integration solcher Module und ihrer vernetzten Informationen entstehen neue, intelligente Produkte und damit in der Antriebstechnik auch der Antrieb 4.0.

„Industrie 4.0“ steht für die vollständige Digitalisierung und Integration der industriellen Wertschöpfungskette. Die Verbindung von Informations- und Kommunikationstechnologie mit der Automatisierungstechnik zum Internet der Dinge und Dienste ermöglicht immer höhere Grade der Vernetzung in und zwischen Produktionsanlagen, vom Lieferanten bis hin zum Kunden. Damit einher geht die Digitalisierung des Produkt- und Service-Angebots, die neue Geschäftsmodelle ermöglicht. Letztendlich ist Industrie 4.0 die Verwirklichung der smarten Fabrik im digitalen Wertschöpfungsnetzwerk.

Gunther Koschnick

Um dieses hochgesteckte Ziel zu erreichen, ist es aus Sicht des Arbeitskreises notwendig, Daten elektrischer Antriebe in einer einheitlichen und herstellerunabhängigen Form zur Verfügung zu stellen. Diese herstellerübergreifend standardisierten Schnittstellen und Datenstrukturen sollen die Möglichkeit schaffen, Komponenten und Anlagenteile auf einfache Weise frei zu kombinieren und die entsprechenden Daten und Funktionen einfach und effizient zu nutzen. Basierend auf möglichen Anwendungsfällen, identifiziert und analysiert der Arbeitskreis Informationen, die im Rahmen von I4.0 nachfolgenden Rollen im Wertschöpfungsprozess zugeordnet werden können (s. Abb. 1):

- **Hersteller**

Aus verschiedenen Bauteilen und Einzelkomponenten fertigt der Hersteller den Antrieb, testet und liefert ihn. Er bringt den Antrieb in Verkehr.

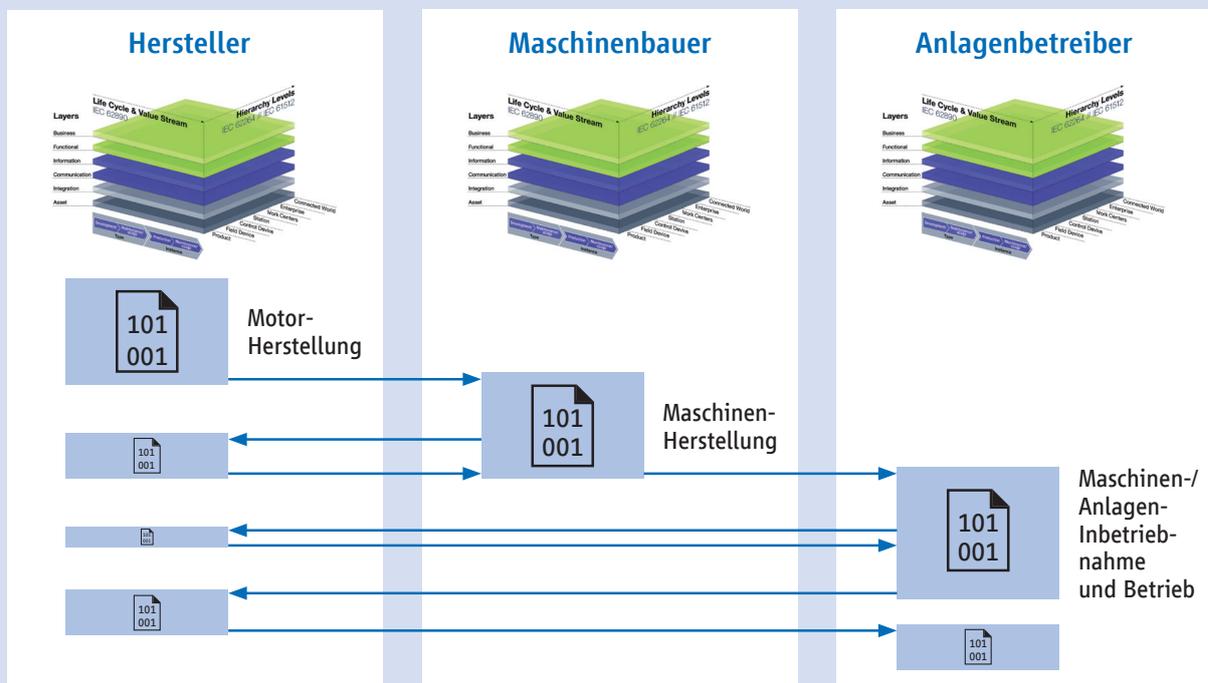
- **Maschinenbauer**

Durch die Zusammenstellung und Vernetzung von Antrieben und anderen Komponenten entwickelt der Maschinenbauer eine Maschine. Diese Maschine bringt er in Verkehr. Oft übernimmt er auch ihre Installation und Inbetriebnahme. Diese Definition ist analog für Anlagenbauer oder Ähnliche anwendbar.

- **Anlagenbetreiber**

Der Anlagenbetreiber integriert die vom Maschinenbauer gefertigte Maschine und betreibt sie nach Installation und Inbetriebnahme. In der Regel werden mehrere Maschinen und/oder Maschinenmodule gekoppelt und vernetzt, um eine Produktionsanlage oder prozesstechnische Anlage zu realisieren.

Abb. 1: Rollen und Daten im Wertschöpfungsprozess



Quelle: ZVEI

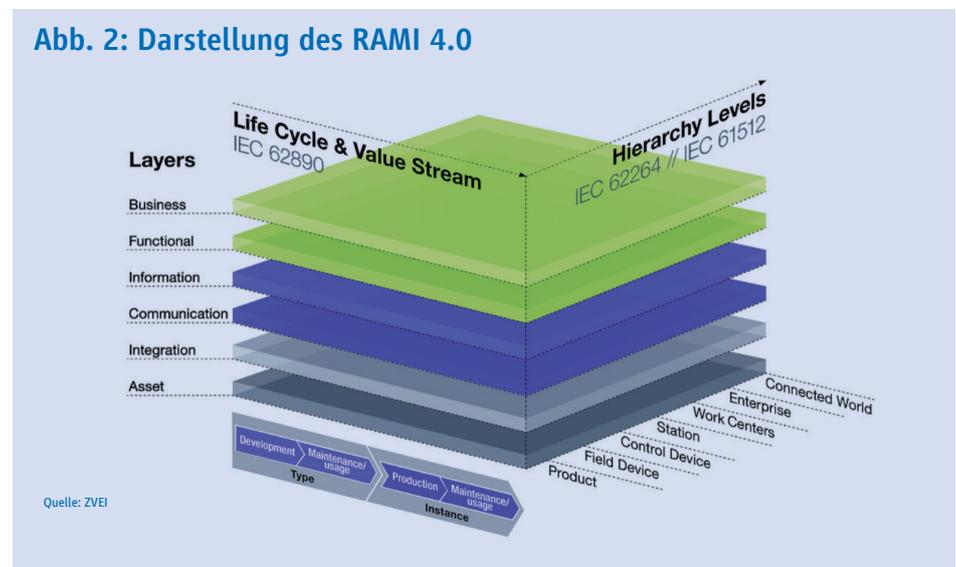
2 Grundlagen für Industrie 4.0 in der Antriebstechnik

RAMI 4.0 führt erstmals die wesentlichen Charakteristiken von Gegenständen in I4.0-Lösungen in einem dreidimensionalen Schichtenmodell zusammen. Anhand dieses Gerüsts kann der Inhalt von I4.0-Technologie systematisch zugeordnet und weiterentwickelt werden.

2.1 Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0, kurz RAMI 4.0¹, besteht aus einem dreidimensionalen Koordinatensystem, das die wesentlichen Aspekte eines Betrachtungsgegenstands in I4.0 enthält (s. Abb. 2). Dieser Gegenstand wird als Gegenstand von Wert für die Belange von I4.0 Asset genannt. Ein solches Asset kann eine Elektronikkomponente, also ein Antrieb, ein System, zum Beispiel der Antriebsstrang, die Anlage oder die ganze aus Elementen bestehende Fabrik sein.

Abb. 2: Darstellung des RAMI 4.0



- **„Hierarchy Levels“**
Die rechte horizontale Achse stellt gemäß IEC 62264 die Integration von Unternehmens-EDV und Leitsystemen dar. Hier werden Funktionalitäten innerhalb einer Fabrik oder einer Anlage vom Werkstück („Product“) bis zur mit ihm verbundenen Umwelt („Connected World“) im Internet der Dinge abgebildet.
- **„Life Cycle & Value Stream“**
Die linke horizontale Achse bildet den Lebenszyklus von Produkten und Anlagen nach IEC 62890, unterschieden in Typ und Instanz, ab, beschreibt also die Entwicklung vom Prototyp bis hin zum Betrieb des fertigen Produkts.
- **„Layers“**
Mithilfe der sechs Schichten, sogenannten Layers, auf der vertikalen Achse des Modells wird die IT-Repräsentanz, das heißt das digitale Abbild von beispielsweise einer Maschine oder einem Antrieb, strukturiert – Schicht für Schicht – beschrieben. Besonderes Augenmerk gilt hier dem Information-Layer, auf dem alle Daten liegen, und dem Functional-Layer mit seinen I4.0-Funktionen.

Mit diesen drei Dimensionen des RAMI 4.0 kann ein für I4.0 relevanter Gegenstand, etwa ein elektrischer Antrieb, in den oben beschriebenen Aspekten dargestellt werden.²

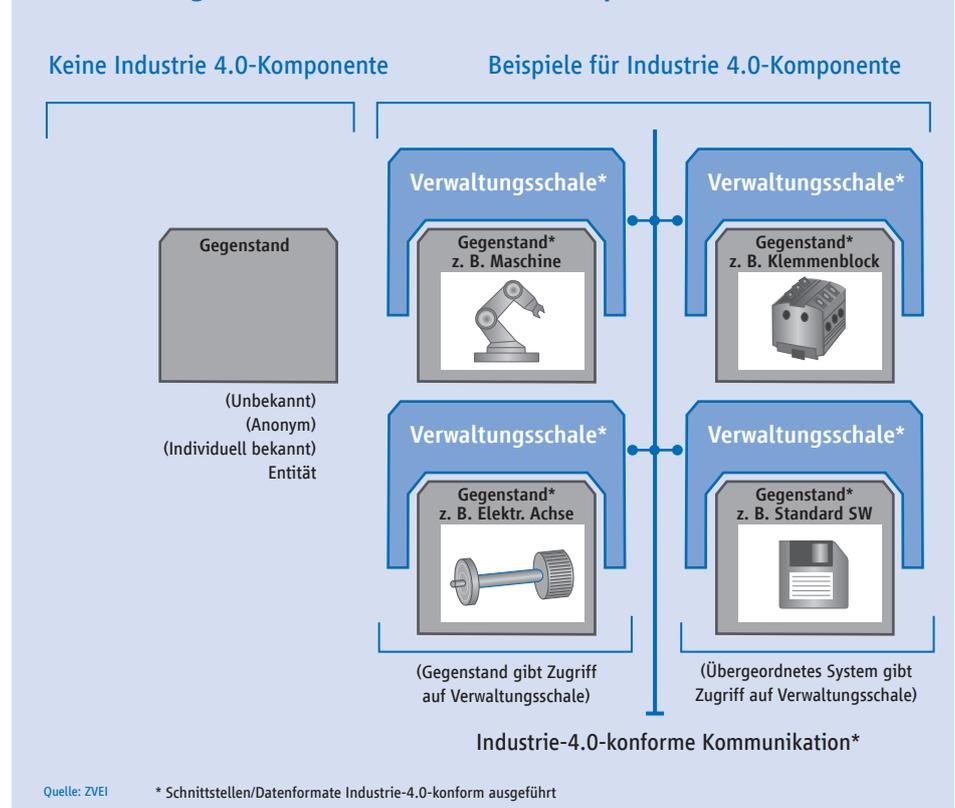
¹ Vgl. Heidel, Hoffmeister, Hankel, Döbrich; Basiswissen RAMI 4.0, Referenzarchitekturmodell und Industrie 4.0-Komponente – Industrie 4.0; Beuth-Verlag 2017

² Vgl. <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/das-referenzarchitekturmodell-industrie-40-rami-40/>

2.2 Die Industrie 4.0-Komponente

Um alle relevanten Eigenschaften und Informationen eines physischen Gegenstands in der IT-Welt des RAMI 4.0 abzubilden, bedient sich die Industrie 4.0-Komponente³ der Verwaltungsschale. Der Begriff „Verwaltungsschale“ umfasst also einen oder mehrere Gegenstände der physischen Welt, „Assets“ genannt, und die sie umfassenden Schalen mit alle relevanten Informationen und Funktionen des Assets der Informationswelt. Diese Dateninformationen können erzeugt, modifiziert oder abgespeichert werden und sorgen für Kommunikations- und Vernetzungsfähigkeit im Rahmen von I4.0. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist es, dass I4.0-Komponenten über ihren kompletten Lebenszyklus hinweg Daten und auch Funktionen in der Verwaltungsschale in einem elektronischen, abgesicherten „Container“ pflegen, sei es in einem eigens dafür angelegten Speicherort oder auch auf dem Asset selbst. Dadurch entsteht für Hersteller, Maschinenbauer und Betreiber ein hohes Maß an Transparenz und eine horizontale und vertikale Integration gemäß RAMI 4.0 wird ermöglicht. Für den Erfolg von I4.0 ist wesentlich, dass nicht nur ganze Maschinen, sondern auch Informationen zu wichtigen Maschinenteilen und -komponenten in der Verwaltungsschale mitgeführt werden. So bestimmen beispielsweise die Eigenschaften des Antriebsstrangs wesentlich die Qualität der Maschinenfunktion. Auch diese Eigenschaftsinformationen sollen künftig direkt von zentralen Wartungssystemen erfasst werden können. Gleiches gilt in der Automatisierungstechnik für Produktionskomponenten, die über keine eigene Datenschnittstelle verfügen, zum Beispiel Kabeleigenschaften wie Querschnitt und Schirmung. So wird jedes Teil zu einem smarten Bestandteil der vernetzten Produktion der I4.0.

Abb. 3: Gegenstand als Industrie 4.0-Komponente



³ Vgl. <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/die-industrie-40-komponente/>

2.3 Kommunikation und Semantik I4.0

I4.0 folgt einer serviceorientierten Architektur. Es müssen Dienste ausgeführt und Daten für eine funktionierende Kommunikation einheitlich ausgetauscht werden können. Dazu werden Anforderungen an die Nachrichtenübertragung zwischen I4.0-Komponenten formuliert, die dem Begriff „I4.0-Kommunikation“ zugeordnet werden. Die Spezifikationen der I4.0-Kommunikation werden derzeit noch definiert. Die I4.0-Kommunikation muss dabei nicht neu entwickelt werden, sondern es sollen aus den vorhandenen und bereits in Entwicklung befindlichen Standards Vorzugsstandards herausgefiltert werden, die sich für die I4.0-Kommunikation am besten eignen.

Im RAMI 4.0 wird dies vom Communication-Layer widergespiegelt. Zudem benötigt die Kommunikation von Komponenten, Maschinen, Anlagen und IT-Systemen hersteller-übergreifend eine gemeinsame Sprache, also gemeinsame Vokabeln in Form von Daten, sowie eine gemeinsame Syntax, die Struktur und Kontext der Merkmale und Daten gewährleistet. Herstellerübergreifende Funktionen, die I4.0-Daten nutzen, werden im im darüber liegenden Layer Layer, dem Functional-Layer, abgebildet. Ziel ist es, allgemeine Funktionen zu erhalten, die mit Daten und Geräten von verschiedenen Herstellern verwendet werden können. Alle anderen Merkmale, Daten und Funktionen, die nicht nach I4.0 standardisiert sind, werden im Integration-Layer verortet. Mögliche Kandidaten für die Schaffung einer einheitlichen Kommunikation mit einer I4.0-Semantik werden in den Standardisierungsgremien des ZVEI und der Plattform Industrie 4.0⁴ diskutiert. Neben einem Klassifizierungssystem wie eCl@ss und Normen wie IEC 61360 mit dem IEC Common-Data-Dictionary (IEC CDD) werden auch unabhängige Methoden zum einheitlichen Datenaustausch, beispielsweise AutomationML⁵, betrachtet. Erste standardisierte Daten und Funktionen sowie die Kommunikation selbst werden in den Kriterien für Industrie-4.0-Produkte⁶ als notwendige Produkteigenschaften hinterlegt.⁷

2.4 Vorhandene Standards

Um den Antrieb I4.0-fähig zu machen, bedarf es bestimmter Festlegungen, die in einer Antriebskomponente I4.0 umgesetzt werden. Dazu muss der Antrieb mit Begriffen beschrieben werden, die als Merkmale in der Verwaltungsschale der Antriebskomponente I4.0 abgelegt werden. Es muss daher eine eindeutige Identifikation von Asset und Verwaltungsschale mittels Identifikatoren (ID) erfolgen. Für die Migration eines heutigen Antriebs in eine Industrie-4.0-Umgebung sind Beschreibungsmerkmale gemäß I4.0-Semantik erforderlich; die Merkmale müssen also nach den Regeln von IEC 61360^{8,9} bzw. ISO 13584-42¹⁰ spezifiziert sein.

⁴ Vgl. <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/umsetzungsstrategie-industrie-40/>

⁵ Vgl. <https://www.automationml.org/>

⁶ Vgl. <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/industrie-40-produktkriterien-fuer-industrie-40-technologien/>

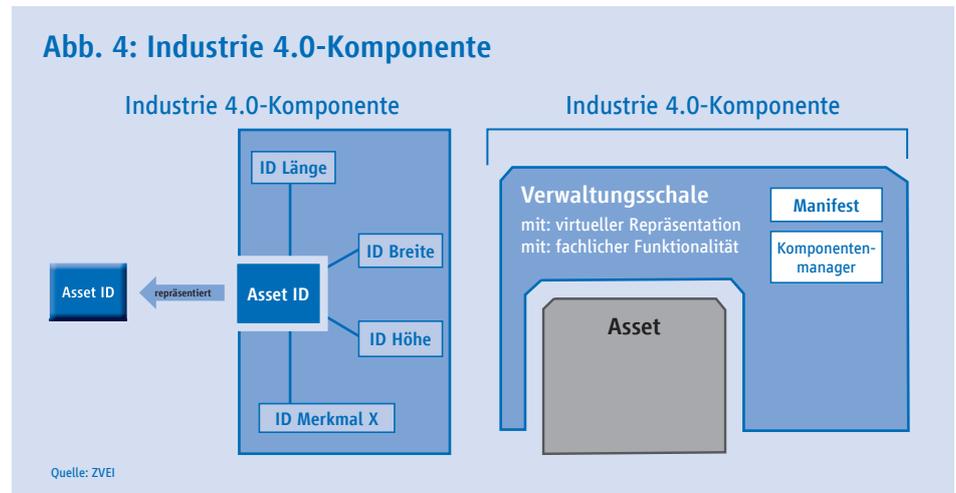
⁷ Vgl. <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/welche-kriterien-muessen-industrie-40-produkte-erfuellen/>

⁸ Vgl. IEC 61360-1:2009, Standard data elements types with associated classification scheme for electric items - Part 1: Definitions - Principles and methods

⁹ Vgl. IEC 61360-2:2012, Standard data element types with associated classification scheme for electric components - Part 2: EXPRESS dictionary schema

¹⁰ Vgl. ISO 13584-42:2010, Industrial automation systems and integration - Parts library - Part 42: Description methodology: Methodology for structuring parts families

Spezifikation von Merkmalen eines Assets

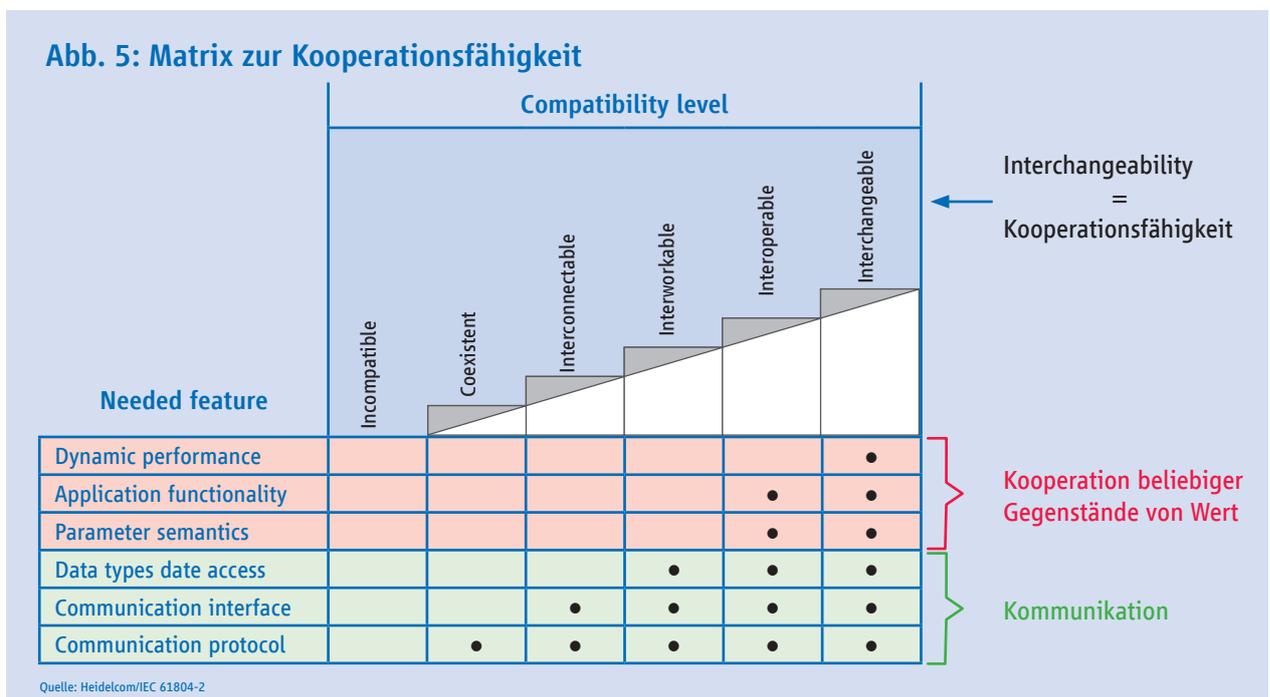


Für die Umsetzung eines Antriebs in eine Antriebskomponente 4.0 existieren bereits viele Normen, auf die zurückgegriffen werden kann. Daher ist zu erwarten, dass der Übergang auf I4.0 nicht disruptiv erfolgen wird.

Kooperationsfähigkeit von I4.0-Komponenten

Für „Kooperationsfähigkeit“ oder auch „Cooperability“ stand zu Zeiten der Entwicklung von genormten Kommunikationsprotokollen noch der Begriff „Interchangeability“. Beschrieben werden damit wichtige Kriterien über den reinen Datenaustausch hinaus. Dabei wird die Perspektive des reinen Datenaustauschs zugunsten einer anwendungsbezogenen, auf Kooperation aufbauenden Betrachtungsweise auf Anwendungsebene erweitert. Da diese Erweiterung gekennzeichnet ist von standardisierten „(Anwendungs-)Funktionen“ und „konformem dynamischem Verhalten“, spielt eine einheitliche Semantik eine wichtige Rolle.

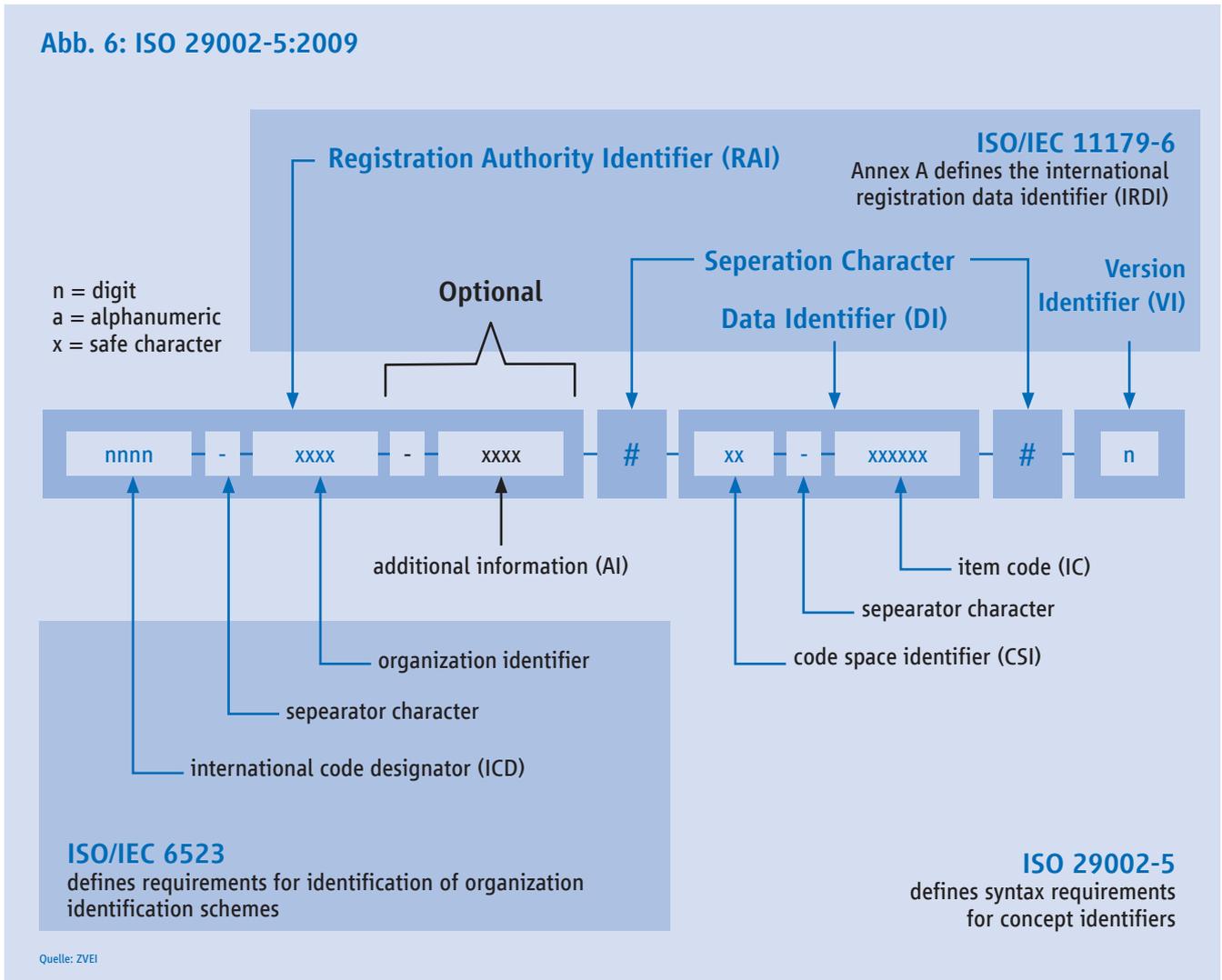
Die Strukturierung des Antriebs 4.0 kann mit dem Gerätemodell der IEC 61804-2 veranschaulicht werden (s. Abb. 5).



Identifizierung von Assets

Das Ziel, einheitliche Informationsmodelle zur Verfügung zu stellen, die herstellerübergreifend anwendbar sind, erfordert die Nutzung digital und eindeutig erzeugter Merkmale mit wiederverwendbaren Wertereihen. Die IRDI (International Registration Data Identifier) bildet die Grundlage, Daten eindeutig mit einem Identifikator zu belegen.

Abb. 6: ISO 29002-5:2009



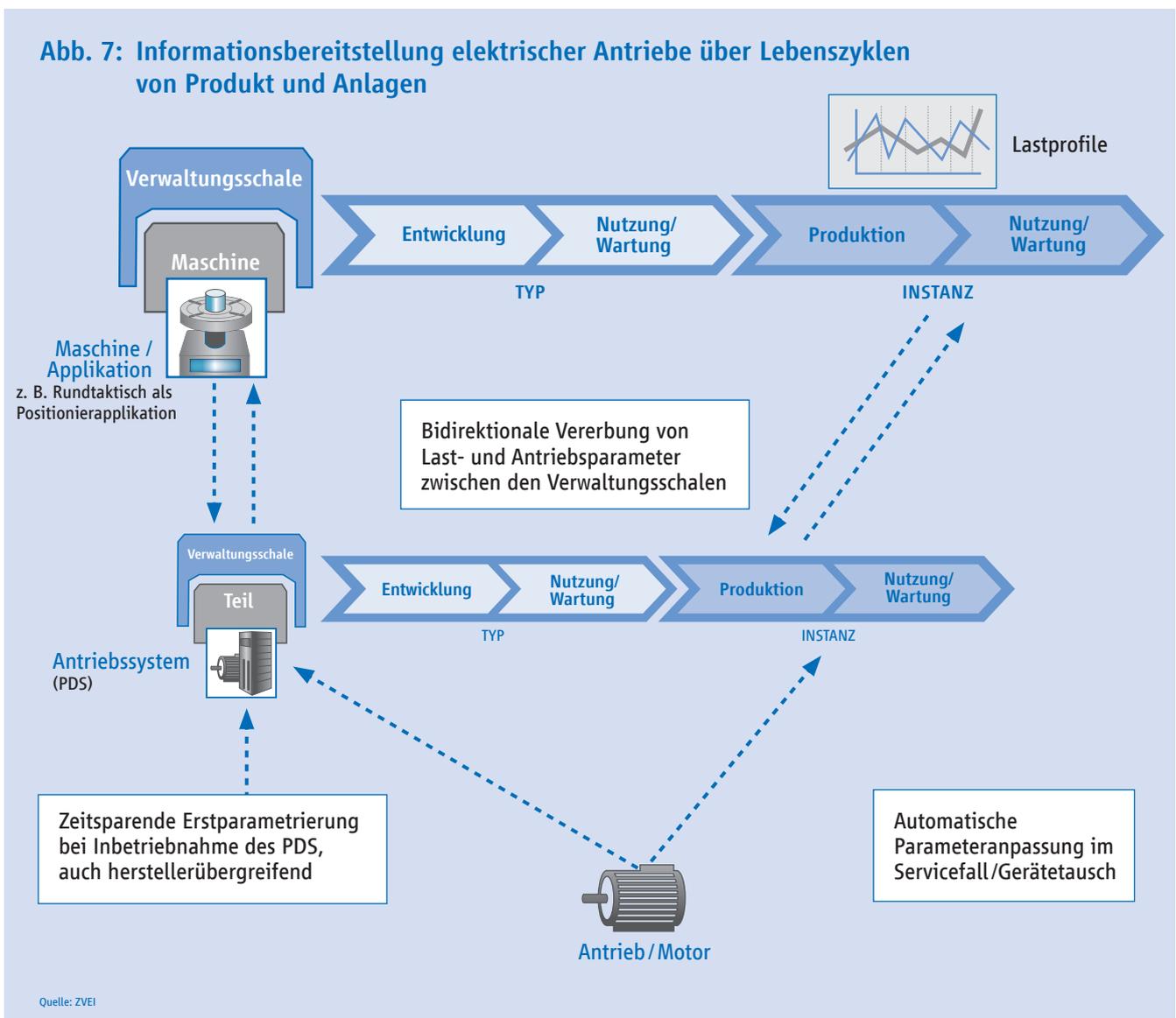
Hierzu bietet unter anderem der eCl@ss e. V. mit seinen Repositorien die Möglichkeit, nach ISO/IEC 6523 sowie ISO/IEC 11179-6 und auf Basis ISO29002-5 Merkmale in einer gemäß I4.0 standardisierten Form anzulegen und zu pflegen (s. Abb. 6). Ein Merkmal in eCl@ss besteht im Wesentlichen aus einem eindeutigen Identifikator (Zugriffspfad) für die herausgebende Organisation und dem das jeweilige Merkmal charakterisierenden Item-Code. Dieser besteht aus drei Buchstaben und drei Ziffern. Der Identifikator der Organisation eCl@ss ist beispielsweise die 0173, der Item-Code für das Merkmal „Leistungsdaten (Motor)“ ist „BAE083“. Damit ist jeder Motor bezüglich dieser Eigenschaft mit diesem Item-Code für das Merkmal eindeutig zu kennzeichnen.

3 Umsetzung Industrie 4.0 in der Antriebstechnik

Um den elektrischen Antrieb als physische Komponente gemäß I4.0 in Form von Informationen darzustellen, wird dieses Asset hinsichtlich seiner Merkmale, Daten und Funktionen beschrieben. Mögliche Nutzer sind der Hersteller des Antriebs, der Maschinenbauer sowie der Betreiber der Produktionsanlage.

3.1 Merkmale des Antriebs 4.0

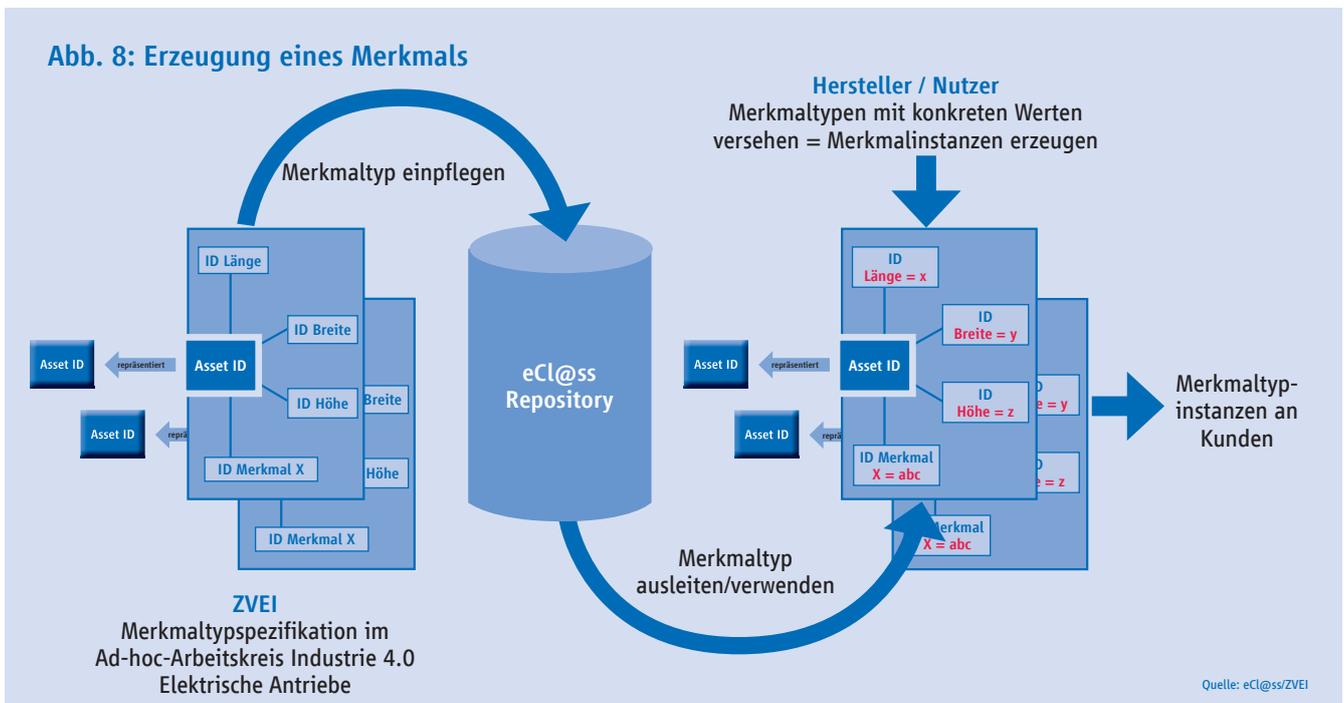
Die Merkmale können über den Wertschöpfungsprozess hinweg beispielsweise in Entwicklungs- oder Produktionsphasen unterschiedliche Werte annehmen (s. Abb. 7). Das entspricht, wie beim RAMI 4.0 vorgesehen, einer Berücksichtigung von „Typ“ (mit typischen Werten für bestimmte Merkmale) und „Instanz“ (mit eindeutig dem Individuum zuzuordnenden Werten für bestimmte gleiche Merkmale).



Die Gruppierung der Merkmale sowie die Beschreibung von Lieferanten und Nutzern der Daten ermöglicht es, schnell zu identifizieren, welche Daten in welcher Phase relevant sein können. Für eine Vielzahl der gesammelten Daten existieren Richtlinien, regionale oder globale Standards (z. B. VDE, VDI, ISO, EN, IEC, ...), welche die Eigenschaften definieren und beschreiben. Trotz der Bemühungen unterschiedlicher Gremien gibt es allerdings Unterschiede im Detail. Neben möglichen Abweichungen in den physikalischen Einheiten (z. B. [H] für Henry oder [mH] für Milli-Henry) gibt es vor allem Unterschiede bei verwendeten Datenformaten, die in der Regel auch nicht genormt sind (Integer-Zahl, Fließkommazahl, Anzahl der Nachkommastellen ...). Als Grundlage für eine erste Vereinheitlichung hat die Arbeitsgruppe als Klassifizierungssystem eCl@ss ausgewählt, in dem viele Merkmale über verschiedene Bereiche der Antriebstechnik bereits definiert sind. Derzeit wird ein Katalog von Merkmalen zusammengestellt, der später für Hersteller von Antrieben, für Maschinenbauer und Betreiber zur Verwendung und Pflege bereitstehen soll.

„Die intelligenten Fertigungsnetzwerke der digitalen Fabrik werden nur mit maschinell standardisierten Informationsaustauschformaten Realität. Sie müssen einen sicheren, zuverlässigen und fehlerfreien Datenfluss über die verschiedenen Systeme hinweg ermöglichen (ERP, PLM, MES, Logistik, Produktionsautomation etc.) und sollen im Idealfall auch noch firmen- und (sogar) branchenübergreifend zum Einsatz kommen.“¹¹

Der Arbeitskreis des ZVEI spezifiziert derzeit noch fehlende und zu überarbeitende Merkmale und bringt sie in eCl@ss ein. Ziel ist es, diese Merkmale jedem Hersteller zur Verfügung zu stellen, damit er durch Hinzufügen der Kennwerte und Eigenschaften seines Antriebsprodukts eine konkrete Instanz-Beschreibung erzeugen kann. Zudem stehen den Nutzern oder Betreibern am Ende Informationen zu den Produkten in einheitlicher Datenstruktur zur Verfügung (s. Abb. 9).¹²



¹¹ Vgl. https://www.eclass.eu/fileadmin/downloads/ecl-Whitepaper-Industrie40_DE_klein.pdf

¹² Vgl. <http://wiki.eclass.eu/>

Beispiel elektronisches Typenschild

Eines der ersten Umsetzungsbeispiele des Antriebs 4.0 ist das auf allen Antrieben verpflichtend vorhandene Typenschild in digitaler Abbildung mittels eCl@ss.

Die Realisierung des „elektronischen Leistungsschildes mit I4.0-Funktionalität“ soll am virtuellen Antriebsstrang unter anderem mit eindeutiger Identifikation des Motors inklusive Instanz-Informationen, wie die Seriennummer und Verschaltung des Motors, erprobt werden. Hier dient die Sachgruppe 27-02-21 „IEC Niederspannungsmotor“ als Vorlage für die Datenmodellierung von Merkmalen und Merkmalsblöcken in eCl@ss, die um spezifische Eigenschaften anderer Motorentypen, derzeit beispielsweise Sachgruppe 27-02-26 Servomotoren, ergänzt werden.¹³

Abb. 9: Übertrag eines Typenschildes nach eCl@ss

Hersteller	IE3	CE
3 ~ Mot	Typ xyz	2018
IP 54	S1	P = 15kW
△ / Y	400/690 V	26,0/15,0 A
2.900 min ⁻¹	50Hz	η = 92,2 %
IEC / EN 60034-1		

Leistungsdaten (Motor)			BAE083
Leistungsdaten des Motors im Netzbetrieb			AAV489
Anzahl der Bemessungspunkte Netzbetrieb			AAV190
Bemessungspunkt Netzbetrieb			AAV490
Anzugsmomentfaktor		one	AAV202
Leistungsfaktor (Cos phi)			AAN420
Schalldruckpegel (in 1 m Entfernung bei Bemessungsleistung)		one	AAV207
Bemessungsleistung		dB	AAC970
Bemessungsdrehzahl		W	AAC879
Wirkungsgrad		l/min	BAB370
Polpaarzahl			AAV194
Spannungs-Toleranz		%	AAV196
Bemessungsstrom		A	AAF726
Bemessungsfrequenz		Hz	BAA302

Quelle: ZVEI

Die Leistungsschilddaten werden in Merkmalen beschrieben und in Strukturelementen abgebildet, die zum Beispiel für die Abbildung der Leistungsdaten (Schaltart, Spannung, Frequenz, Leistungsfaktor usw.) in einem Merkmalsblock mit entsprechender Kardinalität zusammengefasst werden können (s. Abb.9). Die Wertereihen werden individualisiert zugeordnet.

In der Zukunft des Antriebs 4.0 betrifft dies nicht nur statische Informationen, die bei der Herstellung des Antriebs bereits festgelegt sind, sondern alle Merkmale, Daten und Funktionen über den kompletten Lebenszyklus des Antriebs bis hin zum Betrieb in Echtzeit.

3.2 Daten des Antriebs 4.0

Um elektrische Antriebe hinsichtlich ihrer Eigenschaften auf Informationsebene abzubilden, müssen die für den gesamten Lebenszyklus relevanten Merkmale identifiziert und festgelegt werden. Damit sie herstellerunabhängig zur Verfügung stehen, sind für jedes Merkmal Identifier, Beschreibung, Typ, Datenformat, Einheit und Zugriffsmethode zu definieren. Hierzu betrachtet der Arbeitskreis spezifisch das „Power Drive System“ (PDS). Die grundlegende Definition der Europäischen Norm EN 50598 bzw. der Internationalen Norm IEC 61800-9 legt fest, dass sich ein PDS aus dem gesamten elektrischen Antriebsstrang von Ansteuerelektronik, Elektromotor bis zur Motorwelle zusammensetzt.¹⁴

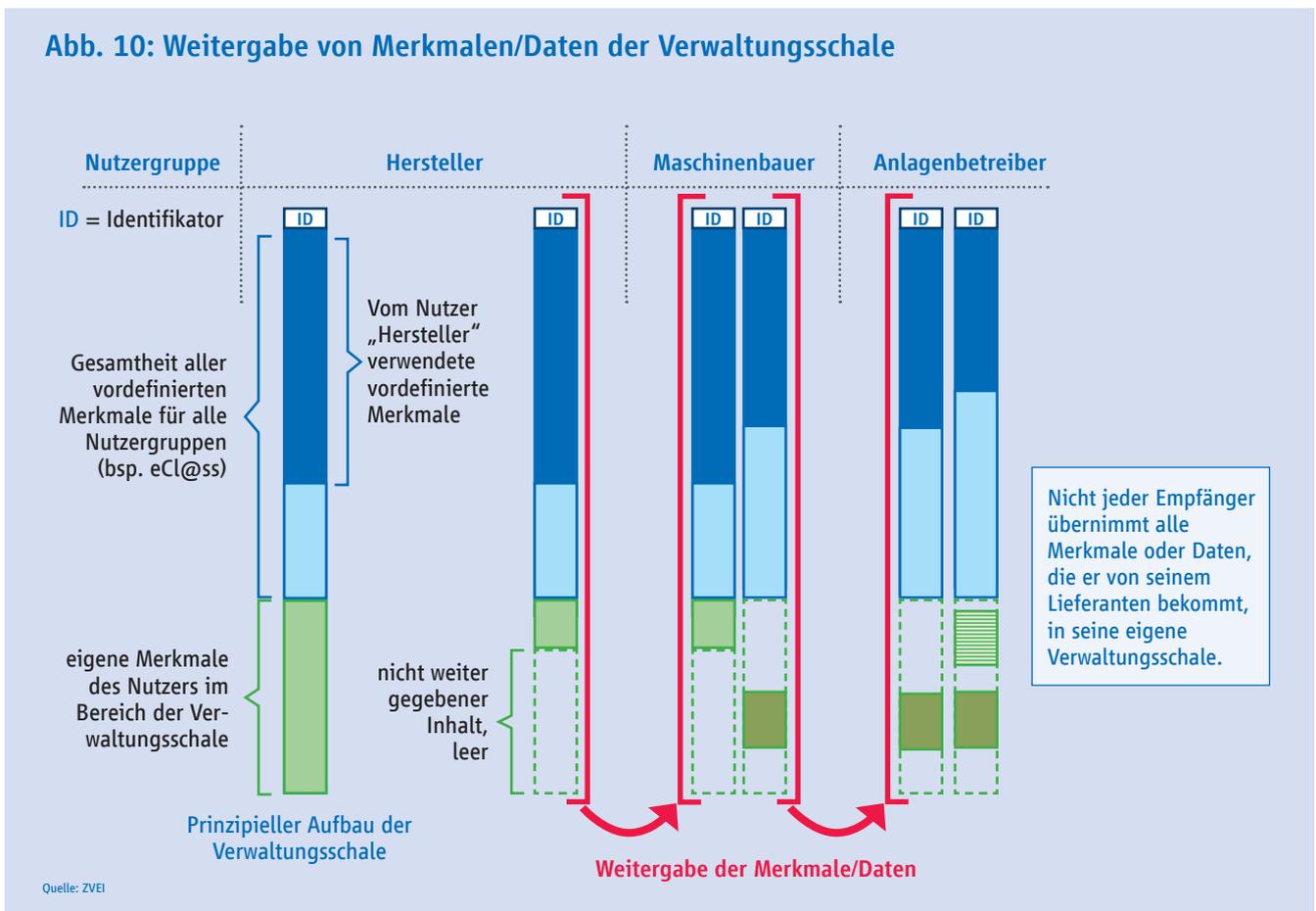
Die Daten, die hinsichtlich des PDS bei den verschiedenen Nutzern entstehen, werden in der Verwaltungsschale abgelegt. Zuerst sind die vordefinierten anwendbaren Merkmale zu füllen. Nur durch die Verwendung von abgestimmten, allgemein gültigen Merkma-

¹³ Vgl. <http://www.eclasscontent.com/?id=27022101&action=det>

¹⁴ Vgl. <https://www.zvei.org/verband/fachverbaende/fachverband-automation/elektrische-antriebe/?showPage=4816>

len ist später ein automatisierter Austausch möglich. Zusätzlich können Daten abgelegt werden, die nur für die interne Nutzung gedacht sind, beispielsweise Sensordaten eines Testlaufs oder interne Konstruktionszeichnungen. Bestimmte Daten werden also über den Wertschöpfungsprozess weitergereicht. Hierbei gilt, dass jeder Nutzer die Daten weitergibt, die er als Datenlieferant veröffentlichen muss und möchte. Jeder Empfänger entscheidet anschließend, was in seine Verwaltungsschale übernommen wird. Der Hersteller gibt nur eine Teildatenmenge an den Maschinenbauer weiter. Über einen eindeutigen Identifier (ID) lassen sich die Daten bei Bedarf stets nachverfolgen. Der Maschinenbauer, aber auch der Anlagenbetreiber kann dann die Daten in seiner Verwaltungsschale zum Teil auch anpassen und ergänzen (s. Abb. 10).

Abb. 10: Weitergabe von Merkmalen/Daten der Verwaltungsschale



Es ist auch denkbar, dass der Maschinenbauer ein Produkt – nach vorheriger Vereinbarung mit dem Originalhersteller – unter seinem eigenen Namen vertreibt. In einem solchen Fall würde er eine eigene eindeutige ID vergeben und somit die Rolle des Herstellers für dieses Produkt einnehmen. Während des Betriebs entstehen weitere Daten, die für die verschiedenen Teilnehmer in der Wertschöpfungskette interessant sein können. Diese Daten fallen sowohl beim Maschinenbauer als auch beim Anlagenbetreiber an und werden ebenfalls in der Verwaltungsschale abgelegt. Ihre Änderung durch verschiedene Nutzer macht deutlich, dass die Verwaltungsschalen dynamisch sind und es für ein bestimmtes Gerät bei verschiedenen Nutzern unterschiedlich gefüllte Verwaltungsschalen geben kann. Die Nachvollziehbarkeit der Daten zwischen den Nutzern ist über die eindeutige ID gewährleistet.

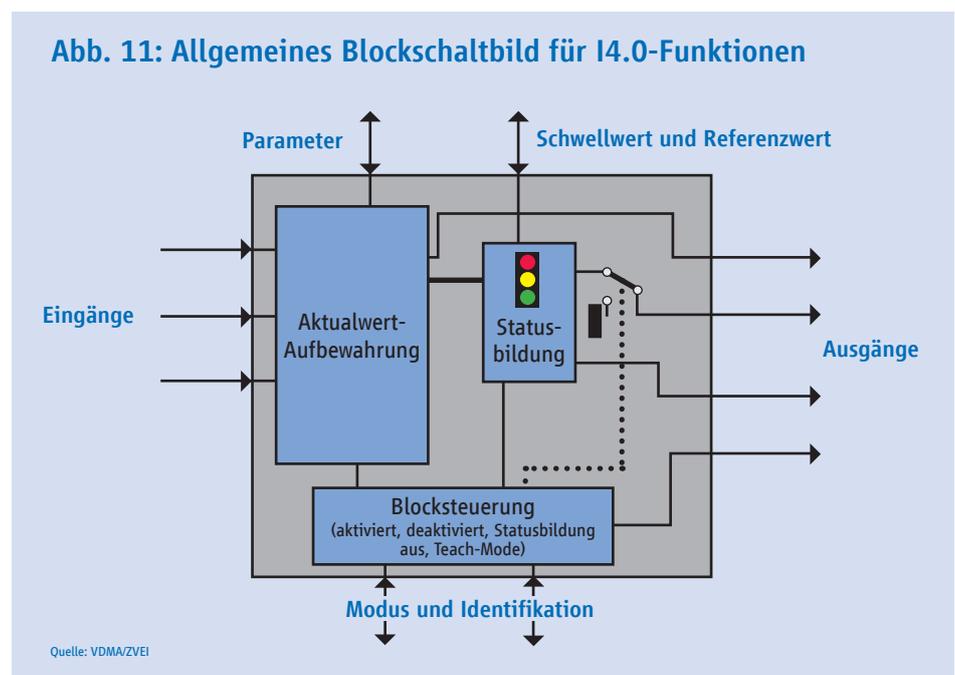
Der Ad-hoc-Arbeitskreis Industrie 4.0 Elektrische Antriebe hat Merkmale und Daten, die das PDS betreffen, auf Basis von unterschiedlichen Anwendungsfällen in Gruppen zusammengefasst:

- Funktionalität
- Technische Daten Mechanik/Elektrik
- Dokumentation
- Zertifikate, Zulassungen
- Bestelldaten
- Logistik
- Schnittstellen
- Service/Wartung/Support
- Sonstiges

Die Ergebnisse fließen direkt in die Erweiterung der eCl@ss-Datenmodelle für die verschiedenen Motorentypen ein. Die vom ZVEI-Arbeitskreis erarbeiteten Merkmale und Daten werden in die internationale Normung bei IEC eingebracht, um auch die globale Akzeptanz zu erhöhen.

4 Funktionen des Antriebs 4.0

Aufbauend auf den Merkmalen und der Datenhandhabung, werden vom ZVEI-Arbeitskreis I4.0-Funktionen erarbeitet. Zur Beschreibung der herstellerübergreifenden Funktionen schlägt der Arbeitskreis vor, eine Darstellung in Form von Funktionsblöcken nach dem Muster des VDMA-Einheitsblatts¹⁵ für Condition-Monitoring zu verwenden. Dadurch wird eine eindeutige Zuordnung der funktionsrelevanten Daten (z. B. zu Eingangs-, Ausgangs- oder Referenzwerten) gewährleistet, die unabhängig von dem Zweck der jeweiligen Funktion ist.



¹⁵ Vgl. VDMA 24582 „Feldbusneutrale Referenzarchitektur für Condition-Monitoring in der Fabrikautomation“

Allgemein sind I4.0-Funktionen eines Assets dem gleichbenannten Functional-Layer im RAMI 4.0 zuzuordnen. Die dort verorteten Funktionen werden in einer einheitlichen Methodik zur Verfügung gestellt. Diese Methodik beinhaltet den Zugriff, die Semantik (= Informationsgehalt oder Bedeutung der Information) sowie die interne Logik der Funktion, also in welcher Weise die Informationen gebildet werden. Die I4.0-Funktionen sind unabhängig vom Asset, unabhängig vom Hersteller und unabhängig von der verwendeten Kommunikationsinfrastruktur einheitlich abzubilden.

Ein gutes Beispiel für eine solche Funktion stellt ein vereinheitlichtes Oszilloskop dar. Für jeden elektrischen Antrieb soll ein Zugriff auf Echtzeitdaten ermöglicht werden. Damit kann der Anwender die Daten unterschiedlicher Antriebe und Aktoren oder Sensoren in seiner Anlage mit dem richtigen Zeitbezug visualisieren.

4.1 Oszilloskop-I4.0-Funktion

Unter einem Oszilloskop verstehen wir die Eigenschaft, Echtzeitsignale eines Antriebssystems aufzuzeichnen und „höheren“ Architekturschichten außerhalb des Assets „Antriebsregler“ zur Verfügung zu stellen. Die Aufzeichnung eines Signals wird als Abfolge von Amplitudenwerten abgebildet, wobei jedem Amplitudenwert eine eindeutige Systemzeit zugeordnet wird. In der Regel werden die Amplitudenwerte in einem äquidistanten Zeitraster abgetastet (wie bei einem digitalen Speicheroszilloskop). Als Echtzeitsignale werden hier quasi-analoge (zum Beispiel Motorphasenstrom oder Zwischenkreisspannung) oder digitale (zum Beispiel Schnellhalt oder Impulssperre) Signale verstanden, die in der chronologischen Auflösung aufgezeichnet werden, die dem Antriebssystem zugrunde liegt. Typische Zykluszeiten im Antriebssystem sind zum Beispiel 500 μs (Drehzahlregelkreis) oder 125 μs (Stromregelkreis).

Die Systemzeit dient dazu, den Bezug zwischen unterschiedlichen Signalen von verschiedenen Aktoren und Sensoren herzustellen. Als ein geeigneter Kandidat für die Systemzeit eignet sich die durchgängige Nutzung einer Echtzeituhr (RTC). Möglicherweise lässt sich ein exakter Zeitbezug auch durch die Nutzung von Time-Sensitive Networking (TSN) herstellen. Hier gibt es für die Synchronisation von Netzwerken das allgemeine Precision-Time-Protocol nach IEEE 1588.

Jedes Oszilloskop-Signal besteht aus einem Signaltyp und einer Anzahl von Abtastwerten. Die Anzahl der Abtastwerte ist nicht limitiert.

Der Signaltyp eines Oszilloskop-Signals hat die Attribute

- Bezeichner (z. B. Motorstrom_Phase_U)
- Datentyp (z. B. Integer 32 Bit als Fixkomma-Signal oder Integer 16 Bit Floating-point-Signal)
- Quasi-Analogsignal oder Binärsignal
- Einheit (z. B. A, V, W)
- Messtoleranz (z. B. in LSB)

Jeder Abtastwert eines Oszilloskop-Signals besteht aus

- Vorzeichen (im Verbraucherzählpeilsystem) – nicht bei Binärsignalen
- Zahlenwert (Vor- und Nachkommastellen entsprechend dem Datentyp)
- Abtastzeitpunkt auf Basis der festgelegten Echtzeit/Anlagenzeit

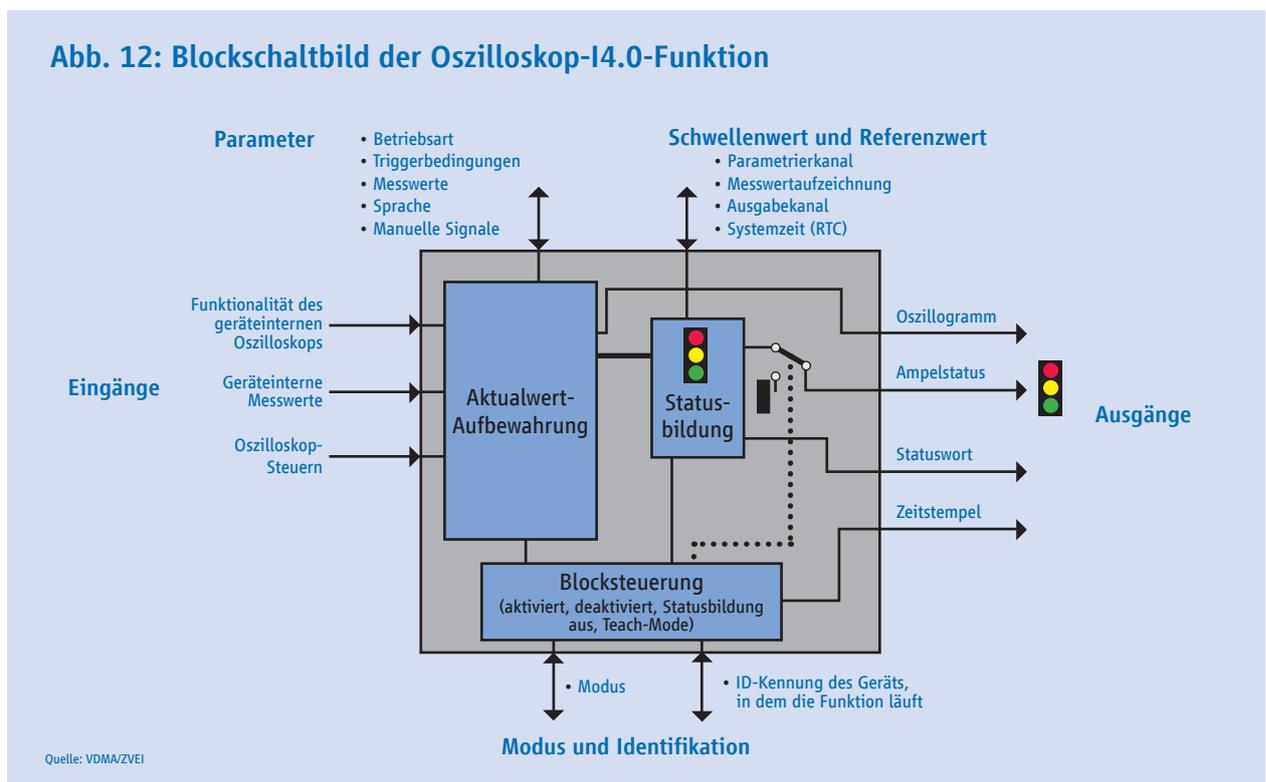
Ein standardisiertes Oszilloskop ermöglicht eine schnellere Inbetriebnahme von Antrieben, Maschinen und Anlagen. Dabei liegt der Nutzen in einer einheitlichen Bedienung, der selektiven Auswahl relevanter/gewünschter Informationen, der Auswahl von Triggerbedingungen sowie dem Übereinanderlegen von Informationen aus unterschiedlichen Teilsystemen.

Im laufenden Betrieb kann das Oszilloskop dazu genutzt werden, eine Prozesssignatur eines Antriebs, einer Maschine oder einer Anlage aufzuzeichnen und diese online zu bewerten. Bei Abweichungen kann der Bediener gegebenenfalls vor Auftreten eines Fehlers (in einer Komponente und/oder im Produktions- bzw. Prozessgut) eingreifen, um den sicheren Betrieb aufrechtzuerhalten und Schaden zu verhindern.

Über ein standardisiertes Interface kann das Gerät dem I4.0-Oszilloskop mitteilen, welche Messwerte es in welcher Qualität zur Verfügung stellt:

- Anzahl der Kanäle, die gleichzeitig aufgezeichnet werden können
- Größe des Speicherbereichs (gesamt)
- Minimale Abtastrate
- Zeitbezug und interne Auflösung
- Liste der Prozesssignale/Parameter mit Datentyp, Normierung und Einheit
- Liste der Triggersignale (falls abweichend von den Prozesssignalen)

Abb. 12: Blockschaltbild der Oszilloskop-I4.0-Funktion



Eingänge der Oszilloskop-Funktion

Während der Initialisierung wird über den Eingang **Funktionalität des geräteinternen Oszilloskops** mitgeteilt, welche Möglichkeiten zur Datenaufzeichnung der elektrische Antrieb zur Verfügung stellt.

Die geräteinternen Messwerte werden als Datenpakete in einem fest definierten oder individuell ausgehandelten Format eingelesen und stehen damit für die weitere Verarbeitung zur Verfügung. Die Funktion benötigt die im Gerät aufgezeichneten Messsignale in Form von Daten inklusive Zeitstempel.

Mit dem Eingang Oszilloskop-Steuern wird die Funktion zur Laufzeit beeinflusst. Zum Beispiel kann die Oszilloskop-Funktion parametrierbar, gestartet, gestoppt oder für die Datenausgabe konfiguriert werden.

Parameter der Oszilloskop-Funktion

Mit verschiedenen Parametern kann der Anwender das Verhalten der Oszilloskop-Funktion einstellen.

Die Betriebsart des Oszilloskops wirkt sich auf die Art der Bereitstellung der Informationen aus:

- In der Betriebsart „diskret“ können die aufgezeichneten Daten angefordert werden, wenn der Trigger ausgelöst und die Aufzeichnung erfolgreich beendet wurde.
- In der Betriebsart „kontinuierlich“ werden die ausgewählten Daten fortlaufend übertragen.

Weitere Parameter dienen der Festlegung der Trigger-Bedingung sowie der Auswahl der Messsignale.

Die Aufzeichnung kann optional mithilfe des Parameters manueller Eintrag erweitert werden, zum Beispiel um ein festes Referenzsignal mit der jeweils neuesten Aufzeichnung zu vergleichen. Hierzu muss der Modus „manuell“ genutzt werden (siehe unten).

Die Auswahl der Sprache wirkt sich auf Klartextinformationen wie etwa Hilfetexte oder die Bezeichnung der Messsignale aus.

Schwellwert und Referenzwert der Oszilloskop-Funktion

Als Schwellwert für die Statusausgabe können der Parametrierkanal, die Messwertaufzeichnung oder der Ausgabekanal überwacht werden.

Als Referenzwert kann die Systemzeit der aufrufenden Seite (Anwender, Steuerung) übergeben werden. Um die Oszilloskop-Aufzeichnung mit anderen Signalen der Anlage in Bezug setzen zu können, sollte hier eine Echtzeituhr (RTC) genutzt werden. Wenn die Systemzeit angegeben ist, können die vom Gerät gelieferten Zeitstempel dazu in Bezug gesetzt werden.

Modus und Identifikation der Oszilloskop-Funktion

Mithilfe des Modus-Signals wird die interne Verarbeitung im Funktionsblock beeinflusst. Mögliche Werte sind:

- „aktiviert“: liefert aufgezeichnete Datenpakete
- „deaktiviert“: Die I4.0-Funktion Oszilloskop liefert keine Daten (unabhängig von möglichen Aufzeichnungen im Gerät selbst)
- „manuell“: der Oszilloskop-Aufzeichnung einen manuellen Eintrag hinzufügen (siehe oben, Parameter manueller Eintrag)
- „Simulation“: zu Testzwecken ein Oszillogramm mit künstlich generierten Einträgen zusammenstellen

- „Statusbildung aus“: Funktion durchführen, ohne einen Status oder Ampelstatus auszugeben
- „Reset“: aktuelles Oszillogramm löschen und I4.0-Funktion zurücksetzen

Zur Identifikation wird eine eindeutige ID-Kennung des Geräts, in dem die Funktion läuft, ausgetauscht. Diese sollte sowohl eine Klassen- als auch eine Instanz-Information enthalten.

Aktualwert-Aufbereitung, Statusbildung und Blocksteuerung der Oszilloskop-Funktion

Die interne Verarbeitung der Oszilloskop-Funktion besteht darin,

- die geräteinterne Messwertaufzeichnung zu interpretieren,
- die Datenpakete für die standardisierte Ausgabe aufzubereiten,
- gegebenenfalls die Zeitstempel an die Systemzeit anzupassen,
- kontextsensitive Informationen zur Aufzeichnung bereitzustellen sowie
- Status und Ampelstatus zu bilden und auszugeben.

Ausgänge der Oszilloskop-Funktion

Das Ergebnis der Aufzeichnung wird am Ausgang als Oszillogramm ausgegeben. Dabei handelt es sich um Datenpakete mit Header, Kanalbeschreibung und Datenpunkten. Der geräteinterne Zeitstempel wurde auf die Systemzeit umgerechnet.

Über das Statuswort macht die Funktion Aussagen über die Gültigkeit der Ausgabe:

- „gültig“: Die Oszilloskop-Aufzeichnung wurde erfolgreich ausgeführt und es steht eine gültige Aufzeichnung am Ausgang zur Verfügung
- „nicht gültig“: Derzeit können keine Datenpakete empfangen werden, etwa wenn das Oszilloskop auf das Eintreten der Triggerbedingung wartet
- „messbar“: Das Oszilloskop arbeitet gerade an einer Messwertaufzeichnung (aktueller Oszilloskop-Status = „Warte“ oder „Läuft“ oder „Beendet“)
- „fehlerhaft“: Die Aufzeichnung ist fehlgeschlagen oder konnte nicht gestartet werden

Der Ampelstatus übersetzt dies entsprechend:

- „grün“: OK (Status „gültig“)
- „gelb“: Warnung (Status „nicht gültig“ oder Status „messbar“)
- „rot“: Fehler (Status „fehlerhaft“)

Der zurückgelieferte Zeitstempel gibt an, auf welchen Zeitpunkt sich Oszillogramm und Statusbildung beziehen.

Gemäß dem VDMA-Einheitsblatt können für Funktionsblöcke, falls zutreffend und sinnvoll, sogenannte Wartungsstrategien angegeben werden. Für das Oszilloskop sind das die folgenden Verwendungsmöglichkeiten:

- Bei der Inbetriebnahme: Triggern auf bestimmte Ereignisse oder Fehlerbilder bei der Inbetriebnahme; Aufzeichnen von „Gutmustern“ als Referenz für den späteren Betrieb
- Im Betrieb: laufende Messwertaufzeichnung im Betrieb; Detektieren von Abweichungen gegenüber festgelegten Referenzen; automatisches Detektieren von Veränderungen bei wiederholten/getakteten Prozessen; Detektieren von unerwarteten Ereignissen oder deren Häufung
- Im Servicefall: Ermitteln von Störungsursachen: Triggern auf bestimmte Ereignisse oder Fehlerbilder; Rückblick auf den Betrieb vor der Störung

4.2 Weitere I4.0-Funktionen

In der kontinuierlichen Arbeit des ZVEI-Arbeitskreises werden neben dem Thema eCl@ss weitere I4.0-Funktionen für elektrische Antriebe erarbeitet und übergreifend standardisiert. Die nachfolgenden Kurzzusammenfassungen erster konkreter Beispiele geben einen Einblick, wie aktiv die Antriebstechnik mit dem Thema I4.0 verbunden ist und wie diese Schnittmenge im Antrieb 4.0 seine Realisierung finden wird:

Fehlerspeicher/Warnungen

Während der Inbetriebnahme und im laufenden Betrieb können Meldungen über Ereignisse oder Betriebszustände auftreten: von Hinweisen (z. B. Referenzfahrereignisse, Umschalten der Betriebsart) über Warnungen (z. B. Überlast/Strombegrenzung oder Schleppfehler) bis hin zu Störungen (z. B. Endschalter angefahren oder Motor blockiert). Eine standardisierte Schnittstelle kann helfen, in der übergeordneten Steuerung oder im Falle eines Fernzugriffs auf diese Meldungen zuzugreifen.

Auto-Tuning

Ein modernes Inbetriebnahme-Tool führt den Nutzer unkompliziert und schnell durch die einzelnen Schritte der Inbetriebnahme eines PDS. Der Zugriff auf eine Motordatenbank, ein elektronisches Typenschild oder auch zukünftig auf Inhalte der Verwaltungsschale macht die Eingabe einzelner Motorparameter überflüssig. Das Inbetriebnahme-Tool bringt durch die Parametrierung von Motor und zugehöriger Elektronik nicht nur den Motor zum Drehen, sondern bietet darüber hinaus auch Funktionen zu Analyse, Diagnose und Auto-Tuning. Mithilfe der Auto-Tuning-Funktion ist es möglich, dass sich das PDS durch Einlesen und Auswerten von entsprechenden Soll- und Istwerten selbstständig einstellt bzw. optimiert. Grundlage bildet auch hier ein Funktionsblock nach dem Muster des VDMA-Einheitsblatts. Die Blöcke Aktualwertaufbereitung, Blocksteuerung und Statusbildung sind Grundbestandteil. Weiterhin besteht die Möglichkeit, durch applikationsspezifische Einstellungen, beispielsweise Rechts-Links-Lauf oder Antrieb darf nicht drehen, die Funktion zu erweitern.

Die Ergebnisse stehen als Statusinformation und Datensatzinformation zur Verfügung und können über die I4.0-Kommunikationswege genutzt werden.

Energiemanagement

In der Prozess- und Fertigungsindustrie spielt neben Durchsätzen und einem zuverlässigen Betrieb auch der Verbrauch elektrischer Energie eine zunehmende Rolle: Der Abruf von Energiedaten wird einerseits hinsichtlich entstehender Kosten, aber beispielsweise auch für das Lastmanagement im Zuge der Energiewende benötigt, etwa in Form von 15-min-Spitzenwerten des Leistungsbezugs.

Jeder einem PDS zugeordnete Um-/Wechselrichter verfügt über Stromsensoren, wodurch die an die Maschine abgegebene Wirkleistung und auch die im Zwischenkreis entnommene Leistung bestimmt werden können. Verfügt der Umrichter über einen Dioden-Gleichrichter, können auch die netzseitig aufgenommene Grundscheinleistung sowie die Verzerrungsleistung abgeschätzt werden, ohne dass es zusätzlicher Stromsensoren auf der Netzseite bedarf. Bei einem Active-Infeed-Converter (Gleich-/Wechselrichter mit aktiven Halbleiter-Schaltern, meist IGBT) kann mit den netzseitigen Stromsensoren sowie der Netzspannungsmessung ebenfalls die aufgenommene Blind- und Wirkleistung bestimmt werden. Damit stehen die elektrischen Leistungsgrößen zur Verfügung, die einer übergeordneten Steuerung übergeben werden können. Hieraus können die Verluste im Wechsel-

richter und im Motor und damit Wirkungsgrad und Wärmeabgabe bestimmt, zumindest abgeschätzt werden.

Funktion Wartungschronik

Die Lebenszykluskosten (TCO) eines elektrischen Antriebssystems werden maßgeblich durch Wartungs- und Serviceaufwände während der Nutzungsphase geprägt. Die Funktion „Wartungschronik“ fördert den wirtschaftlichen Betrieb und unterstützt Konzepte von Condition-Monitoring und Predictive Maintenance. Sie liefert aussagekräftige und vollständige Informationen zum Wartungsstatus sowie zu den zeitlichen und monetären Aufwänden für geplante und ungeplante Wartungsaktivitäten. Die aufbereiteten Daten schaffen Transparenz für Optimierungen und Effizienzsteigerungen und bilden gleichzeitig die Basis für Produktbeobachtungen und zukünftige Investitionsentscheidungen. Während der Nutzungsphase des PDS entstehen beim Betreiber unterschiedliche Daten mit Wartungs-, Support- und Serviceinformationen, die für alle Teilnehmer im Wertschöpfungsprozess interessant sind. Diese Daten werden chronologisch in den Verwaltungsschalen der I4.0-Komponenten abgelegt und bilden damit ein intelligentes und sich fortschreibendes Logbuch über den gesamten Einsatzzeitraum.

5 Ausblick

Im Ad-hoc-Arbeitskreis Industrie 4.0 Elektrische Antriebe arbeiten die Teilnehmer weiter an einem umfassenden Konzept für den Antrieb 4.0. Die derzeitigen Aufgaben des Arbeitskreises konzentrieren sich auf die Vereinheitlichung der Merkmale, Daten und Funktionen im Rahmen des Klassifizierungssystems von eCl@ss. Zudem werden auch weitere mögliche Modelle zur Bereitstellung von herstellerübergreifenden Informationen wie OPC-UA und HTTP erörtert.

Dass der Arbeitskreis durch seine Bündelung von Know-how und durch seiner intensiven Beschäftigung mit dem Thema auf Sachebene zu den Vorreitern im Umfeld von I4.0 zählt, zeigt sich auch an dem Interesse anderer Arbeitskreise und Forschungsgruppen an den bisherigen Resultaten. Hier wird der Ad-hoc-Arbeitskreis Industrie 4.0 Elektrische Antriebe weiterhin unterstützen und seine Arbeitsergebnisse anderen Interessierten zur Verfügung stellen. Auf Podiumsdiskussionen im Rahmen der SPS/IPC/Drives und der Hannover Messe sowie im Zusammenhang mit dieser Informationsbroschüre wurden und werden erste Ergebnisse kurz vorgestellt. In Kürze folgt ein Whitepaper zu dem Thema Antrieb 4.0, in dem die bisherigen und bis dahin weiteren Ergebnisse ausführlicher beschrieben werden.

Im nächsten Schritt wird auf Basis der detaillierten Beschreibung der Wirkungsweise und der Schnittstelle zu den herstellerübergreifenden Funktionen eine prototypische Realisierung verwirklicht. In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Darmstadt soll dazu ein Demonstrator entstehen, der über eine standardisierte Schnittstelle in der Verwaltungsschale von Antrieben unterschiedlicher Hersteller auf erste I4.0-Funktionen zugreift und diese in den Antrieben ausführt – so wird die Vision Antrieb 4.0 zur Realität.

Redaktion

Zur Veröffentlichung von „Antrieb 4.0 – Vision wird Realität“ des ZVEI-Ad-hoc-Arbeitskreises Industrie 4.0 Elektrische Antriebe wurden von folgenden Mitgliedern Inhalte beigetragen:

Bauer Gear Motor GmbH	Yasar Yüce
Baumüller Nürnberg GmbH	Norbert Scholz
Bosch Rexroth AG	Dr.-Ing. Andreas Selig
Bosch Rexroth AG	Martin Hankel
Danfoss GmbH	Michael Burghardt
Eaton Industries GmbH	Dipl.-Ing. Rainer Günzel
eCl@ss e.V.	Christian Eck
ESR Pollmeier GmbH	Dr.-Ing. Mario Haßler
Festo AG & Co. KG	Michael Fellmeth
Getriebebau Nord GmbH & Co. KG	Dr. Ingo Ibendorf
Homag Group AG	Benjamin Kilgus
KHS GmbH	Harald Wucke
Kollmorgen Europe GmbH	Dr.-Ing. Arne Linder
Lenze SE	Martin Ehlich
Lenze SE	Dieter Schöneberg
Pepperl + Fuchs GmbH	Artur Bondza
Roland Heidel Kommunikationslösungen e.K.	Roland Heidel
SEW-Eurodrive GmbH & Co KG	Heiko Vierheilig
SEW-Eurodrive GmbH & Co KG	Udo Marmann
Siemens AG	Michael Mönch
Technische Universität Darmstadt	Prof. Dr.-Ing. Gerd Griepentrog
Technische Universität Darmstadt	Philipp Kappes
Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG	Dr. Martin Schober
VDMA	Tobias Hitzel
VEM Motors GmbH	Lutz Schube
ZVEI	Stefanie Wiesner
ZVEI	David Flörchinger
ZVEI	Bernhard Sattler
ZVEI	Gunther Koschnick



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6302-0
Fax: +49 69 6302-317
E-Mail: zvei@zvei.org
www.zvei.org