

# Antrieb 4.0 – Vision wird Realität

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

Überarbeitete und erweiterte Auflage





Die Elektroindustrie

**Antrieb 4.0 – Vision wird Realität  
(Überarbeitete und erweiterte Auflage)**

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](mailto:antriebe@zvei.org)

[www.zvei.org](http://www.zvei.org)

November 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

<b>1. Management-Summary</b>	4
<b>2. Motivation: Nutzen für Hersteller, Maschinenbauer, Betreiber</b>	4
<b>3. Grundlagen Industrie 4.0</b>	7
<b>3.1. Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)</b>	7
<b>3.2. Die Industrie 4.0-Komponente und Verwaltungsschale</b>	8
<b>3.3. Vorhandene Normen und Standards</b>	11
<b>4. Nutzergruppen – Wertschöpfungsprozesse</b>	13
<b>4.1. Einleitung</b>	13
<b>4.2. Veränderungen durch Industrie 4.0 im Wertschöpfungsprozess der Antriebstechnik</b>	17
<b>5. Antriebstechnik in Industrie 4.0</b>	21
<b>5.1. Festlegungen in der Kommunikationsschicht des RAMI 4.0</b>	21
<b>5.2. Festlegungen in der Informationsschicht</b>	24
<b>5.3. Erfüllung der Industrie-4.0-Produktkriterien</b>	26
<b>6. Antrieb 4.0</b>	30
<b>6.1. Merkmale</b>	30
<b>6.2. Industrie-4.0-Funktionen</b>	32
<b>7. Anwendung</b>	53
<b>7.1. Demonstrator</b>	53
<b>7.2. OPC-UA-Modell</b>	55
<b>8. Ausblick</b>	57

# 1. Management-Summary

In einem ZVEI-Arbeitskreis haben sich verschiedene Hersteller von Antriebstechnik mit Vertretern aus dem Maschinenbau und der Prozessindustrie sowie den Bereichen Klassifizierung und Normung zusammengeschlossen, um unter Mitwirkung der universitären Forschung die Realisierung des „Antriebs 4.0“ voranzutreiben. Eine Informationsbroschüre mit Bericht zu den ersten Ergebnissen wurde zur Hannover Messe 2018 veröffentlicht.

Dieses White Paper stellt nun vertiefend die erzielten Ergebnisse dar und erläutert die Umsetzung des elektrischen Antriebs als Industrie 4.0-Komponente. Hierbei spielt die einheitliche, herstellerunabhängige Datenbereitstellung eine besondere Rolle. Zur Schaffung einer einheitlichen Datenstruktur mit Industrie-4.0-Semantik wurde das auf internationalen Standards aufbauende Klassifizierungssystem eCl@ss ausgewählt, in dem viele Merkmale verschiedener Bereiche der Antriebstechnik bereits definiert sind. Über die Arbeitsgruppe wurden weitere für Industrie 4.0 wichtige Merkmale definiert und in die Standardisierung in die eCl@ss-Fachgruppe eingespeist. Die Fachgruppe hat bereits einen Großteil übernommen und für die kommende Version 11 im März 2019 standardisiert.

In einem weiteren Schritt wurden erste Funktionen herstellerunabhängig beschrieben. Konkret sind das: Oszilloskop, Fehlerspeicher, Wartungschronik, Energiemanagement und Autotuning mit geführter Inbetriebnahme. Zur einheitlichen Beschreibung wurde ein generisches Funktionsinterface entwickelt, in dem sich auch leicht weitere Funktionen umsetzen lassen.

Nachdem nun erste Daten und Funktionen vorliegen, wird der Arbeitskreis die Ergebnisse gemeinsam mit zehn Herstellern in einem Demonstrator in die Praxis umsetzen – unter dem Motto: Vision Antrieb 4.0 wird Realität.

Dazu werden die standardisierten eCl@ss-Daten in einem OPC-UA-Informationsmodell verwendet und zwei erste Funktionen, Auslesen des Leistungsschildes sowie das Oszilloskop, umgesetzt. Die Hersteller stellen ihre Antriebssysteme und Softwarekompetenz zur Verfügung, und damit wird ein entsprechender Demonstrator in Hard- und Software umgesetzt. Eine enge Abstimmung erfolgt mit anderen ZVEI-Arbeitskreisen, aber auch zum Beispiel mit dem VDMA-Arbeitskreis Industrie 4.0 / OPC UA Drive Technology oder der Plattform Industrie 4.0 AG1: Referenzarchitekturen, Standardisierung und Normung.

Insgesamt erarbeitet der Arbeitskreis Merkmale, Daten und Funktionen elektrischer Antriebssysteme übergreifend für Hersteller, Maschinenbauer und Betreiber im gesamten Produktlebenszyklus und stellt damit die Realisierungsansätze von Industrie-4.0-Antrieben von morgen zur Verfügung.

## 2. Motivation: Nutzen für Hersteller, Maschinenbauer, Betreiber

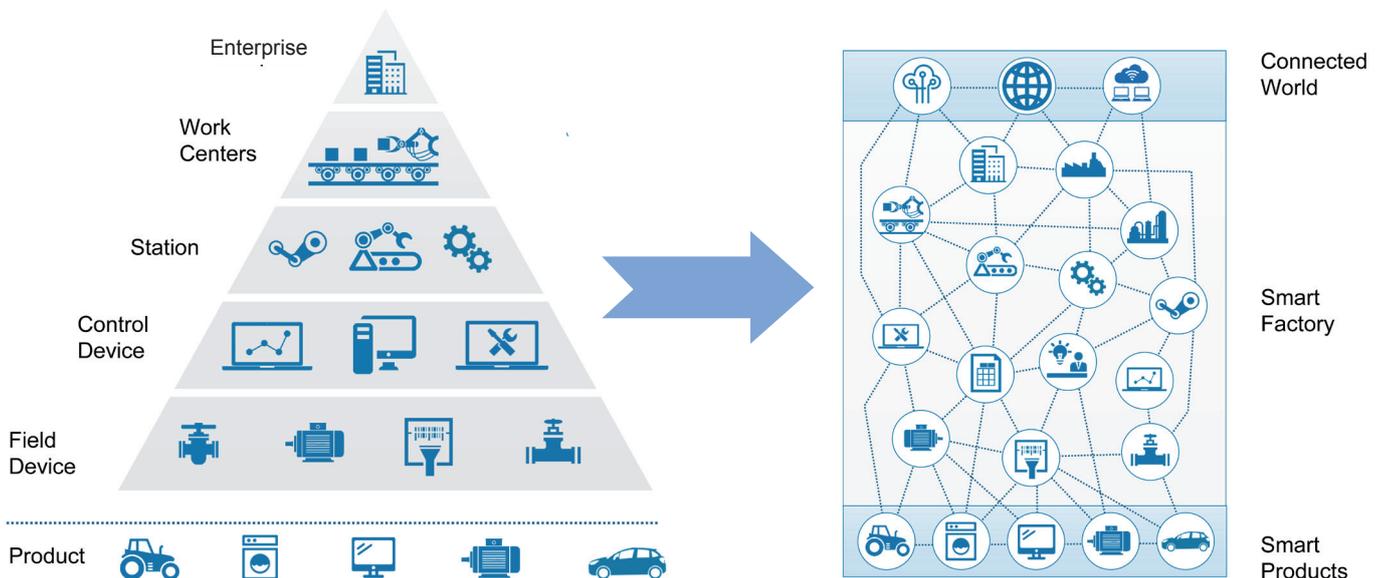
Industrie 4.0 und die damit zunehmende Digitalisierung und Vernetzung bieten die Chance, Wertschöpfungsketten und Produktionsprozesse komplett neu zu denken und zu verändern. Grundlage dafür ist die Digitale Transformation, mit der smarte Lösungen möglich werden, die dem Betreiber einer Anlage ein lückenloses Wissen über den Produktionsprozess verschaffen und Transparenz in die Abläufe bringen.

Die Digitale Transformation hat nicht nur Auswirkungen auf die Produktion von Endprodukten, sondern auch auf die Produktionsanlagen selbst; sie werden, ähnlich zu Softwareprodukten, modular. Jedes einzelne Modul dient dabei als Informations- und Wissensträger mit definierten Kommunikationsschnittstellen. Durch geeignete horizontale und vertikale Integration solcher Module und deren Information entstehen neue, intelligente Produkte und Services.

Aus der Sicht der Maschinenbauer stellen Industrie 4.0 und die damit voranschreitende Digitalisierung und Modularisierung enorme Entwicklungsmöglichkeiten bereit, da aus der Kombination und Vernetzung neuer, intelligenter Produkte entsprechende Maschinen entstehen können.

Die heutige Herausforderung, unterschiedliche Feldbus-Technologien, Antriebsprotokolle, sichere Antriebstechnik, azyklische Datenzugriffe, Firmware-Downloads etc. und Technologien aus der IT-Welt in Maschinen zu integrieren, wird leichter handhabbar. Die Herausforderung im Bereich Internet of Things (IoT) wird geprägt von einer Durchgängigkeit der Kommunikation, in der jeder mit jedem direkt kommunizieren kann, egal in welcher Ebene einer Automatisierungspyramide er sich befindet – zwischen der Cloud (Connected World), intelligenten Feldgeräten in einer Smart Factory (hier speziell die Antriebstechnik) sowie den smarten Produkten.

**Abb. 1: Änderung der Kommunikation aus Sicht der Plattform Industrie 4.0**



Quelle: Anna Salari, designed by freepik

Die Erwartungshaltung der Maschinenbauer an die Komponentenhersteller in Bezug auf Industrie 4.0 ist sehr hoch, die der Industriekunden an den Maschinenbauer, hier Standards zu etablieren, ungleich höher. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass sich offene Standards durchsetzen. Die Chance, im Bereich der Datenschnittstellen zu Feldgeräten Standards zu schaffen, sollte genutzt werden. Bausteine dazu können sein:

- Erweiterungen eines bereits etablierten Standards wie des Antriebsprofils CiA402 (CANopen), PROFINET (PROFIdrive) oder des Sercos-Antriebsprofils mit OPC UA.
- Integration von Kommunikationsmöglichkeiten aus der IT, wie zum Beispiel MQTT.
- Datenbeschreibungen wie zum Beispiel aus eCl@ss, IEC CCD, AutomationML etc.

Je mehr Informationen die in der Maschine enthaltenen Produkte mitbringen, desto intelligenter wird auch die Maschine. Wird neben den Informationen selbst auch sichergestellt, dass diese herstellerübergreifend in einem einheitlichen Format vorliegen, ist es möglich, Aufgaben, die beim Maschinenbauer selbst anfallen – von der Entwicklung der Maschinen über deren Installation und Inbetriebnahme bis hin zur Produktionsbegleitung –, effizienter und transparenter zu gestalten. Die Flexibilität wird erhöht, kostspielige Produktionsfehler werden vermieden, neue Lösungen können gefunden werden, die Entwicklungs- und Inbetriebnahmezeiten werden reduziert und somit die eigene Produktivität gesteigert.

Ganz im Sinne des Modularitäts- und Aggregationsgedankens kann die Transparenz, die von intelligenten Maschinen geschaffen wird, genutzt werden, um die Produktivität und Zuverlässigkeit zu erhöhen. Es entstehen neue Diagnosefunktionen, die Informationen über die Maschine und die darin eingesetzten Komponenten liefern: Betriebszustand, Gerätedaten (Parameter und Echtzeitsignale), Fehlermeldungen, Auslastung (Energieeffizienz), notwendige Instandhaltungsmaßnahmen etc. Derartige Informationen sparen somit (Instandhaltungs-)Zeit, denn durch rechtzeitig eingeleitete Maßnahmen werden Ausfallzeiten reduziert und somit Maschinenverfügbarkeit und Produktivität erhöht. Eine vorausschauende Instandhaltung (Condition Monitoring) deckt produktionsgefährdende Entwicklungen auf und vermeidet so proaktiv Maschinenstillstand. Denn meist steht bei der produzierenden Industrie die Robustheit an vorderster Stelle, noch vor der Geschwindigkeit.

Kernkomponenten jeder Maschine sind die Antriebe. Diese Basisbausteine müssen entsprechend alle oben genannten Fähigkeiten und Funktionen mitbringen, damit sie als Informations- und Wissensträger gemäß der digitalen Transformation dienen und Transparenz in die Diagnose des gesamten Antriebssystems bringen können. Eine vollständige Kontrolle über den Maschinenzustand und folglich über den Produktionsprozess ist ohne intelligente Antriebe nicht denkbar.

Die im Arbeitskreis Industrie 4.0 Elektrische Antriebe entstandenen herstellerübergreifenden Daten und Funktionen sind ein entscheidender Schritt in Richtung der gewünschten Transparenz. Die Erfassung und Verwaltung aller für den gesamten Produktlebenszyklus notwendigen Daten von der Entwicklung, der Inbetriebnahme sowie dem Betrieb und Service wird durch die Verwaltungsschale gewährleistet und kann bei Bedarf noch erweitert werden. Die herstellerunabhängige Vereinheitlichung der Daten (und auch Funktionschnittstellen) führt zur gewünschten Flexibilität, das heißt Austauschbarkeit von Komponenten bei gleichzeitiger Vermeidung von aufwendigen Anpassungen von Systemen oder Systemschnittstellen an herstellerspezifische Datenstrukturen. Die ausgewählten, vereinheitlichten Funktionen werden den Maschinenbauern bei der Entwicklung der Maschinen, der Inbetriebnahme, der Instandhaltung und der Produktionsbegleitung über die Lebensdauer hinweg helfen und zur Optimierung der Maschine beitragen.

Außerdem entstehen durch die Gewährleistung der Austauschbarkeit der Antriebskomponenten Chancen zur Maschinengestaltung im Rahmen von Plattformproduktionen ohne erheblichen Zusatzaufwand. So wird es in Zukunft möglich sein, Abstufungen in Performance auf Basis der in der Maschine enthaltenen Einzelkomponenten und deren Fähigkeiten zu gestalten, wobei die Grundfunktionalität immer erhalten bleiben wird. Die Differenzierung wird anhand der Güte der Hardware und der mitgelieferten Software erfolgen. Darauf aufbauend, kann der Maschinenbauer dann selbst durch intelligente Auswertungsalgorithmen in einer übergeordneten Ebene die erfassten und bereitgestellten Daten weiterverarbeiten. So können ausgefeilte Wartungs- und Instandhaltungsstrategien erarbeitet werden, was die höchste technische Verfügbarkeit der Maschinen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg sicherstellt. Transparenz, optimierte Prozesse und jederzeit volle Kontrolle: Die Smart Factory ermöglicht durch Industrie 4.0 konforme Antriebskomponenten und -systeme.

Aufgrund der immer kürzer werdenden Lebenszyklen von Maschinenelementen muss in Zukunft verstärkt Wert darauf gelegt werden, standardisierte Schnittstellen zu etablieren. Ansonsten sind Maschinenbauer in Zukunft mehr mit der Integration neuer Hardware beschäftigt als damit, Innovationen für die Kunden zu generieren. Um wettbewerbsfähig zu bleiben, sind diese Innovationen weltweit zu fördern und voranzubringen.

# 3. Grundlagen Industrie 4.0

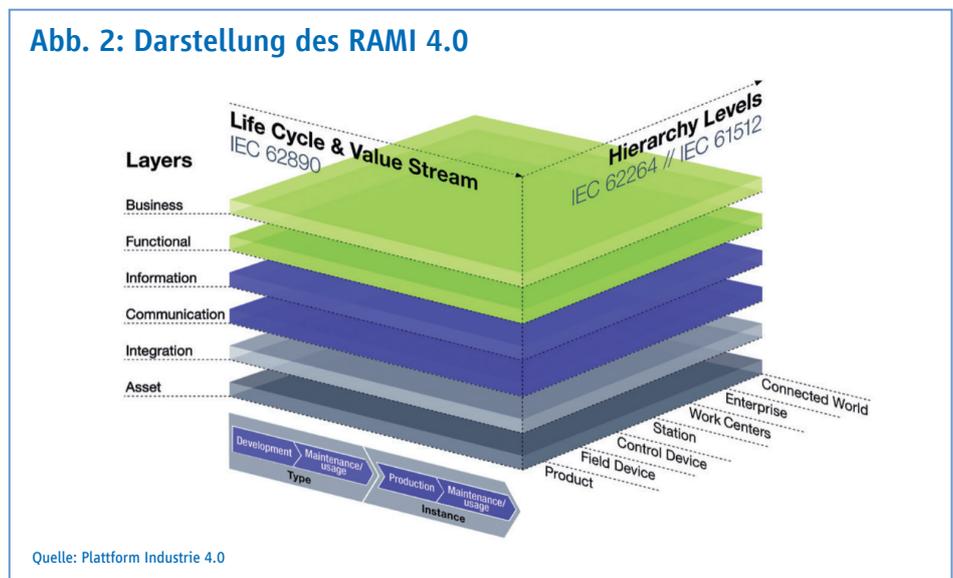
## 3.1. Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

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

### RAMI 4.0 – das Modell

Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0, kurz RAMI 4.0, besteht aus einem dreidimensionalen Koordinatensystem, das die wesentlichen Aspekte eines Betrachtungsgegenstands in Industrie 4.0 beinhaltet. Dieser Gegenstand wird als Gegenstand von Wert für die Belange von Industrie 4.0 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



### Die Achse „Hierarchy Levels“

Auf der rechten horizontalen Achse sind die Hierarchiestufen aus der IEC 62264, der internationalen Normenreihe zur Integration von Unternehmens-EDV und Leitsystem(en), angeordnet. Diese Hierarchiestufen ordnen die unterschiedlichen Funktionalitäten innerhalb einer Fabrik oder Anlage einer Hierarchiestufe zu. Dabei wurde die Hierarchieachse gegenüber der Norm um insgesamt drei Stufen erweitert. Es handelt sich am unteren Ende um das Werkstück „Product“ und das „Field Device“ (wegen deutlich höheren Notwendigkeiten für Sensorik und Aktorik). Am oberen Ende reflektiert die Hierarchiestufe „Connected World“ die vernetzte Welt zu anderen Assets.

### Die Achse „Life Cycle & Value Stream“

Diese Achse repräsentiert den Lebenszyklus von Industrie-4.0-Assets, zum Beispiel Gegenstände wie Anlagen und Produkte. Grundlage hierfür ist IEC 62890 zum Life-Cycle-Management und in Zukunft auch die gerade in mehreren Teilen entstehende DIN 77005-1:2017-11 (Lebenslaufakte für technische Anlagen). Im Lebenslauf eines Assets wird grundlegend zwischen dem Zustand „Typ“ und „Instanz“ unterschieden. Aus einem „Typ“ wird eine „Instanz“, wenn die Entwicklung und Prototypenfertigung abgeschlossen ist und in der Fertigung das eigentliche Produkt hergestellt wird und nutzbar ist.

### Die Achse „Layers“

Mithilfe der sechs Schichten, sogenannten Layers, auf der vertikalen Achse des Modells werden die relevanten Eigenschaften eines Assets beschrieben, die bei der Darstellung dieses Assets der physischen Welt in der Informationswelt von besonderer Bedeutung sind. Dabei erleichtert die Schichteneinteilung die Beschreibung eines Assets mittels Begriffen,

die Abbildung in der Informationswelt. Begriffe, die informatisch die Charakteristika eines Assets in der Informationswelt beschreiben, heißen Merkmale (properties), in Normen oft auch als „data elements“ bezeichnet.

Während der Asset-Layer die physische Welt darstellt, in der das Asset genutzt wird, stellt der Integration-Layer den Übergang aus der physischen Welt in die Informationswelt von Industrie 4.0 und umgekehrt dar. In diesem Layer erfolgt zum Beispiel die Wandlung der Drehzahl eines Motors der physischen Welt in einen elektrischen binären Wert für die Informationswelt von Industrie 4.0. Für alle Nicht-Industrie-4.0-Anwendungen endet die gesamte Funktionalität im Integration-Layer. Jedes Industrie-4.0-Asset besitzt entweder eine passive oder eine aktive Kommunikationsschnittstelle,<sup>1</sup> die vom Communication-Layer repräsentiert wird. Um künftig Funktionen und ihre Daten besser auseinanderhalten zu können, gibt es die zwei Layer „Information“ und „Functional“. Die bislang im Regelfall gemeinsame Betrachtung von Funktionen und ihren Daten erleichtert künftig nicht nur die Beschreibung von „Big Data“ und fachliche Funktionalitäten, sondern auch deren Lokalisierung „vor Ort“ bzw. in einer Cloud usw. Der Business-Layer enthält alle geschäftlich relevanten Regularien, Rahmenbedingungen einschließlich der geschäftlich unmittelbaren Regeln während des gesamten Lebenslaufs eines Assets.

Mit diesen drei Dimensionen des Referenzarchitekturmodells wird ein für Industrie 4.0 relevanter Gegenstand, zum Beispiel eine Maschine, ein Produkt, eine Fabrik usw. beschrieben. Mit diesem Konzept können hoch flexible Industrie-4.0-Konzepte beschrieben und umgesetzt werden. Dabei erlaubt das Referenzarchitekturmodell die Migration aus der heutigen Industrie-3.0-Welt in die Industrie-4.0-Welt durch schrittweise Verschiebung von Industrie-3.0-Inhalten der Integrationsschicht nach Umwandlungen in Industrie-4.0-konforme Inhalte in die höheren Schichten des Referenzarchitekturmodells.

### Der Nutzen von RAMI 4.0

Das Modell vereint die wichtigen unterschiedlichen Nutzerperspektiven und schafft damit ein gemeinsames Verständnis von Industrie 4.0. Anhand von RAMI 4.0 können die Anforderungen der Anwendungsbranchen – von der Fertigungsautomatisierung über den Maschinenbau bis hin zur Verfahrenstechnik – in den entsprechenden Gremien der Verbände, Konsortien und Normungsgremien diskutiert werden. Das Modell schafft so ein gemeinsames Verständnis für erforderliche Standards, Normen und praktische Fallstudien.

RAMI 4.0 ist eine Art 3D-Landkarte für Industrie-4.0-Lösungen: Das Modell erlaubt es damit, die Anforderungen der Anwendungsindustrien im Hinblick auf nationale und internationale Standards zu diskutieren, zu definieren und weiterzuentwickeln. Überschneidungen und Lücken in der Normung und Standardisierung werden auf diese Weise sichtbar und können allumfassend geschlossen werden.

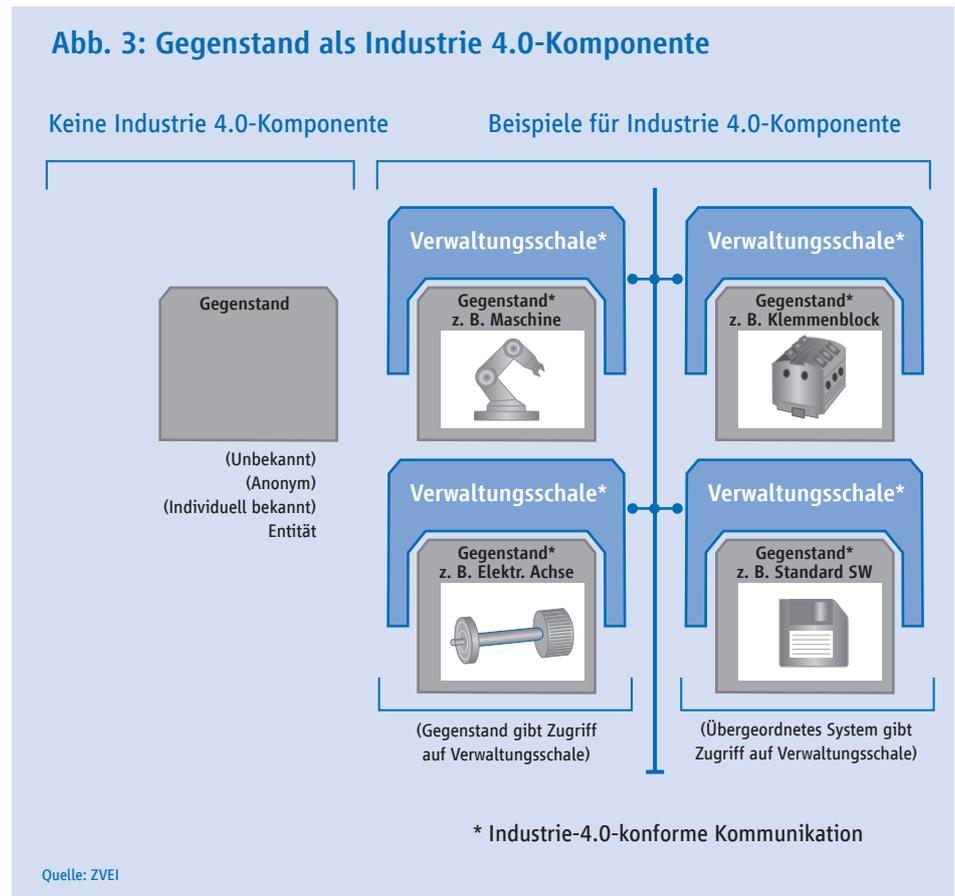
## 3.2. Die Industrie 4.0-Komponente und Verwaltungsschale

Um alle relevanten Eigenschaften und Informationen eines physischen Gegenstands in der IT-Welt des RAMI 4.0 abzubilden, bedient sich die Industrie 4.0-Komponente<sup>2</sup> der Verwaltungsschale. Der Begriff „Verwaltungsschale“ umfasst also einen oder mehrere Gegenstände der physischen Welt, „Assets“ genannt, und die sie umfassenden Schalen mit allen 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 Industrie 4.0. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist es, dass Industrie 4.0-Komponenten über ihren kompletten Lebenszyklus hinweg alle 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 entstehen für Hersteller, Maschinen-

<sup>1</sup> Zur aktiven und passiven Kommunikationsfähigkeit siehe: Roland Heide, Michael Hoffmeister, Martin Hankel, Udo Döbrich „Basiswissen Industrie 4.0, Referenzarchitekturmodell und Industrie 4.0-Komponente – Industrie 4.0“ Beuth-Verlag 2017

<sup>2</sup> Vgl. <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/die-industrie-40-komponente/>

bauer und Betreiber ein höchstes Maß an Transparenz und eine horizontale und vertikale Integration gemäß RAMI 4.0. Für den Erfolg von Industrie 4.0 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 Industrie 4.0.



### Die Industrie 4.0-Komponente

Die Industrie 4.0-Komponente ist ein Modell, um die relevanten Eigenschaften und Informationen eines Gegenstands in der IT-Welt mittels seiner Verwaltungsschale zugänglich zu machen. Der Begriff „Verwaltungsschale“ geht von der Vorstellung aus, dass die Information eines oder mehrerer Gegenstände der physischen Welt das „Asset“ als Schale umgibt und alle relevanten Informationen des Assets der physischen Welt in der Informationswelt verfügbar macht.

Hard- und Softwarekomponenten in der Produktion, vom Produktionssystem über die Maschine oder Leitebene bis hin zur einzelnen Baugruppe innerhalb einer Maschine, werden Industrie-4.0-fähig, indem ihnen solche Verwaltungsschalen zugefügt werden. Dabei sind diese Informationen gemäß RAMI 4.0 strukturiert.

Das Modell der Industrie 4.0-Komponente beschreibt so die Voraussetzungen für Industrie-4.0-konforme Kommunikation zwischen einzelnen Hard- und Softwarekomponenten (Assets). Dies schließt auch mit ein, welche Daten (Informationen) im Verbund mit welchen Funktionen erzeugt, modifiziert und abgespeichert werden.

Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist es, dass Industrie 4.0-Komponenten über ihren kompletten Lebenszyklus hinweg alle Daten in der Verwaltungsschale in einem elektronischen abgesicherten „Container“ sammeln, sei es in einem (fernen) Repository oder auch auf dem Asset selbst.

## Die Verwaltungsschale

Die Verwaltungsschale enthält alle Informationen der relevanten Eigenschaften eines aus Hard- oder Softwarekomponenten bestehenden Assets. Eine Maschine (Asset) besteht zum Beispiel aus vielen Assets, die zusammengefasst das informatische Abbild ihrer Gesamteigenschaften in der Informationswelt darstellen, wobei die Gesamtfunktionalität mehr ist als die Summe beider Funktionalitäten der Assets. Daraus ergeben sich neue Möglichkeiten beispielsweise in der vernetzten Produktion. Letztendlich schafft es Mehrwert für die am Wertschöpfungsprozess beteiligten Unternehmen. Dieser Mehrwert kann folgendermaßen beschrieben werden:

- **Daten**

Die Verwaltungsschale einer Industrie 4.0-Komponente beinhaltet eine große Anzahl an Daten und Informationen, die von Herstellern Industrie-4.0-konform unter anderem in Form von CAD-Daten, Anschlussbildern, Handbüchern usw. bereitgestellt werden. Systemintegratoren und Betreiber von Fabriken und Anlagen können wichtige weitere Informationen in dem ihnen freigegebenen Teil der Verwaltungsschale hinzufügen, wie beispielsweise Informationen zur Wartung oder Verschaltung mit anderen Hard- und Softwarekomponenten. Die Plattform Industrie 4.0 definiert Maßnahmen zur Datensicherheit (Security) und stellt damit sicher, dass Verfügbarkeit, Vertraulichkeit und Integrität der Informationen für alle Anwender gewahrt bleiben.

- **Funktionen**

In der Verwaltungsschale werden auch fachliche Funktionen eines Assets für die Nutzung in der Informationswelt bereitgestellt. Diese umfassen beispielsweise Planung, Projektierung, Konfiguration, Bedienung, Wartung und komplexe Funktionen der Geschäftslogik, aber auch Anwendungsfunktionen wie bohren, fräsen<sup>3</sup> usw.

- **Dienste**

Daten und Funktionen sind auf der Industrie 4.0-Komponente selbst, im Unternehmensnetzwerk oder sogar darüber hinaus in der Cloud verfügbar. Der Mehrwert besteht darin, dass Informationen nur einmal Industrie-4.0-konform gespeichert und über IT-Dienste für jeden Nutzer und Anwendungsfall transparent bereitgestellt werden können.

- **Integration**

Durch die Kombination von Industrie-4.0-konformen Kommunikationsprotokollen und der Idee der Verwaltungsschale erfolgt die horizontale und vertikale Integration der Anwendung.

- **Lückenloses Wissen**

Im Endeffekt stehen Informationen auf diese Weise sowohl für das Engineering als auch für den Betrieb und die Wartung lückenlos zur Verfügung. Daraus lässt sich Wissen generieren.

- **Modularität**

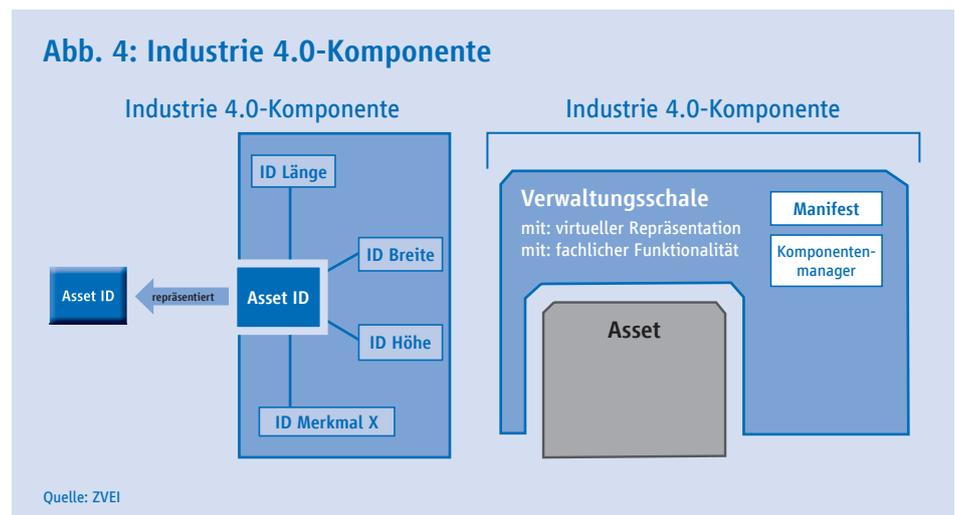
Für den Erfolg von Industrie 4.0 ist wesentlich, dass nicht nur ganze Maschinen, sondern auch Informationen zu wichtigen Maschinenteilen und -komponenten in der Verwaltungsschale mitgeführt werden. So bestimmen beispielsweise die Eigenschaften des Antriebs-

<sup>3</sup> Jede dieser Funktionen kann Bestandteil eines Assets sein (Information und Functional Layer), für ihre genauere Beschreibung aber selbst auch wieder ein Asset darstellen.

strangs wesentlich die Qualität der Maschinenfunktion. Auch diese Eigenschaftsinformationen sollen künftig direkt von zentralen Wartungssystemen erfasst werden können. Gleiches gilt in der Automatisierungstechnik auch für Produktionskomponenten, die über keine eigene Datenschnittstelle verfügen. Eine Motorzuleitung trägt beispielsweise in der Verwaltungsschale Informationen darüber, was wann und zu welchem Zweck angeschlossen wurde mit welchen Kabeleigenschaften (Querschnitt, Schirmung ...). So wird jedes Teil zu einem smarten Teil der vernetzten Produktion.

### 3.3. Vorhandene Normen und Standards

Um den Antrieb Industrie-4.0-fähig zu machen, bedarf es bestimmter Festlegungen, die eine Antriebskomponente Industrie 4.0 gemäß Industrie-4.0-Vorgaben beschreibt. Dazu wird der Antrieb mit Begriffen beschrieben, die als Merkmale in der Verwaltungsschale der jeweiligen Antriebskomponente Industrie 4.0 abgelegt werden. Dabei muss auch die eindeutige Identifikation von Asset und Verwaltungsschale mittels Identifikatoren (ID) erfolgen. Für die Migration eines heutigen Antriebs in eine Industrie-4.0-Umgebung sind in der Verwaltungsschale der Industrie 4.0-Komponente Beschreibungsmerkmale gemäß Industrie-4.0-Vorgaben (z. B. aus eCl@ss<sup>4</sup>) erforderlich, das heißt, die Merkmale müssen nach den Regeln von IEC 61360<sup>5,6</sup> bzw. ISO 13584 42<sup>7</sup> spezifiziert sein.



Zur Umsetzung eines Antriebs in eine Antriebskomponente Industrie 4.0 existieren bereits viele Normen. Daher ist zu erwarten, dass der Übergang auf Industrie 4.0 nicht disruptiv erfolgen wird.

### Kooperationsfähigkeit von Industrie 4.0-Komponenten

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

Die Strukturierung des Antriebs 4.0 kann mit dem Gerätemodell der IEC 61804-2 veranschaulicht werden.

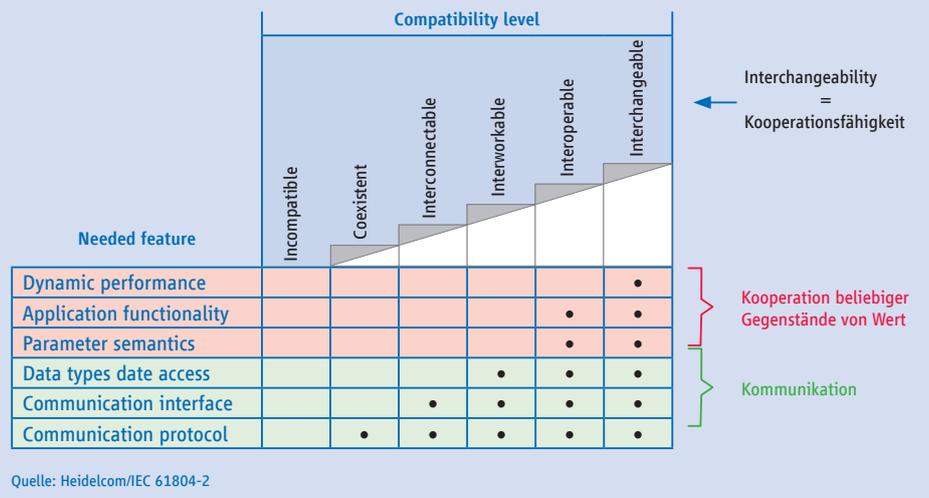
<sup>4</sup> www.eclass.eu

<sup>5</sup> Vgl. IEC 61360-1:2009, Standard data elements types with associated classification scheme for electric items - Part 1: Definitions - Principles and methods

<sup>6</sup> Vgl. IEC 61360-2:2012, Standard data element types with associated classification scheme for electric components - Part 2: EXPRESS dictionary schema

<sup>7</sup> Vgl. ISO 13584-42:2010, Industrial automation systems and integration -- Parts library -- Part 42: Description methodology: Methodology for structuring parts families

**Abb. 5: Matrix zur Kooperationsfähigkeit**

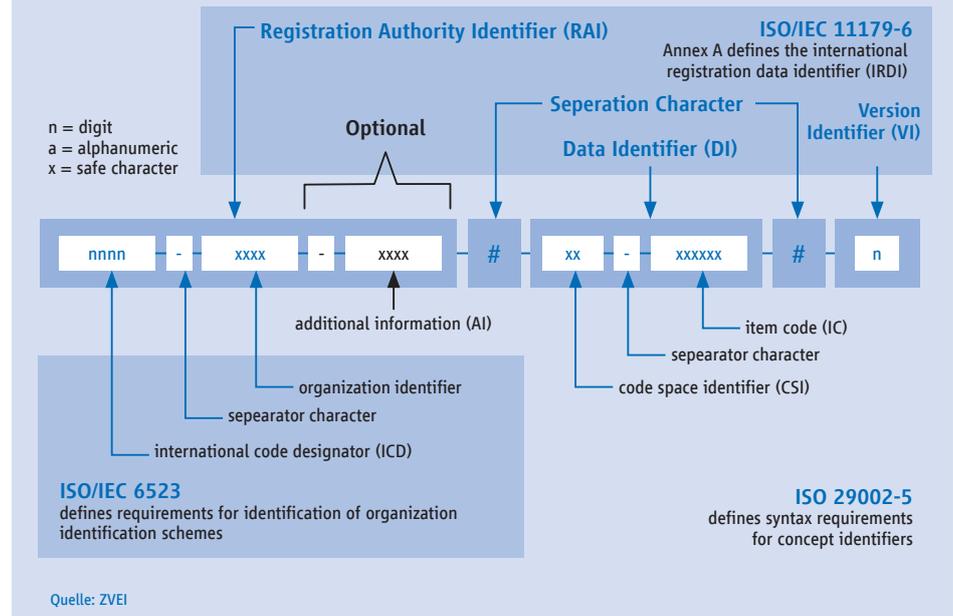


### Identifizierung von Assets

Um das Ziel, einheitliche Informationsmodelle herstellerübergreifend zur Verfügung zu stellen, zu erreichen, ist die Nutzung digital und eineindeutig erzeugter Merkmale mit wiederverwendbaren Wertereihen mittels IRDI (International Registration Data Identifier) erforderlich.

Hier bietet unter anderem der eCl@ss e. V. mit seinen Repositorien die Grundlage, nach ISO/IEC 6523 sowie ISO/IEC 11179-6 und auf Basis ISO29002-5 Merkmale in einer gemäß Industrie 4.0 standardisierten Form anzulegen und zu pflegen. Ein Merkmal in eCl@ss besteht im Wesentlichen aus dem Identifikator für die herausgebende Organisation und dem das jeweilige Merkmal charakterisierenden Item-Code. 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 eindeutig gekennzeichnet. Näheres hierzu im Kapitel zu den Merkmalen.

**Abb. 6: ISO 29002-5:2009**



Normungstechnisch basiert auch der Industrie-4.0-Antrieb auf den einschlägigen Normen für Antriebe, unter anderem nach IEC-Normserie 60034-X (Motor) bzw. entsprechenden NEMA-, UL-, CSA-Spezifikationen zu Wirkungsgradklassen für Drehstrom-Niederspannungsmotoren oder auch die Normenserie IEC 61800-X (Power Drive System).

# 4. Nutzergruppen – Wertschöpfungsprozesse

## 4.1. Einleitung

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 im Verbund mit Sensoren und IT-Lösungen ein Umdenken von Akteuren möglich. Somit stellen sie Initiatoren von Industrie 4.0 dar. Die Antriebstechnik sieht sich daher in der aktiven Rolle, die Gestaltung des künftigen Industrieprodukts Antrieb 4.0 voranzutreiben.

Dazu erarbeitet derzeit der Arbeitskreis Industrie 4.0 Elektrische Antriebe des ZVEI ein Konzept, das Terminologie und Klassifizierung rund um die Antriebe aufgreift, Merkmale und Funktionen in den Kontext Industrie 4.0 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 herstellereigenen Form zur Verfügung zu stellen. Diese herstellerübergreifend standardisierten Schnittstellenbeschreibungen 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. Zur Übertragung dieser Daten sollen aus Industrie 4.0 festgelegte Kommunikationsprotokolle und -mechanismen verwendet werden. Basierend auf möglichen Anwendungsfällen, identifiziert und analysiert der Arbeitskreis Informationen, die im Rahmen von Industrie 4.0 nachfolgenden Rollen im Wertschöpfungsprozess zugeordnet werden können (s. Abb. 7):

- **Hersteller**

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

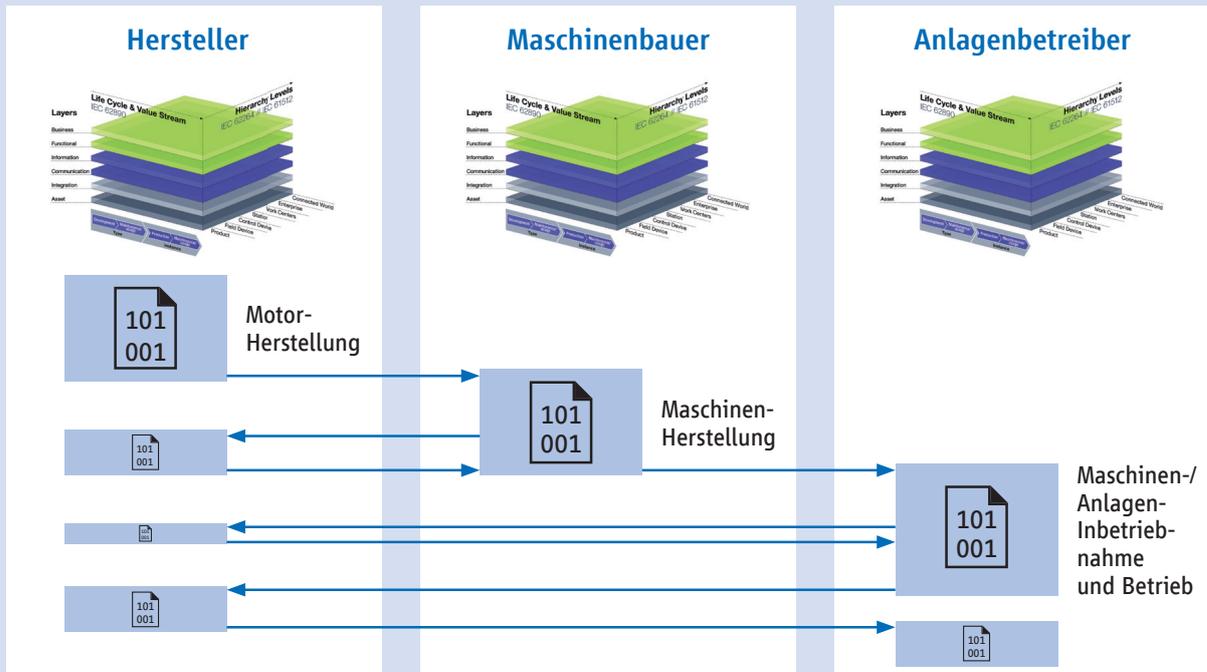
- **Maschinenbauer**

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. 7: Rollen und Daten im Wertschöpfungsprozess**



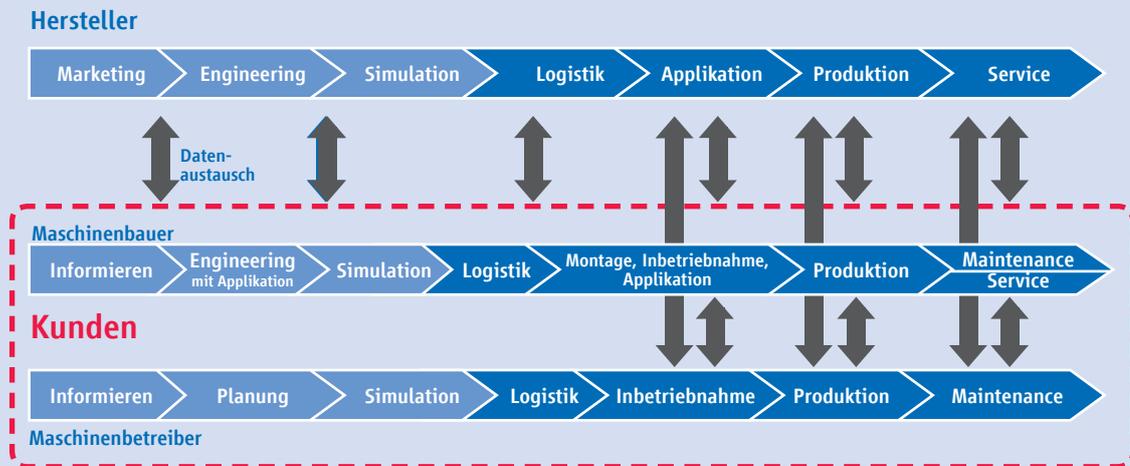
Quelle: Plattform Industrie 4.0/ZVEI

Der ZVEI-Arbeitskreis Industrie 4.0 Elektrische Antriebe hat, basierend auf möglichen Anwendungsfällen, Daten identifiziert, die im Rahmen von Industrie 4.0 für Anwender in unterschiedlichen Bereichen der Wertschöpfungskette relevant sind. Die Relevanz der Daten für den einzelnen Anwender hängt allerdings stark davon ab, welche Rolle er im Wertschöpfungsprozess einnimmt. Um eine eindeutige Zuordnung zu ermöglichen, erfolgte nach der Analyse der Use-Cases und Daten die Festlegung auf Hersteller, Maschinenbauer und Anlagenbetreiber als Nutzergruppen.

In der Realität kann ein und dieselbe Person zu verschiedenen Nutzergruppen gehören und verschiedene Rollen übernehmen. Stellt zum Beispiel ein Maschinenbauer seine eigenen Motoren her, ist er gleichzeitig Hersteller und Maschinenbauer. Gleiches gilt für einen Anlagenbetreiber, der beispielsweise das Engineering seiner Anlage selber durchführt und sie später betreibt. Er ist dann gleichzeitig Maschinen-/Anlagenbauer sowie Anlagenbetreiber. Ebenso kann es vorkommen, dass ein Maschinen-/Anlagenbauer nicht mehr seine Maschine/Anlage, sondern die produktions- bzw. prozesstechnische Leistung verkauft (vergleichbar zu einem Leasing-Modell).

Zusätzlich wird die Vernetzung der einzelnen Wertschöpfungsketten beim Hersteller, Maschinenbauer und auch Anlagenbetreiber immer mehr digitalisiert. Somit entsteht aus den einzelnen Wertschöpfungsketten ein regelrechtes „Wertschöpfungsnetzwerk“, das den schnellen, einfachen Austausch von Daten und Informationen in allen Phasen der Wertschöpfungsketten maschinenlesbar und damit auch automatisiert ermöglicht. Der Kontakt und Datenaustausch findet nicht nur anhand des Austauschs des Assets, das heißt des Motors oder Umrichters statt, sondern er erfolgt zum Beispiel auch schon vorher mit Katalogdaten oder virtuell in der Entwicklungsphase, wenn der richtige Motor für die Maschine gesucht wird und die Maschine vorab simuliert wird. Das folgende Bild soll den digitalisierten Austausch der Daten für alle Phasen innerhalb der Wertschöpfungsketten verdeutlichen.

Abb. 8: Austausch von Daten innerhalb des Lebenszyklus im Wertschöpfungsnetzwerk



Quelle: ZVEI

Daten können sehr vielfältig sein: einfache Merkmale wie zum Beispiel „Maximaler Bemessungsstrom“ oder auch Parameter, Files mit 2D-Informationen für CAD-Zeichnungen oder Handbücher sowie auch komplexe Beschreibungen wie etwa ein 3D-Simulationsmodell.

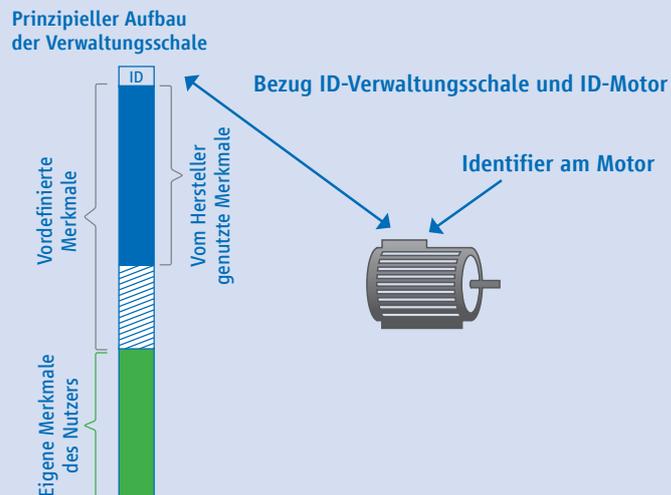
Die Daten, die bei den verschiedenen Nutzern entstehen, werden in der Verwaltungsschale zusammengefasst und abgelegt.

Die Verwaltungsschale bekommt einen eindeutigen Identifier (ID) und in ihr ist auch der eindeutige Bezug zum Asset, beispielsweise dem Motor, enthalten.

Zuerst sind die vordefinierten anwendbaren Daten zu füllen (vordefinierte Merkmale). Nur durch die Verwendung von abgestimmten allgemeingültigen Daten ist später ein automatisierter Austausch möglich. Aus den vielen vordefinierten Merkmale müssen nur die Daten gefüllt werden, die für den jeweiligen Anwendungsfall notwendig sind.

Zusätzlich können herstellerspezifische Daten abgelegt werden, die für die interne Nutzung gedacht sind (eigene Merkmale des Nutzers). Damit können zusätzliche Funktionen, Besonderheiten des jeweiligen Herstellers oder auch neue Anforderungen von Kunden realisiert werden, beispielsweise Sensordaten eines Testlaufs oder interne Konstruktionszeichnungen (siehe Abb. 9).

Abb. 9: Template der Daten in der Verwaltungsschale



Quelle: ZVEI

Eine Verwaltungsschale entsteht damit für das gleiche Asset „Motor“ bei allen drei Wertschöpfungspartnern. Jeder füllt seine Verwaltungsschale mit den Daten, die er für seine Belange benötigt, einige werden untereinander ausgetauscht, andere verbleiben aber auch bei dem jeweiligen Wertschöpfungspartner. Die Gesamtheit aller aus Sicht des Arbeitskreises herstellerübergreifenden Daten wurde zusammengestellt und sortiert nach den Phasen der Entstehung innerhalb der Wertschöpfungskette und nach der Rolle im Wertschöpfungsnetzwerk. Ein erstes Template für die Einordnung der Daten ist damit entstanden.

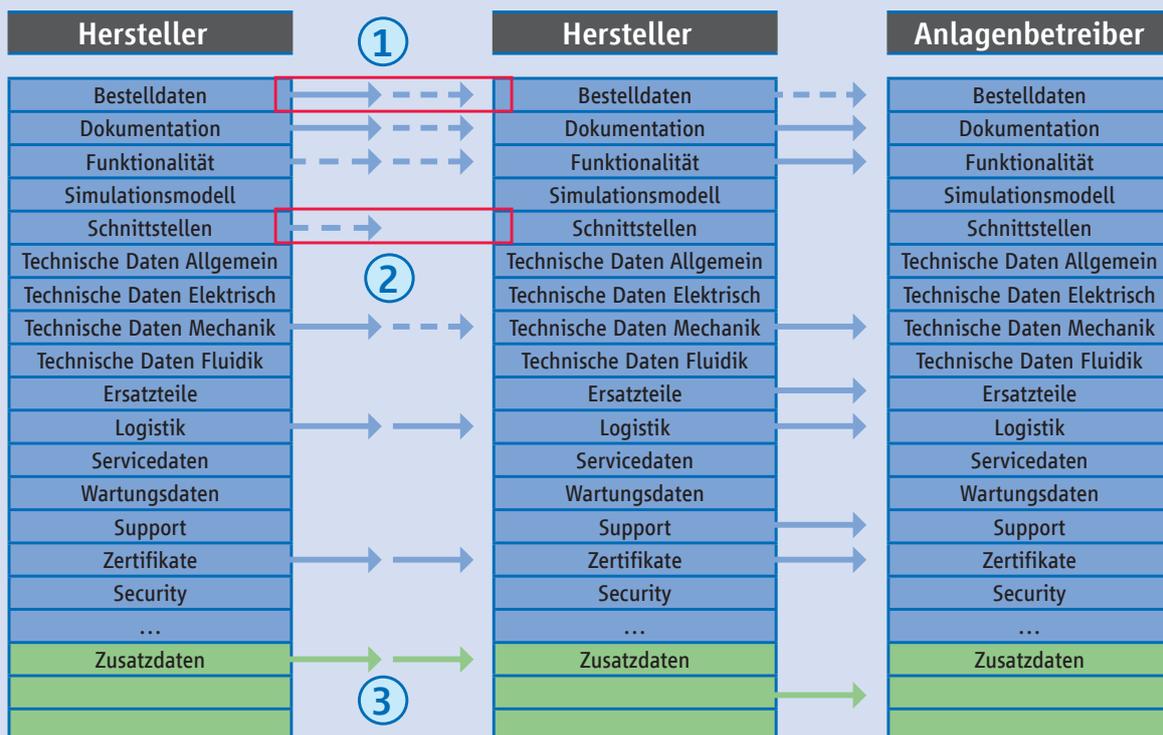
In das Template füllt der Hersteller einige der Daten, die er sowohl intern als auch für seine Kunden benötigt. In Abbildung 10 ist dargestellt, wie er einige der Daten dem Maschinenbauer anbietet (blaue Pfeile). Bei den durchgängigen Pfeilen bietet er alle Daten an, bei den gestrichelten Pfeilen bietet er nur eine Teilmenge der vorhandenen Daten an.

Der Maschinenbauer als Empfänger der Daten entscheidet nun, ob er alle Daten in seine Verwaltungsschale für den gleichen Motor übernimmt oder ob er differenziert vorgeht. Bei 1 ist angedeutet, dass er von den Bestelldaten nur einen Teil übernimmt, da er eventuell schon Daten dazu vorliegen hat. Bei 2, den Schnittstellen, übernimmt er hier im Beispiel gar keine der Daten von dem Hersteller, evtl. benötigt er diese Angaben für seine Verwendung gar nicht. Und bei 3 übernimmt er alle Zusatzdaten vom Hersteller, die nicht standardisiert sind, mit in seine Verwaltungsschale. Auch der Maschinenbauer wählt dann aus, welche Daten er an den Anlagenbetreiber weitergeben möchte.

Der Anlagenbetreiber kann wie der Maschinenbauer aussuchen, welche der Daten er in seine eigene Verwaltungsschale für denselben Motor übernehmen möchte.

Insgesamt funktioniert die Übergabe der Daten auch umgekehrt in der Wertschöpfungskette, der Anlagenbetreiber kann auch Daten an den Maschinenbauer oder auch direkt an den Hersteller weitergeben, immer nach dem gleichen Muster. Alle verwenden das gleiche Template des Motors und alle können daher die Daten verstehen und auch zuordnen.

Abb.10: Template der Daten und Austausch von Daten zwischen Wertschöpfungspartnern



Quelle: ZVEI

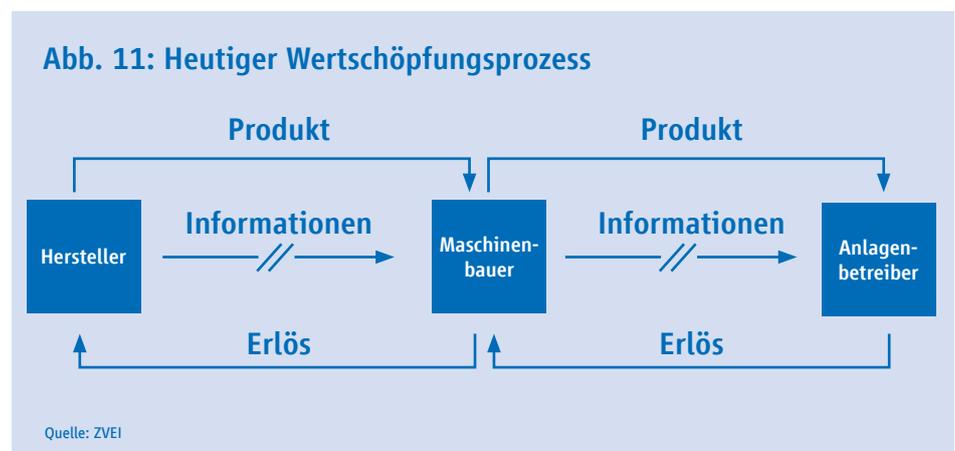
Während des Betriebs entstehen weitere Daten, die für die verschiedenen Teilnehmer in der Wertschöpfungskette interessant sein können. Diese Daten fallen sowohl beim Maschinenbauer als auch beim Anlagenbetreiber an und werden ebenfalls in der Verwaltungsschale abgelegt.

Die Änderung der Verwaltungsschalen bei den verschiedenen Nutzern macht deutlich, dass die Inhalte der Verwaltungsschalen dynamisch sind und dass es für ein bestimmtes Produkt, zum Beispiel den Motor, bei verschiedenen Nutzern unterschiedlich gefüllte Verwaltungsschalen geben kann. Die Nachvollziehbarkeit der Daten zwischen den Nutzern ist nur über eine eindeutige ID am Produkt zu gewährleisten.

## 4.2. Veränderungen durch Industrie 4.0 im Wertschöpfungsprozess der Antriebstechnik

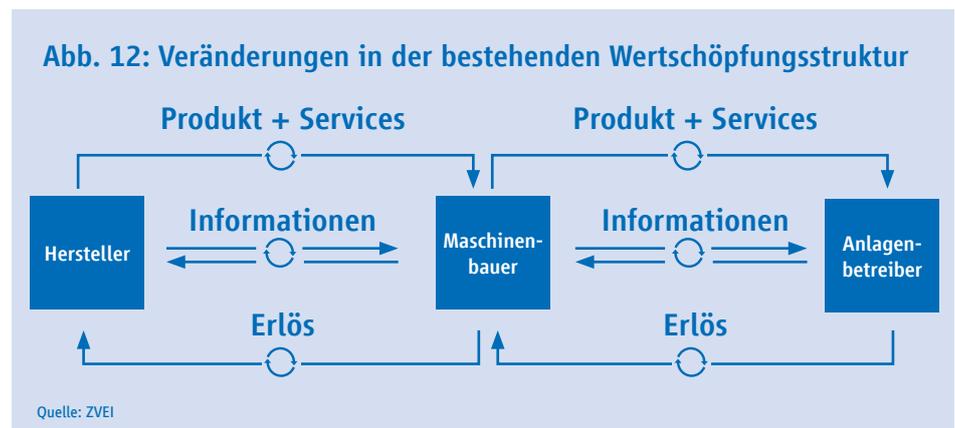
Der Antrieb 4.0 erweitert sukzessive die Optionen, in denen sich neue Wertschöpfungspotenziale und -architekturen umsetzen lassen. Zwar bilden weiterhin die Antriebshersteller, Maschinenbauer und Anlagenbetreiber den Kern der Wertschöpfungskette, dennoch werden sich durch die engere Vernetzung und zusätzlichen Informationsflüsse weitere Wertschöpfungskonstellationen mit neuen Akteuren bilden.

Die heutige Wertschöpfung ist entlang ihrer Wertschöpfungsstufen vom Hersteller, Maschinenbauer und Anlagenbetreiber auf eine hohe Effizienz und optimale Produktversorgung ausgelegt. Zielsetzung hierbei ist eine Steigerung der Produktivität, Qualität, Lieferfähigkeit und Innovationsgeschwindigkeit. Zunehmend herausfordernd für den Maschinen- und Anlagenbau sind dabei die verkürzten Produktlebenszyklen, die den Zeitdruck und Koordinationsaufwand für die Entwicklung neuer Produkt- und Maschinengenerationen erhöhen. Im heutigen Wertschöpfungsprozess wird dies in der Praxis oftmals dadurch verlangsamt, dass Informationen entlang der Wertschöpfung in mühevoller Kleinarbeit ermittelt und in neue Zielformate und -systeme übertragen werden. Schnittstellentechnologien ermöglichen zwar die Konvertierung und Übertragung in neue Zielformate und -systeme, benötigen allerdings für die Übertragung eine manuelle Zuordnung der Merkmale und Merkmalswerte in sogenannten Mappingtabellen. Der Antrieb 4.0 kann diese Informationsbrüche durch seine standardisierten Produktmerkmale reduzieren und dadurch die Qualität, Geschwindigkeit und Effizienz der unternehmensübergreifenden Informationsverarbeitung im heutigen Wertschöpfungsprozess erhöhen.



Der Antrieb 4.0 ermöglicht es allerdings auch, neue Wertschöpfungspotenziale innerhalb der bestehenden Strukturen zu erschließen. So können zukünftig digitale Services entlang der klassischen Wertschöpfungskette für den gesamten Produktlebenszyklus eines Antriebssystems angeboten werden und zu neuen Geschäftsmodellen führen. Die Standardfunktionen des Antriebs 4.0, die alle Produkte als Mindeststandard erfüllen müssen, können hierfür um herstellereinspezifische digitale Services ergänzt werden und so zu

Differenzierungsmerkmalen werden. Neue digitale Elemente, beispielsweise erweiterte Sensorik und IT-Kommunikationsschnittstellen, ermöglichen es, zusätzliche Daten während der Nutzungsphase des Antriebssystems aufzunehmen, anzureichern und aufzubereiten. Dies bildet die Basis für data-driven Services, die zunehmend in neue digitale Service- und Dienstleistungsangebote aufgenommen und bedarfsorientiert abgerufen werden können. Der wachsende Softwareanteil verändert dabei die Wertschöpfung. Hersteller investieren in Vorleistung viele Stunden in die Entwicklung von Software. Nur offene und herstellerübergreifende Standards, die von vielen Herstellern getragen werden, sichern diese Investitionen und sorgen für die notwendige technische Interoperabilität. Die einheitlichen Basisdaten und -funktionen des Antriebs 4.0 befähigen die Unternehmen, flexibler zu agieren, da Antriebssysteme auch in heterogenen Umgebungen ohne spezifische Konfiguration und Programmierung integriert und dadurch wirtschaftlich angeboten werden können. Die zunehmende Bedeutung von digitalen Services und Daten spiegelt sich auch in einem veränderten Erlösmodell wider. Im Gegensatz zu einmaligen Produktverkaufserlösen werden zukünftig flexiblere nutzungs- und zeitbasierte Erlösmodelle immer wichtiger. In der IT-Branche haben sich diese Veränderungen bereits etabliert. Statt Softwarepakete über einen einmaligen Zahlungsvorgang zu verkaufen, sind Softwareunternehmen mehr und mehr dazu übergegangen, ihre Produkte über ein Lizenzmodell anzubieten. Der Einzugs von Industrie 4.0 in der Antriebstechnik ermöglicht sowohl dem Maschinenbauer als auch dem Antriebshersteller nun ebenfalls die Nutzung solcher Erlösmodelle. Für den Antriebshersteller und Maschinenbauer bietet dies den Vorteil eines wiederkehrenden Umsatzes, während der Anlagenbetreiber beispielsweise von den neuesten Services oder einer optimierten Nutzungsgebühr profitiert.

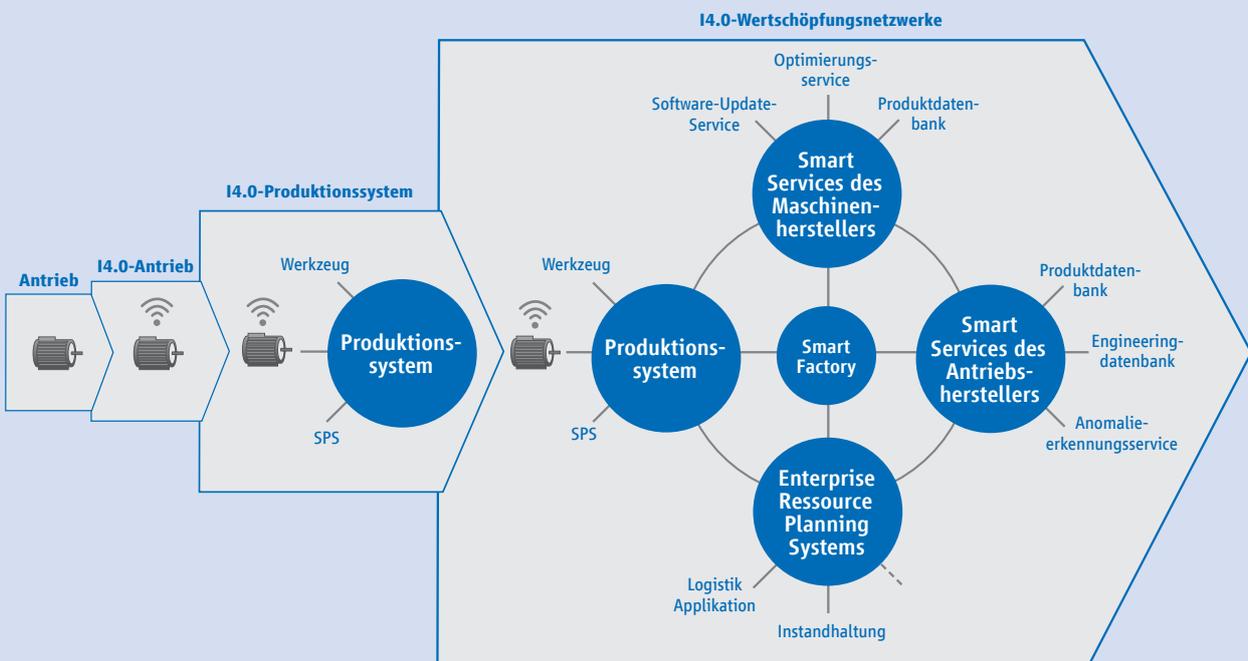


Durch den Brückenschlag zwischen Automatisierung und IT-Welt bilden sich außerdem neue Wertschöpfungsstrukturen. Standen den Anlagenbauern und Automatisierungsanbietern bisher nur lokale SPS-Programme und -Schnittstellen zur Verfügung, können Softwareanbieter nun mit IT-Hochsprachen auf weltweit über das Internet verbundene Anlagen und Antriebssysteme zugreifen. Cloud-Dienste ermöglichen es hierbei jederzeit, eine schier endlose Speicher- und Rechenkapazität zu nutzen und neue Lösungen in bis dato unbekannter Geschwindigkeit dem Markt zuzuführen. Mit den vernetzten Anlagen und IT-Systemen wird es in Zukunft nicht mehr möglich sein, dass Lösungen von nur einem Hersteller inhouse entwickelt und dem Konsumenten als fertiges Produkt, Dienstleistung oder Service übergeben werden. Vielmehr werden zukünftige Lösungen auf gemeinsam genutzte Basisdienste aufbauen und auf verteilte Daten zugreifen. So wäre es beispielsweise unwirtschaftlich, wenn Anlagen mehrfach oder gar einzelne Komponenten direkt mit dem Internet verbunden werden und auf unterschiedlichen „Konnektivitätsdiensten“ basieren. Auch die damit verbundenen Konfigurationsaufwände und Sicherheitsrisiken können nicht im Sinne des Anlagenbetreibers liegen.

Die klassische Architektur der Wertschöpfungskette zeichnet sich hier zukünftig als ein limitierender Rahmen ab. Plattformarchitekturen mit den damit verbundenen neuen Rollenverständnissen hingegen bieten für diese zukünftigen datengetriebenen und digitalen Wertschöpfungsarchitekturen das flexiblere Rahmenwerk. Der Antrieb 4.0 spielt dabei eine

Enabler-Rolle für die neuen Plattformarchitekturen im Maschinen- und Anlagenbau, da zukünftig Funktionalitäten und Basisdienste über IoT-Plattformen bereitgestellt und bezogen werden können. Anlagenbetreiber können die Rolle als Daten-Provider einnehmen und die von den Antriebssystemen in ihrer Smart Factory entstehenden Daten über Plattformen verschiedenen Akteuren bereitstellen. Service-Anbieter nutzen die in der Plattform bereitgestellten Daten und entwickeln Lösungen, die sie in spezifische Problemstellungen einzelner Akteure einbringen und zu skalierbaren Services ausbauen können. Der Plattform-Provider definiert hierfür den Governance-Rahmen, innerhalb dessen sich die Akteure effizient organisieren und wirtschaften können. Mit der Konzentration auf das eigene Know-how, der bewussten Entscheidung für eine oder mehrere Plattform-Rollen und der Nutzung von zusätzlichen Services der Kooperationspartner können Automatisierungshersteller, Maschinenbau und IT-Industrie schnell zu tragfähigen, zukunftssicheren und innovativen Lösungen kommen und somit gänzlich neue Wertschöpfungsnetzwerke bilden.

Abb. 13: Antrieb 4.0 als Enabler für neue Wertschöpfungsnetzwerke<sup>8</sup>



Offene Wertschöpfungsnetzwerke führen zu vollkommen neuen Erlösstrategien. Bislang basieren fast alle Erlösstrategien im Maschinen- und Anlagenbau auf dem Grundprinzip, dass eine Ware oder Dienstleistung gegen Geld angeboten oder entwickelt wird. Denkbar sind nun aber auch Erlösstrategien, in denen das Produkt oder die Dienstleistung indirekt vergütet wird. Beispielsweise mit Daten, die während des Betriebs der Maschine anfallen und deren Wert sich nur schwer pauschal beziffern lässt. Für den Maschinenbauer oder Antriebshersteller könnten diese Daten beispielsweise von solchem Wert sein, dass sich dadurch Instandhaltungen und Reparaturen kostenfrei realisieren lassen, da diese über die Laufzeit der Maschine indirekt finanziert wurden.

Welche Veränderungen sich dadurch auf heutige Wertschöpfungsketten im Maschinen- und Anlagenbau ergeben, kann Stand heute nicht im Detail abgesehen werden. Der Gegenwert von Daten und die Bedeutung von digitalen Wertschöpfungsnetzwerken kann allerdings am Beispiel des Smartphones aufgezeigt werden.

<sup>8</sup> Vgl. M. Porter, „How smart, connected products are transforming competition“ <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>

Zieht man als Beispiel und als Vorreiter der Digitalisierung die in Smartphones für Apps verwendeten Bezahlmethoden heran, so erkennt man drei grundlegende Verfahren:

1. Monetäre Bezahlung, entweder beim Kauf oder durch In-App-Käufe
2. Werbefinanzierte Apps
3. Bezahlung mittels Nutzerdaten

In der ersten Strategie lässt sich unschwer die klassische Wertschöpfung erkennen, entweder durch einmalige Bezahlung oder durch nutzungs- oder zeitbasierte Abrechnungsverfahren. Diese wurden bereits in den vorangegangenen Abschnitten erläutert.

Beim zweiten Verfahren ist die Ware an sich kostenfrei, der Nutzer erhält aber während der Nutzung Werbung, für die der Hersteller wiederum vom Werbenden monetär entlohnt wird. Dieses im Bereich der Smartphone-Apps weit verbreitete Verfahren lässt sich mit Sicherheit nicht einfach auf den Maschinenbau übertragen, weshalb an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen werden soll.

Der dritte Fall schließlich bezeichnet im Bereich der Smartphones Apps, die für den Nutzer kostenfrei sind und auch keine Werbung beinhalten, wo der Nutzer aber dem Hersteller Zugriff auf gewisse persönliche Daten geben muss. Somit wird die Nutzung quasi durch Überlassung von Daten bezahlt. Den Wert von Daten kann man aber nur schwer in monetären Zahlen angeben, sodass hier von indirekter Erlösstrategie gesprochen wird. Im Rahmen von Industrie 4.0 ist zu erwarten, dass mit dem Einzug von vernetzten Systemen solche Erlösstrategien sicher auch für den industriellen Maschinenbau Bedeutung erlangen werden. Während des Betriebs der Maschine fallen beim Anlagenbetreiber Daten an, die für den Maschinenbauer oder den Antriebshersteller durchaus wertvoll sind. Basierend auf diesen Daten kann der Antriebshersteller oder Maschinenbauer wiederum Dienstleistungen für den Anlagenbetreiber anbieten. Welche Veränderungen diese neuen indirekten Erlösstrategien auf die Wertschöpfungskette haben werden, kann Stand heute nicht im Detail vorausgesehen werden. Mit Sicherheit werden sie aber in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

Zusammengefasst lassen sich durch den Antrieb 4.0 die folgenden Veränderungen im Wertschöpfungsprozess und die damit verbundenen Implementierungsstrategien ableiten:

- Verbesserungen innerhalb bestehender Strukturen und Geschäftsmodelle:
  - Kürzere Entwicklungszeiten durch „virtuelle“ Maschinen
  - Effizienteren Informationsaustausch vom Engineering bis After-Sales-Services
  - Schnellere Inbetriebnahme durch offene Standards
  - Optimierte Wartungs- und Instandhaltungsstrategien
- Erschließung neuer Geschäftsmodelle:
  - Wiederkehrende Erlöse durch zusätzliche data-driven Services
  - Neue Dienstleistungen auf Basis von gewonnenen Daten
  - Gesteigerte Verfügbarkeit von Anlagen und Maschinen
  - Indirekte Erlöse durch Daten oder Ähnliches
- Veränderte Rahmenbedingungen durch neue Wertschöpfungsarchitekturen:
  - Plattformarchitekturen führen zu neuen Rollenverständnissen
  - Gemeinsam genutzte Basisdienste ermöglichen profitable Wertschöpfung
  - Wertschöpfungsnetzwerke bieten Anknüpfungspunkte für neue Datennutzung und weitere Akteure

# 5. Antriebstechnik in Industrie 4.0

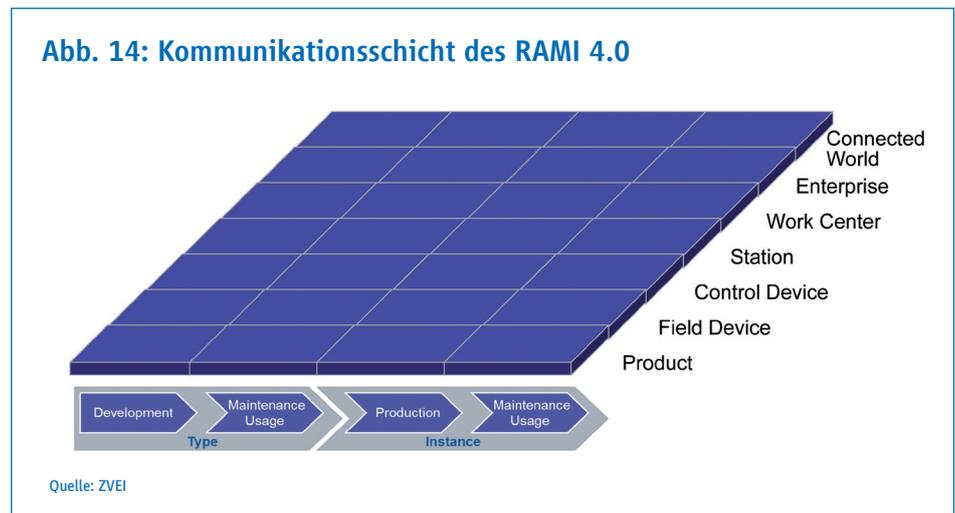
In diesem Kapitel werden Festlegungen und Standards beschrieben, die bereits für Industrie 4.0 definiert sind und in der Antriebstechnik zur Verwendung kommen sollten.

## 5.1. Festlegungen in der Kommunikationsschicht des RAMI 4.0

### 5.1.1. Einleitung

Die Kommunikationsschicht im RAMI 4.0 ist für die reine Industrie-4.0-Kommunikation vorgesehen. Dabei wird die Kommunikation über den Lebenszyklus (von Entwicklung über Produktion bis Service) als Typ und Instanz betrachtet und die Kommunikation wird in die logischen hierarchischen Ebenen (von Product bis Connected World) unterteilt. Damit wird die Kommunikationsschicht in einzelne kleine Blöcke gegliedert, die für sich gezielt diskutiert werden können.

Abb. 14: Kommunikationsschicht des RAMI 4.0



Unter Kommunikation verstehen wir hier die reine Übertragung vom Sender zum Empfänger. Die in der Übertragung übermittelten Daten sind Teil der Informationsschicht und werden dort spezifiziert.

Eine erste Sammlung möglicher Kandidaten für die Kommunikationsschicht hat ergeben, dass eine weitere Aufteilung dieser Schicht sinnvoll erscheint. Transparenz und eine einfachere Trennung der vorhandenen Kandidaten ist in einer zweidimensionalen Sicht nicht so einfach möglich.

Daher wurde die Kommunikationsschicht in sich noch einmal nach dem vorhandenen ISO/OSI-Layermodell unterteilt, und in diesem neuen Modell aus Kommunikationsschicht und ISO/OSI-Layermodell wurden die möglichen Kandidaten für eine Vorzugskommunikation diskutiert. Überschneidungen und Ergänzungen sind nun besser sichtbar.

Abb. 15: ISO/OSI-Layermodell als Grundlage für die Kommunikationsschicht im RAMI 4.0

ISO/OSI-Layer	
7	Anwendungen (Application)
6	Darstellung (Presentation)
5	Kommunikationssteuerung (Session)
4	Transport (Transport)
3	Vermittlung-/Paket (Network)
2	Sicherung (Data Link)
1	Bitübertragung (Physical)

### 5.1.2. Anforderungen an die Industrie-4.0-Kommunikation

Die Industrie-4.0-Kommunikation erfolgt auf Basis von spezifischen Diensten und Protokollen, die die Anforderungen der jeweiligen Anwendungen berücksichtigen müssen. Basis für die Kommunikation bilden die Applikationsbeziehungen, die zwischen den beteiligten Industrie-4.0 Komponenten aus Geschäftssicht und aus der daraus resultierenden Funktionsicht bestehen. Die Anforderungen selbst werden durch die bereitgestellten und genutzten Funktionen und die Positionierung der beteiligten Industrie-4.0 Komponenten in der Hierarchie-Achse sowie entlang des Lebenszyklus bestimmt.

Von diesen Anforderungen hängt auch ab, welche anwendungsbezogenen Dienste und Protokolle genutzt werden. Gegebenenfalls werden diese beim Aufbau der Interaktion zwischen den Partnern dynamisch ausgehandelt. Dazu stellen die einzelnen Kommunikationslösungen Aussagen zu ihren Eigenschaften (Fähigkeiten) zur Verfügung, die gegen die Anforderungen abgeglichen werden. Die Beschreibung dieser Eigenschaften erfolgt auf Basis der in Industrie 4.0 verwendeten Informationsmodelle und stellt ein Teilmodell der Verwaltungsschale der Industrie 4.0-Komponenten dar.

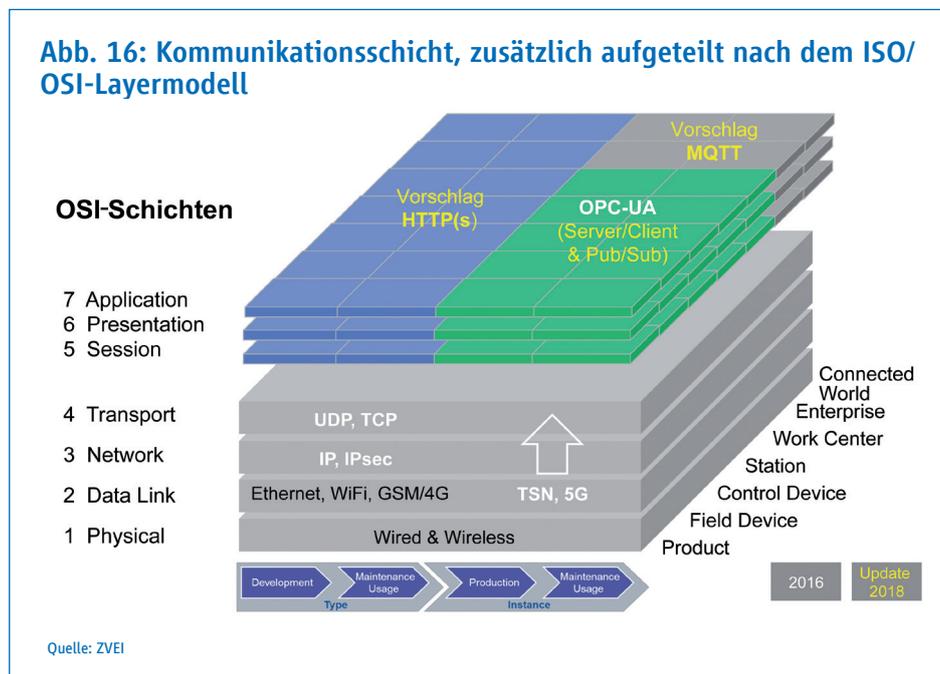
Für eine Auswahl der Vorzugskommunikation sind folgende Anforderungen zu erfüllen, die sich im Rahmen der Industrie-4.0-Kommunikation ergeben:

- Eine Übertragung soll sowohl per Kabel als auch kabellos möglich sein.
- Die Kommunikation soll die serviceorientierte Architektur unterstützen.
- Dienste/Services sollen leicht implementierbar sein. Daraus ergibt sich eine Forderung in Richtung einer Übertragung als TCP/IP oder UDP/IP.
- Offen und standardisiert.
- Bereits vorhandene Standards und Normen sollen genutzt werden.
- Darf nicht an Hardware oder Software eines einzelnen Herstellers gebunden sein, der diesen Standard treibt.
- Neben der Technik ist auch eine Marktbetrachtung wichtig. Bereits etablierte Standards unterstützen eine schnellere Einführung einer Industrie-4.0-Kommunikation.
- Festlegung möglichst nur einer Vorzugskommunikation für jeden Würfel der Kommunikationsschicht. Damit wird eine Implementierung bei Herstellern und Kunden vereinfacht.
- Die Industrie-4.0-Kommunikation soll heute bereits möglich sein, das heißt Auswahl aus den bereits im Markt eingeführten Standards und Normen.
- Die Industrie-4.0-Kommunikation soll auch auf zukünftige Anforderungen ausgerichtet sein. Dazu kann ein Ausblick in kommende Standards und Normen erfolgen.
- In der Industrie-4.0-Kommunikation verbindet sich auch die Automatisierungstechnik mit der IT-Technik. Daher sollen auch speziell IT-Standards mitberücksichtigt sein.
- Transparenter Durchgriff soll möglich werden. Es soll möglich werden, dass jeder mit jedem kommunizieren kann, unabhängig von den Hierarchieebenen. So soll beispielsweise ein Sensor direkt Daten an eine Liniensteuerung liefern können oder ein ERP-System Daten an ein Fieldgerät senden können.
- Sie muss die notwendigen Security-Mechanismen unterstützen können.

### 5.1.3. Vorschlag Industrie-4.0-Vorzugskommunikation

Aus diesen Vorüberlegungen ergibt sich damit folgendes Bild für die Kommunikationsschicht mit ihren einzelnen ISO/OSI-Layern.

**Abb. 16: Kommunikationsschicht, zusätzlich aufgeteilt nach dem ISO/OSI-Layermodell**



Die heutige verfügbare Technik mit TCP/IP sowie UDP/IP kann als Kabel per Ethernet mit hoher Marktverbreitung genutzt werden. Kabellos kann hier WLAN oder vorhandene Funktechnik (GSM bis 4G) für die TCP/IP- und UDP/IP-Übertragung verwendet werden.

Zukünftig sind die kommenden Standards TSN (Time Sensitive Network) und 5G zu beachten und es ist herauszuarbeiten, welche Auswirkungen sie eventuell auf die ISO/OSI-Layer 3 und 4 haben werden.

Auf den vier unteren Layern des ISO/OSI-Layermodells sind die einzelnen Unterteilungen im Lebenslauf und in der Hierarchie nicht notwendig, da diese Standards als Vorzug für den gesamten Bereich gelten.

Eine Differenzierung erfolgt dann in den oberen drei Layern des ISO/OSI-Modells. Zur Ausbildung von Vorzugsstandards wurden diese drei Layer zusammengefasst betrachtet.

Im Bereich Produktion wurde OPC UA als übergreifender Vorzugsstandard ausgewählt. Er erfüllt heute noch nicht alle Anforderungen aus dem gesamten Bereich, wird aber als der Zukunftsstandard in diesem Bereich eingestuft. Sein Vorteil ist auch die große Verbreitung und seine offenen Möglichkeiten für weitere Anpassungen für Industrie 4.0. Er bietet aus heutiger Sicht alle Möglichkeiten für eine Industrie-4.0-Kommunikation von den Produkten über die Fieldgeräte bis hin zu einer kompletten Linie auf Work-Center-Ebene.

Ebenfalls in der Produktion – aber auf Fabrikebene und in der Connected World – sollten eher Standards aus der IT-Industrie verwendet werden. Hier sind heute einige Protokolle im Markt verbreitet und durch herstellergetriebene Standards geprägt.

Als Unterarbeitsgruppe der AG1 der Plattform Industrie 4.0 arbeitet zurzeit eine Gruppe in der bitkom an einer Beschreibung eines Vorzugsstandards für diesen Bereich der Kommunikationsschicht. Das Papier ist noch nicht veröffentlicht, aber MQTT scheint sich hier als Vorzugsstandard zu etablieren.

Betrachten wir den Lebenszyklus am Anfang in der Entwicklungsphase, dann müssen hier andere Anforderungen betrachtet werden. Hier steht der Austausch von Dateien im Vordergrund (z. B. CAD, CAX, ...). Dazu kommt der Austausch von Simulationsmodellen, aber auch der Austausch von Daten zur Auslegung von Komponenten, Systemen und Maschinen. Hier wird eine Kommunikation benötigt, die eher asynchron verläuft, weniger kleine Latenzzeiten fordert etc. Diese Kommunikation muss möglichst transparent auch über das Internet möglich sein. Daher wird hier als Vorzugsübertragungsstandard das einfache http vorgeschlagen. Eine Festlegung auf Daten und Dateiformate ist dann Gegenstand der Informationsschicht.

Mit diesem Dreiklang an Übertragungsarten lassen sich alle wichtigen Kommunikationsthemen in der Industrie 4.0 umsetzen.

Die Kommunikationsstandards, die hier nicht als Vorzugsstandards aufgeführt wurden, fallen nicht aus dem RAMI 4.0 heraus, sondern sind damit alle in der Integrationschicht verortet und können dort auch weiterhin verwendet werden. Sie sind wichtig, um heutige Maschinen und Anlagen zu betreiben, darüber hinaus dienen sie der Migration nach Industrie 4.0. So können zum Beispiel derzeit nicht alle Echtzeitanforderungen mit OPC UA in der Produktion erfüllt werden. Daher ist dafür heute eine Kommunikation notwendig, wie sie beispielsweise mit den Ethernet-basierten Feldbussen möglich ist. Erst wenn diese Anforderungen auch von den neuen unter Industrie 4.0 aufgeführten Kommunikationslösungen erfüllt werden können, kann an eine Ablösung gedacht werden.

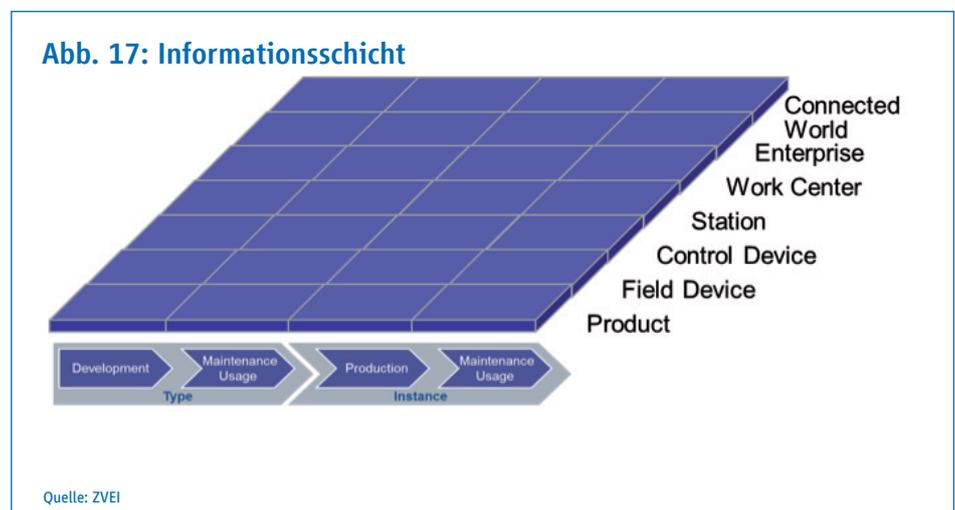
Abgeleitete Konsequenzen:

- Ein logisches Feldgerät wie etwa ein Servoumrichter sollte somit in der Produktion seine Daten per OPC UA anbieten, aber im Entwicklungsbereich seine Daten und speziell die Dateien zum Beispiel aus einem Katalog heraus transparent über http abrufbar haben, beispielsweise als CAD, PDF oder auch XML-Datenfile.
- Ein Fabrikssystem sollte MQTT anbieten für die fabrikweite Vernetzung der Produktionsdaten. Es sollte aber auch eine Schnittstelle OPC UA haben, um mit den in der Hierarchie tieferliegenden Dingen eine Kommunikation aufbauen zu können. Und für die Planung im Entwicklungsbereich sollte es ebenfalls seine Daten und Dateien in einem transparenten Format über http anbieten.

## 5.2. Festlegungen in der Informationsschicht

### 5.2.1. Einleitung

In der Informationsschicht sind alle Industrie-4.0-konformen Daten verortet. Die Informationsschicht ist ebenfalls nach den Lebenszyklusphasen und den Hierarchieebenen gegliedert.



Für die Beschreibung der Daten sind verschiedene Festlegungen notwendig, sodass auch die Informationsschicht noch einmal in einzelne Zusatzlayer unterteilt wird, um die einzelnen Festlegungen besser zu zeigen und erklären zu können.

### 5.2.2. Anforderungen Industrie-4.0-Daten

Was sind nun die Voraussetzungen für die Anlage als Industrie-4.0-Daten in der Informationsschicht gegenüber proprietären Daten in der Integrationsschicht?

- Verwendung von offenen Standards und Normen
- Daten sind Merkmale, Parameter, aber auch Datensätze oder Dateien etc.
- Weltweit eindeutiger Identifier für die Daten nach ISO 29005-2 oder URI
- Beschreibung des Merkmals in seinen Eigenschaften inklusive seiner Attribute zum Beispiel nach IEC 61360 oder ISO 13584-42
- Bezug zu einem Asset oder immateriellen Asset notwendig (zu seinem Identifier)
- Seine Festlegung, Beschreibung und die Verwendung muss veröffentlicht und frei zugänglich für jeden sein

### 5.2.3. Vorschlag Industrie-4.0-Vorzug für die Informationsschicht

Daten können sehr unterschiedlich sein. Dazu gehören einfache Merkmale wie zum Beispiel „Maximaler Bemessungsstrom“ oder auch Parameter. Diese sind nach einer der Normen IEC 61360 oder ISO 13584-42 mit entsprechenden Attributen zu versehen wie beispielsweise einer Definition, Wertebereichen, Datentyp, Beschreibung etc. Diese standardisierten Merkmale sind zum Beispiel in IEC CCD oder auch bei eCl@ss zu finden. Dort sind die Merkmale auch Klassen zugeordnet, so ist etwa zu sehen, welche Merkmale zu einem „Servomotor“ bereits definiert und zusammengefasst sind. Diese Daten werden einmal definiert und an verschiedenen Stellen des Lebenszyklus wiederverwendet. Daher ist eine Definition der Merkmale die Basis für die Beschreibung von Daten.

Daten sind aber auch komplexe Files wie zum Beispiel CAD-Zeichnungen oder Handbücher als PDF. Diese haben ebenfalls einen Identifier und können mit Merkmalen beschrieben werden, zusätzlich zu den Merkmalen wird aber das File an sich mitübertragen und/oder gespeichert. Auch sie werden über den gesamten Lebenszyklus benötigt.

Im Gegensatz zu heute, wo in jeder Ebene der Automatisierungspyramide die Daten umgerechnet werden müssen, damit sie mit der jeweiligen Kommunikation übertragen werden können, sollen die Daten in der gesamten Hierarchie immer gleich gehalten werden. Damit wird sichergestellt, dass jeder mit jedem die gleichen Informationen austauschen kann, egal wo er sich in der Hierarchie befindet.

Sollen einzelne Merkmale oder auch ganze Sätze von Merkmalen zwischen verschiedenen Systemen ausgetauscht werden, sind Austauschformate für Daten notwendig. Hier eignen sich je nach Technologie und Anwendung als Vorzug zum Beispiel XML oder JSON.

Für den Austausch von Daten zwischen Verwaltungsschalen von Industrie 4.0-Komponenten sind ein paar einheitliche Strukturen notwendig, damit sich etwa die Industrie 4.0-Komponenten finden können oder auch automatisiert direkt Daten austauschen können. Dafür entsteht zurzeit ein Dokument „Verwaltungsschale im Detail“ in Zusammenarbeit des ZVEI mit der Plattform Industrie 4.0.

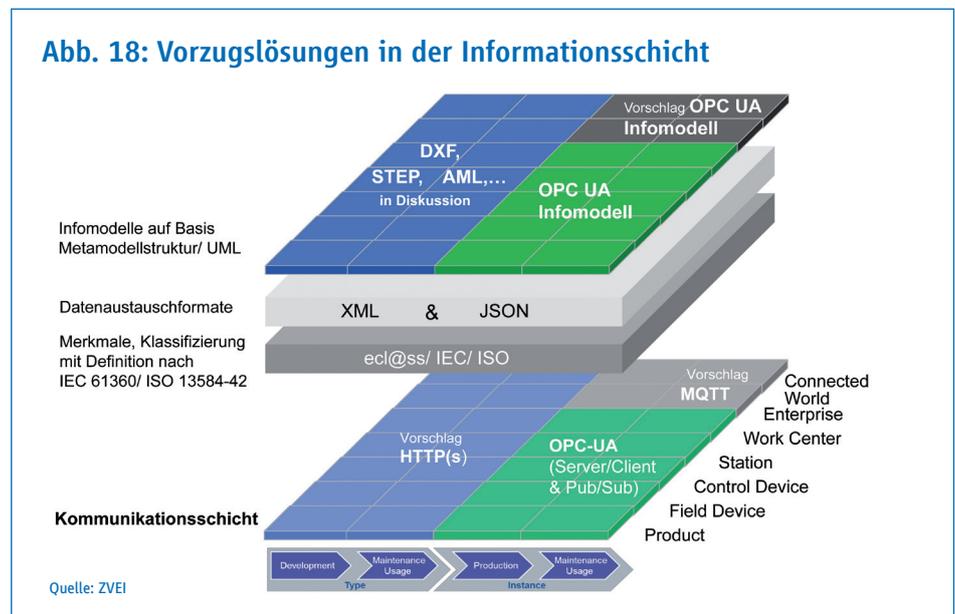
Beschrieben wird in einem Metamodell, welche Mindestangaben eine Verwaltungsschale haben und wie ihre Struktur sein muss.

Auf der obersten Schicht in der Informationsschicht wird die Technologie festgelegt, in der das komplette Informationsmodell vorliegen sollte. Für den Bereich der Produktion, vom Produkt bis zur kompletten Linie, bietet sich OPC UA an. Basierend auf der gleichen Kommunikation, ist diese Technologie schon im Markt verbreitet und kann die notwendigen Anforderungen abdecken.

Um transparent auch im Bereich der Fabrikkommunikation zu bleiben, wird hier ebenfalls ein Informationsmodell nach OPC UA empfohlen. Damit können die gleichen Daten wie zum Beispiel Merkmale über die gesamte Hierarchie vom Sensor bis in die Cloud verwendet werden, nur die Kommunikation ist einmal OPC UA und einmal MQTT.

Im Entwicklungsbereich werden dieselben Daten verwendet, sodass die Daten immer identisch über den gesamten Lebenslauf bleiben und zur Verfügung stehen. Nur die Aufbereitung findet anders statt. In der Produktion wird das Informationsmodell von OPC UA über die Kommunikation von OPC UA transportiert. In der Entwicklung sollen diese Daten aber über http zur Verfügung stehen, um beispielsweise in CAD-Programme eingelesen werden zu können. Daher bietet sich hier als Vorzugslösung eine Definition nach AutomationML an. Dieses Format kann von den meisten Programmen mittlerweile verwendet werden. Eingebettet werden dann Informationen wie STEP oder auch DXF übertragen. Die Verabschiedung dieser Vorzugslösung im Entwicklungsbereich ist über die Plattform Industrie 4.0 diskutiert, aber noch nicht erfolgt.

Die Zusammenhänge der angesprochenen Vorzugslösungen und die Aufteilung der Informationsschicht sind im folgenden Bild dargestellt.



**Fazit:**

Als Resultat wurden im Arbeitskreis die notwendigen Daten des Industrie-4.0-Antriebs als Merkmale definiert und in eCl@ss standardisiert. Für den angestrebten Demonstrator in seiner ersten Stufe werden diese Daten dann in einem Informationsmodell nach OPC UA erstellt und über eine OPC-UA-Kommunikation ausgetauscht.

**5.3. Erfüllung der Industrie-4.0-Produktkriterien**

Die beiden Arbeitsgruppen ZVEI Industrie 4.0 Standards & Modelle sowie Plattform Industrie 4.0 AG1 Referenzarchitekturen und Standards haben festgelegt, welche Kriterien Produkte erfüllen müssen, die heute Industrie-4.0-konform sein sollen. Gleichzeitig wurde ein Ausblick gegeben, welche Kriterien in den nächsten fünf und zehn Jahren hinzukommen können.<sup>9</sup>

In diesem Kapitel werden die allgemeinen Produktkriterien für 2018 dargestellt – und wo der Bezug zum vorliegenden White Paper für die elektrische Antriebstechnik ist. Vereinbarte eCl@ss-Merkmale sind in der Klassifikation „27-02 Elektrischer Antrieb“ bei eCl@ss zu finden.

<sup>9</sup> Siehe <https://www.zvei.org/presse-medien/publikationen/welche-kriterien-muessen-industrie-40-produkte-erfuellen-2-ueberarbeitete-version/>

In Summe sind sieben Kriterien zu erfüllen, die mit ihren Anforderungen und den notwendigen Produkteigenschaften für 2018 beschrieben sind.

## 1. Identifikation

Kriterium	Anforderungen	L	E	Produkteigenschaften 2018
1. Identifikation	Herstellerübergreifende Identifizierung mit eindeutigem Identifier (ID) auf dem Produkt angebracht, elektronisch lesbar. Identifizierung in: 1) Entwicklung 2) Warenverkehr (Logistik), Produktion 3) Vertrieb, Service, Marketing 4) Netzwerk	T	M	für 1) Materialnummer (elektronisch) nach ISO 29002-5 oder URI
		I	M	für 2) Seriennummer oder eindeutige ID für 3) Hersteller + Seriennummer oder eindeutige ID mit 2) und 3) elektronisch lesbar, für physische Produkte über 2D-Code oder RFID für 4) Identifikation Teilnehmer über IP Netzwerk

Für die Identifikation wurden in dem White Paper speziell eCl@ss-Merkmale vereinbart, die für eine Identifikation verwendet werden können.

Merkmale:	eCl@ss Identifier
URI des Produkts:	AA811
Herstellername:	AA0677
Seriennummer:	AAM556
Herstellerartikelnummer:	AA0676
Herstellerprodukttyp:	AA0057

## 2. Industrie-4.0-Kommunikation

Kriterium	Anforderungen	L	E	Produkteigenschaften 2018
2. Industrie-4.0-Kommunikation	Übertragung von Daten und Datenfiles des Produkts für z. B. die Auslegung oder Simulation, Daten zum Produkt in standardisierter Form  Produkt über Netzwerk ansprechbar, liefert und übernimmt Daten, Plug & Produce über Industrie-4.0-konforme Dienste	T	M	Hersteller macht Daten online digital verfügbar/abrufbar. Die Daten sollten relevant für den Kunden und mithilfe der Identifikation verfügbar/abrufbar sein, z. B. PDF über http(s) und URI
		I	M	Verwaltungsschale des Produkts mithilfe der Identifikation online (zu jeder Zeit) ansprechbar über TCP/UDP&IP mit mindestens dem Informationsmodell von OPC UA

Bereits ab eCl@ss Version 10.1 stehen schon viele Merkmale bereit, die herstellernerneutral ausgetauscht werden können. Ab der Version 11 (ab 2019) werden weitere Merkmale zur Verfügung gestellt, die hier genutzt werden sollten.

Zum Beispiel der Block „Ersatzschaltbild“ (0173-1#01-AGG318#001) mit seinen technischen Merkmalen: Polzahl, Motortyp, Schaltung der Motorwicklung, Isolationsfestigkeit, Drehmomentverhältnisse, Stromfaktoren etc.

Diese eCl@ss-Datenstrukturen fließen auch in die OPC-UA-Companion-Specification der Joint-Working-Group Industrie 4.0 / OPC UA Drive Technology zwischen dem VDMA und der OPC-Foundation ein und werden mit dem in Kapitel 7 beschriebenen Demonstrator getestet.

### 3. Industrie-4.0-Semantik

Kriterium	Anforderungen	L	E	Produkteigenschaften 2018
3. Industrie-4.0-Semantik	Standardisierte Daten in Form von Merkmalen mit herstellerübergreifender eindeutiger Identifizierung und Syntax für z. B.: 1) Kaufmännische Daten 2) Katalogdaten 3) Technische Daten: Mechanik, Elektrik, Funktionalität, Örtlichkeit, Leistungsfähigkeit 4) Dynamische Daten 5) Daten über den Lebenslauf der Produktinstanz	T	M	für 2) Katalogdaten in einem offenen Standard online abrufbar
			M	für 2) Katalogdaten online abrufbar
		I	O	für 5) Daten über den Lebenslauf der Produktinstanz online abrufbar

Für die Katalogdaten existieren bereits mit eCl@ss Version 10.1 eine Reihe von Merkmalen die hier genutzt werden sollen. Mit der neuen Version 11 ab 2019 kommen weitere Merkmale hinzu.

### 4. Virtuelle Beschreibung

Kriterium	Anforderungen	L	E	Produkteigenschaften 2018
4. Virtuelle Beschreibung	Virtuelles Abbild in Industrie-4.0-konformer Semantik. Virtuelles Abbild über den gesamten Lebenszyklus. Charakteristische Merkmale der realen Komponente, Informationen über Beziehungen der Merkmale untereinander, produktions- und produktionsprozessrelevante Beziehungen zwischen Industrie 4.0-Komponenten, formale Beschreibung relevanter Funktionen der realen Komponente und ihrer Abläufe	T	M	Kundenrelevante Informationen anhand der Typen-Identifikation digital abrufbar (Produktbeschreibung, Katalog, Bild, technische Features, Datenblatt, Security-Eigenschaften etc.)
			I	M

Die kundenrelevanten Informationen sind noch nicht standardisiert, sodass hier jeder Hersteller seine heute verfügbaren Informationen in Form von Dateien, zum Beispiel PDF, zur Verfügung stellen kann. Sie sollen über das Internet abrufbar sein. Ebenso der Kontakt zu Service und Support.

Für die Bereitstellung von möglichen Ersatzteilen wurden aber bereits erste Merkmale diskutiert und festgelegt. Diese sind noch nicht bei eCl@ss eingereicht, werden aber in einer der nächsten Versionen folgen.

Zukünftig sind bei den Produktkriterien (die nächsten fünf Jahre) auch standardisierte Katalogmerkmale zu erwarten. Diese haben wir bereits bei eCl@ss für die elektrische Antriebstechnik definiert, sodass diese verwendet werden können.

### 5. Industrie-4.0-Dienste und -Zustände

Kriterium	Anforderungen	L	E	Produkteigenschaften 2018
5. Industrie-4.0-Dienste und -Zustände	Definition noch offen (Dienstsystem) Allgemeine Schnittstelle für nachladbare Dienste und Meldung von Zuständen. Notwendige Basisdienste, die ein Industrie-4.0-Produkt unterstützen muss	T	O	Digitale Beschreibung der Geräteschnittstelle verfügbar
			I	O

Im Rahmen des White Papers wurden auch erste herstellerübergreifende Funktionen definiert, unter anderem auch eine Funktion zu „Fehlerspeicher und Warnungen“. Die Funktion sammelt aus allen Geräten die Fehlermeldungen und Warnungen einheitlich ein und stellt sie übersichtlich und herstellerneutral dar. Die Merkmale werden in eCl@ss definiert und die Funktion wird am Demonstrator mit OPC UA in einer ersten Version umgesetzt.

## 6. Standardfunktionen

Kriterium	Anforderungen	L	E	Produkteigenschaften 2018
6. Standardfunktionen	Grundlegende standardisierte Funktionen, die herstellerunabhängig auf verschiedenen Produkten lauffähig sind und gleiche Daten in gleichen Funktionen liefern. Sie dienen als Grundstock der Funktionalität, auf die jeder Hersteller seine eigenen Erweiterungen aufbauen kann	T	N	nicht definiert
		I	N	nicht definiert

Die Produktkriterien fordern heute noch keine standardisierten Funktionen. Mit dem White Paper starten wir aber erste Funktionen, die so allgemein gehalten werden, dass sie – zwar aus der Antriebstechnik kommend – auch sehr gut für andere Automatisierungsprodukte übernommen werden können. Eine Standardisierung der Schnittstelle für diese Funktionen ist auch wieder über eCl@ss geplant und vordiskutiert.

## 7. Security

Kriterium	Anforderungen	L	E	Produkteigenschaften 2018
7. Security	Mindestbedingungen zur Sicherstellung der Security-Funktionalität	T	M	Eine Bedrohungsanalyse wurde durchgeführt. Angemessene Security-Fähigkeiten wurden berücksichtigt und öffentlich dokumentiert
		I	M	Vorhandene Security-Fähigkeiten sind dokumentiert Entsprechend sichere Identitäten sind vorhanden

Security darf in der Auflistung der wichtigen Kriterien für Industrie-4.0-Produkte nicht fehlen. Heute haben wir noch keine Kennzahlen in Form von Merkmalen, die wir hier herstellerübergreifend anführen können, daher obliegt die Prüfung und Dokumentation jedem Hersteller selbst.

### Fazit Produktkriterien:

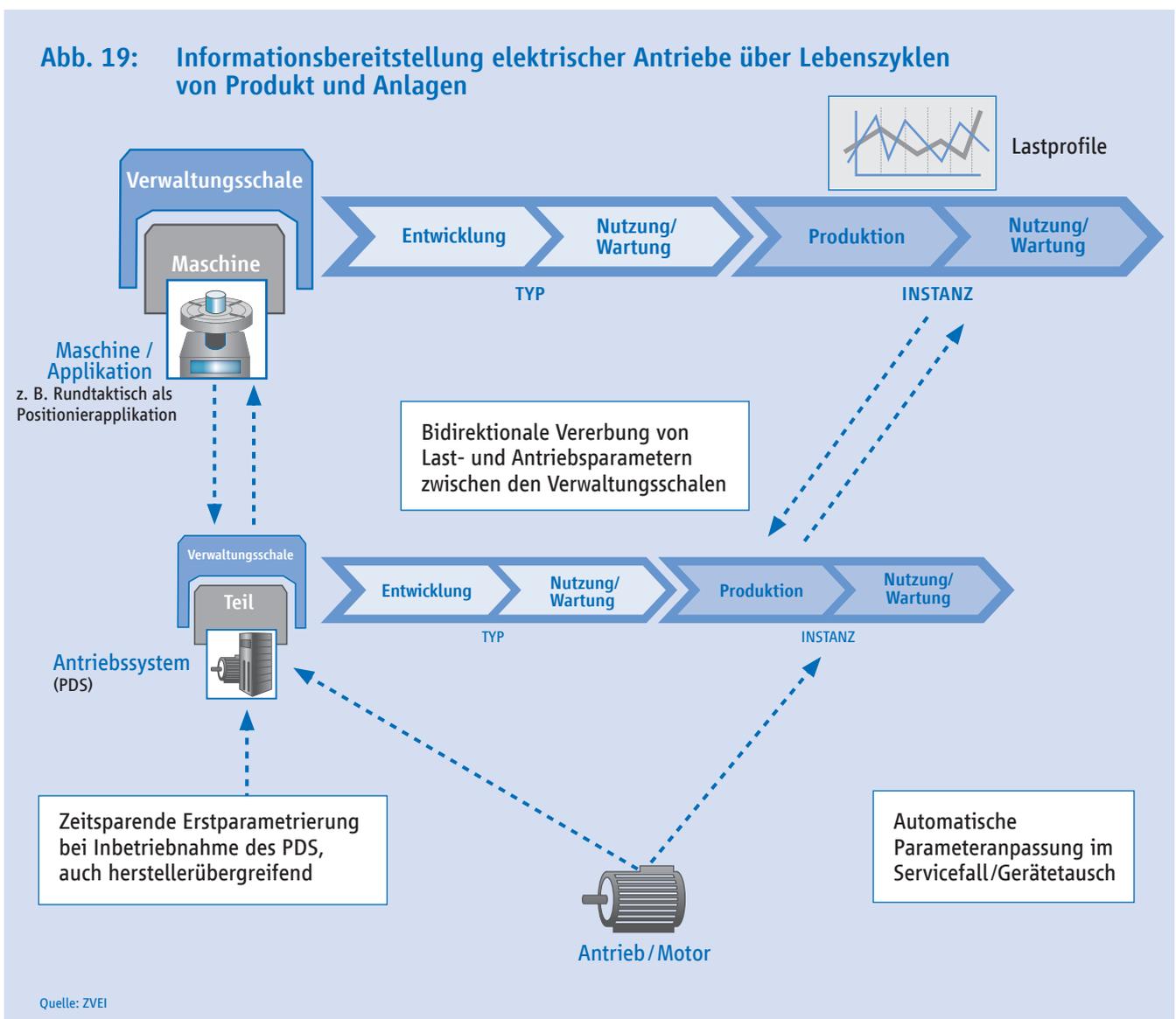
Das White Paper hilft in vielen Teilen Herstellern, Maschinenbauern und Betreibern, die Produkte der elektrischen Antriebstechnik besser zu digitalisieren. Damit werden Prozesse wie Entwicklung/Konstruktion, Inbetriebnahme, aber auch der Betrieb und Service vereinheitlicht und vereinfacht.

# 6. Antrieb 4.0

## 6.1. Merkmale

Die Eigenschaften der Geräte und Komponenten (z. B. Motor und Frequenzumrichter) werden in der Verwaltungsschale über Merkmale beschrieben, die möglichst auf Definitionen aus globalen oder regionalen Standards (z. B. ISO, IEC, EN, DIN, VDE, ...) beruhen.

Über den Wertschöpfungsprozess hinweg werden sich die Merkmale, beispielsweise in Entwurfs-, Herstellungs- und Errichtungsphasen, entwickeln und manchmal auch verändern, siehe Kapitel 4 „Nutzergruppen im Wertschöpfungsprozess“. 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 Zuordnung der Merkmale zu technischen Gruppen wie Lieferanten und Nutzer der Daten ermöglicht es, schnell zu identifizieren, welche Daten in welcher Phase relevant sein können.



Trotz der Bemühungen unterschiedlicher Gremien gibt es bei den Merkmalen 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 ...), und manchmal werden Begriffe ohne Bezug zu den öffentlichen Standards verwendet. Als Grundlage für eine erste Vereinheitlichung hat die Arbeitsgruppe

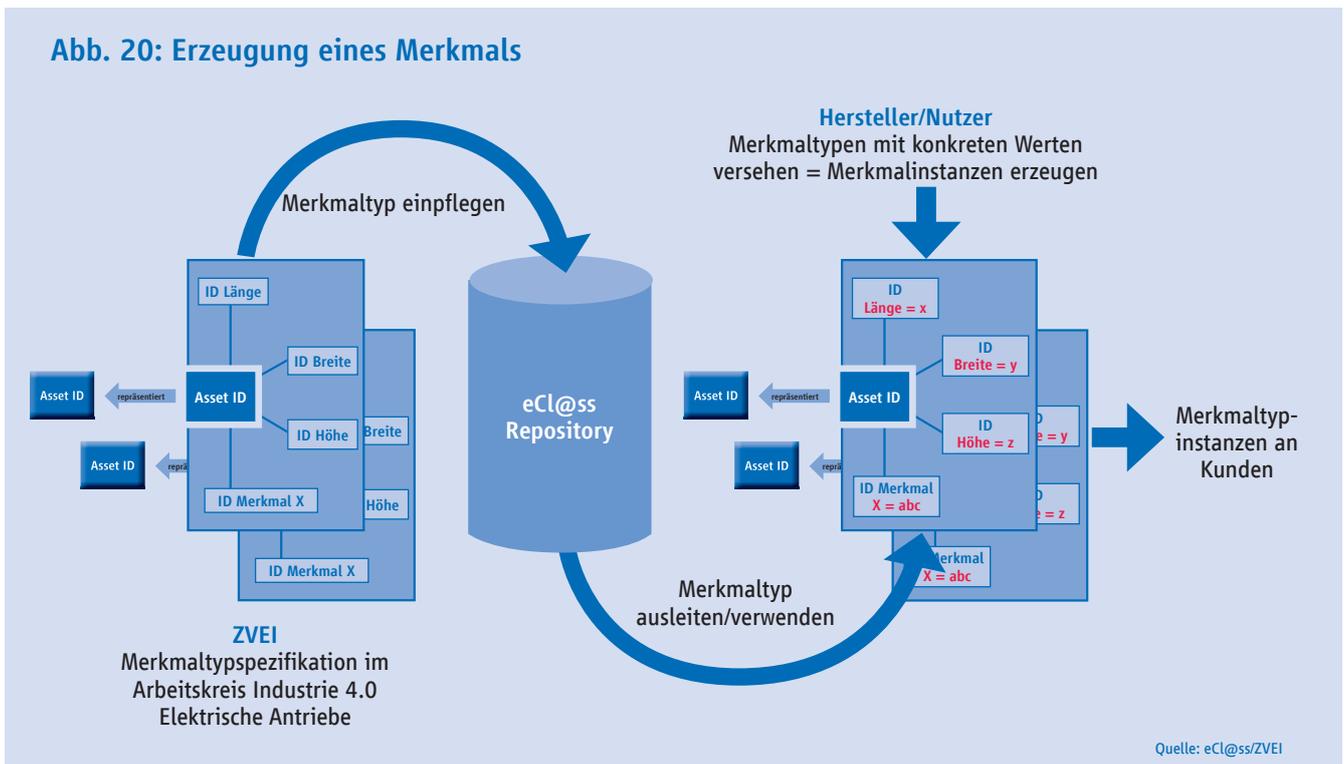
als Klassifizierungssystem eCl@ss ausgewählt, in dem viele Merkmale über verschiedene Bereiche der Antriebstechnik bereits definiert sind. Für die Motoren werden Klassen verwendet, die Definitionen aus IEC verwenden. Diese eCl@ss-Klassen sind als Wörterbücher zu verstehen, die die möglichen Merkmale definieren und Wertelisten sowie Übersetzungen sowohl der Merkmale als auch der angebotenen Wert-Ausprägungen in vielen Sprachen anbieten. In welchem Umfang diese Merkmale verwendet werden und somit befüllt werden müssen, hängt von der Anwendung ab und wird zwischen dem Anforderer (z. B. Maschinenbauer) und dem Lieferanten (z. B. Motor- oder Umrücker-Hersteller) vereinbart.

Derzeit wird ein Katalog mit Merkmalen zusammengestellt, der später für Hersteller von Antrieben, für Maschinenbauer und Betreiber für Verwendung und Pflege zur Verfügung stehen 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.“<sup>10</sup>

Damit die Merkmale elektrischer Antriebe in der Informationswelt eindeutig charakterisiert sind, benötigen sie hier auch eindeutige Identifikatoren, um ihre Bedeutung eindeutig zuzuordnen. Da diese Identifikatoren sprachenunabhängig sind, ermöglichen sie gleichzeitig auch die Übersetzungen der Merkmale in viele Sprachen. Hierzu bietet eCl@ss die Grundlage, nach ISO/IEC 6523 und ISO/IEC 11179-6 auf Basis ISO29002-5 die Merkmalstypen in Repositorien festzuhalten. Der Arbeitskreis des ZVEI hat für die wichtigsten Antriebsklassen die noch fehlenden und zu überarbeitenden Merkmale ergänzt und bringt sie in eCl@ss ein, wo sie mit Version 11 im ersten Halbjahr 2019 veröffentlicht werden sollen. Ziel ist es, dass diese Merkmale jedem Nutzer zur Verfügung stehen und durch Zuordnen der Kennwerte und Eigenschaften seines Antriebsprodukts eine konkrete Instanz-Beschreibung erzeugt werden kann. Zudem stehen den Nutzern am Ende Informationen zu den Produkten in einer einheitlichen Datenstruktur zur Verfügung.<sup>11</sup>

Abb. 20: Erzeugung eines Merkmals



<sup>10</sup> Vgl. [https://www.eclass.eu/fileadmin/downloads/ecl-Whitepaper-Industrie40\\_DE\\_klein.pdf](https://www.eclass.eu/fileadmin/downloads/ecl-Whitepaper-Industrie40_DE_klein.pdf)

<sup>11</sup> Vgl. <http://wiki.eclass.eu/>

## Beispiel elektronisches Typenschild

Eines der ersten Umsetzungsbeispiele des Antriebs 4.0 ist die digitale Abbildung des auf allen Antrieben verpflichtend vorhandenen Typenschilds mittels eCl@ss.

Die Realisierung des „elektronischen Leistungsschilds mit Industrie-4.0-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 das Datenmodell eCl@ss auch für andere Motortypen als Vorlage – etwa für die Sachgruppe 27-02-26 Servomotoren, für die die Merkmale und Merkmalsblöcke derzeit um spezifische Eigenschaften erweitert werden.<sup>12</sup>

Abb. 21: Übertrag eines Typenschilds nach eCl@ss

Hersteller	IE3	CE
3 ~ Mot	Typ xyz	2018
IP 54	S1	P = 15kW
$\Delta / Y$	400/690 V	26,0/15,0 A
2.900 min <sup>-1</sup>	50Hz	$\eta = 92,2 \%$
<b>IEC / EN 60034-1</b>		



Leistungsdaten (Motor)			BAE083
Leistungsdaten des Motors im Netzbetrieb			AAV489
Anzahl der Bemessungspunkte Netzbetrieb			AAV190
Bemessungspunkt Netzbetrieb			AAV490
Anzugsmomentfaktor		one	AAV202
Leistungsfaktor (Cos phi)			AAV420
Schalldruckpegel (in 1 m Entfernung bei Bemessungsleistung)		dB	AAV207
Bemessungsleistung		W	AAC970
Bemessungsdrehzahl		l/min	AAC879
Wirkungsgrad		%	BAB370
Polpaarzahl			AAV194
Spannungstoleranz		%	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. Die Wertereihen werden individualisiert zugeordnet.

„Kardinalität“ bedeutet hierbei, dass für unterschiedliche Bemessungen (z. B. verschiedene Drehmoment-Drehzahl-Arbeitspunkte eines umrichter gespeisten Drehstrommotors) jeweils ein Merkmalsblock (z. B. Spannung, Frequenz, Strom, Drehmoment, ...) angelegt wird.

In der Zukunft des Antriebs 4.0 werden Merkmale in der beschriebenen Form nicht mehr nur für statische Informationen, die durch Konstruktion und Herstellung des Antriebs bereits festgelegt sind, verwendet, sondern für alle Daten über den kompletten Lebenszyklus des Antriebs bis hin zu Echtzeit-Verläufen. Auch hierfür sollen Identifikatoren definiert werden, die eine Übermittlung und das Verständnis von Werten (z. B. Zeitverlauf eines Stroms) unabhängig von den beteiligten Geräten erlauben.

Die Struktur der Klassen und die Basismerkmale in der aktuellen Version (derzeit 10.1, ab Mitte 2019 Version 11) können online aufgerufen werden.<sup>13</sup>

Die komplette Liste aller Merkmale wird als „eCl@ss-ADVANCED“ bezeichnet und kann über den entsprechenden Link auf der genannten Seite geöffnet werden. Dieser Link führt zum sogenannten „Content Development Portal“ („CDP“). Dieses ist auch ohne eCl@ss-Mitgliedschaft zugänglich, man muss sich jedoch für einen Log-in registrieren.

## 6.2. Industrie-4.0-Funktionen

### 6.2.1 Allgemein

Aufbauend auf den Merkmalen und der Datenhandhabung, hat der ZVEI-Arbeitskreis erste Vorschläge für Industrie-4.0-Funktionen erarbeitet. Dabei wurden Funktionen ausgewählt, die für den Maschinenbauer und Anlagenbetreiber eine besondere Bedeutung haben und oft schon – in herstellereinspezifischer Ausführung – in den Antrieben integriert sind. Ein

<sup>12</sup> Vgl. <http://www.eclasscontent.com/?id=27022101&action=det>

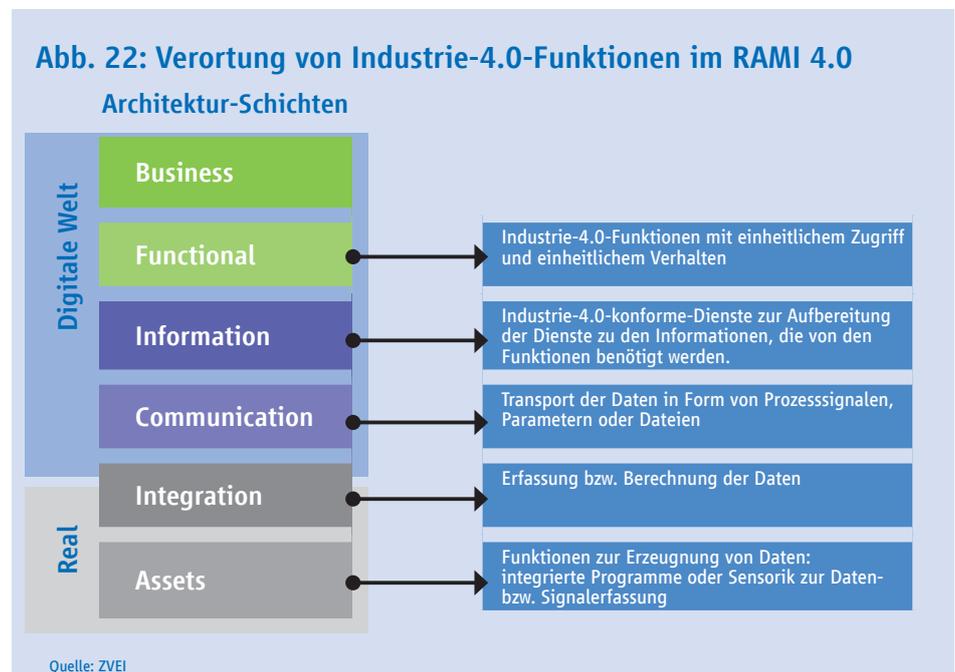
<sup>13</sup> Vgl. [http://www.eclasscontent.com/index.php?id=27020000&version=10\\_1&language=de#node\\_27020000](http://www.eclasscontent.com/index.php?id=27020000&version=10_1&language=de#node_27020000)

wesentlicher Vorteil einer herstellerunabhängigen Beschreibung und Zugriffsebene liegt darin, dass Maschinenbauer und Anlagenbetreiber nicht für jeden Antrieb jedes Herstellers ein eigenes Tool benötigen. Die standardisierten Schnittstellen bieten Drittanbietern von Software die Möglichkeit, spezialisierte Tools auf den Markt zu bringen. Die gewonnenen Daten können aufgrund ihrer einheitlichen Darstellung aus unterschiedlichen Quellen (Antriebe und andere Maschinenfunktionen) zusammengeführt und ausgewertet werden. Das eröffnet neue Möglichkeiten, die Maschine in ihrer Gesamtheit zu analysieren und zu optimieren.

Ein weiterer Nutzen: Während sich bislang die Auswahl von Antrieben oft auf das Produktangebot des Herstellers beschränkte, den der Maschinenbauer favorisierte, erlauben es in Zukunft die einheitlichen Industrie-4.0-Funktionen zunehmend, den am besten passenden Antrieb unabhängig vom Hersteller auszuwählen. Auch ein Wechsel der Antriebshersteller fällt leichter, was zu einer Belebung des Wettbewerbs führt, von dem der Maschinenbauer profitieren kann.

Die Industrie-4.0-Funktionen sind in der Funktionsschicht des RAMI 4.0 verortet. Sie sind unabhängig vom Asset, unabhängig vom Hersteller und unabhängig von der verwendeten Kommunikationsinfrastruktur. Aufgabe der Funktionsschicht ist es, die dort verorteten Funktionen in einer einheitlichen Weise und Methodik zur Verfügung zu stellen. Diese Methodik beinhaltet den Zugriff auf die Informationen, die Semantik (Bedeutung) der Information sowie die interne Logik der Funktion, das heißt in welcher Weise die Information aus definierten Daten gebildet wird.

Die Verortung der Industrie-4.0-Funktionen im RAMI 4.0 ist in Abbildung 22 grafisch dargestellt.



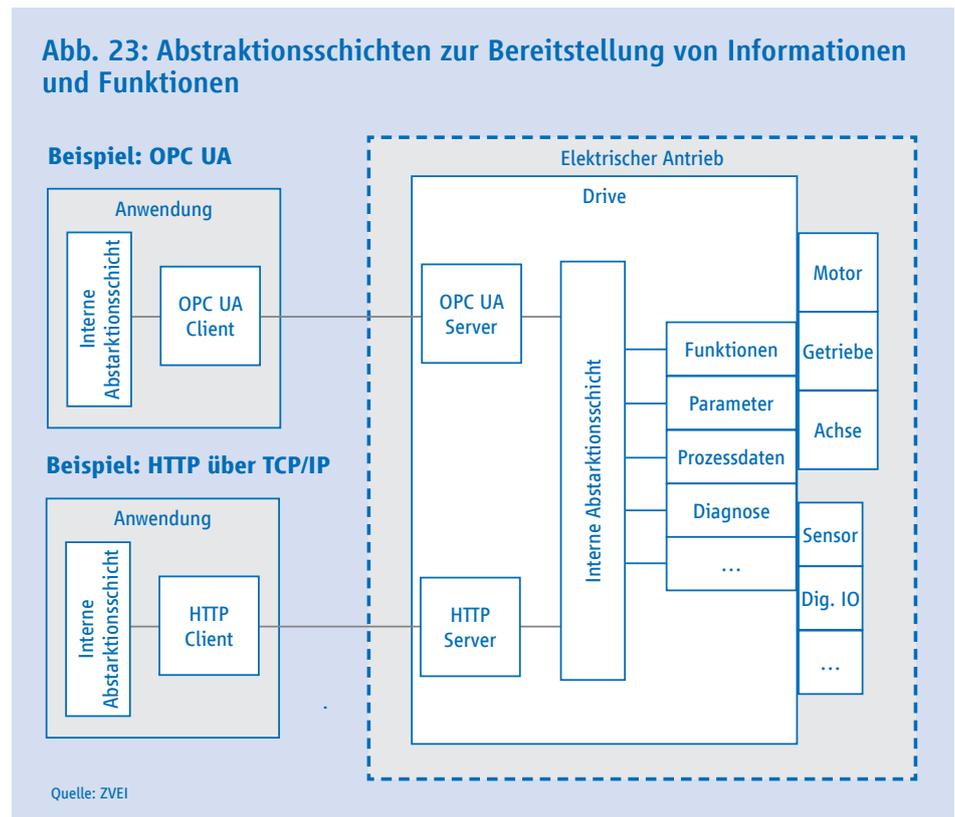
Prinzipiell gibt es zwei unterschiedliche Arten von Funktionen:

1. Funktionen, die in den Assets ablaufen, weil dort bestimmte Echtzeitdaten zur Verfügung stehen oder die Funktionalität selber (unabhängig vom Industrie-4.0-Kontext) benötigt wird. Für diese Funktionen wird in der Funktionsschicht eine Repräsentanz gebildet, die den einheitlichen Zugriff ermöglicht. Eine wesentliche Aufgabe ist die Konvertierung herstellerepezifischer Daten in das einheitliche Industrie-4.0-Format.
2. Funktionen, die in der Funktionsschicht selber als Programm ablaufen. Hier werden von den Assets im wesentlichen Daten geliefert, die in der Integrationschicht zusammengestellt, über die Kommunikationsschicht transportiert und in der Informationsschicht zur Verfügung gestellt werden.

schicht gegebenenfalls mit anderen Daten zu den für die Ausführung der Funktion relevanten Informationen zusammengestellt werden. In der Funktionsschicht erfolgt dann die eigentliche Verarbeitung der Daten zur gewünschten Ausgabe im einheitlichen Industrie-4.0-Format.

Zum einheitlichen Industrie-4.0-Format eines Ausgangssignals gehören mindestens Bezeichner (Name), Datenformat, Einheit und Systemzeit. Die Systemzeit dient dazu, den zeitlichen 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). Alternativ 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.

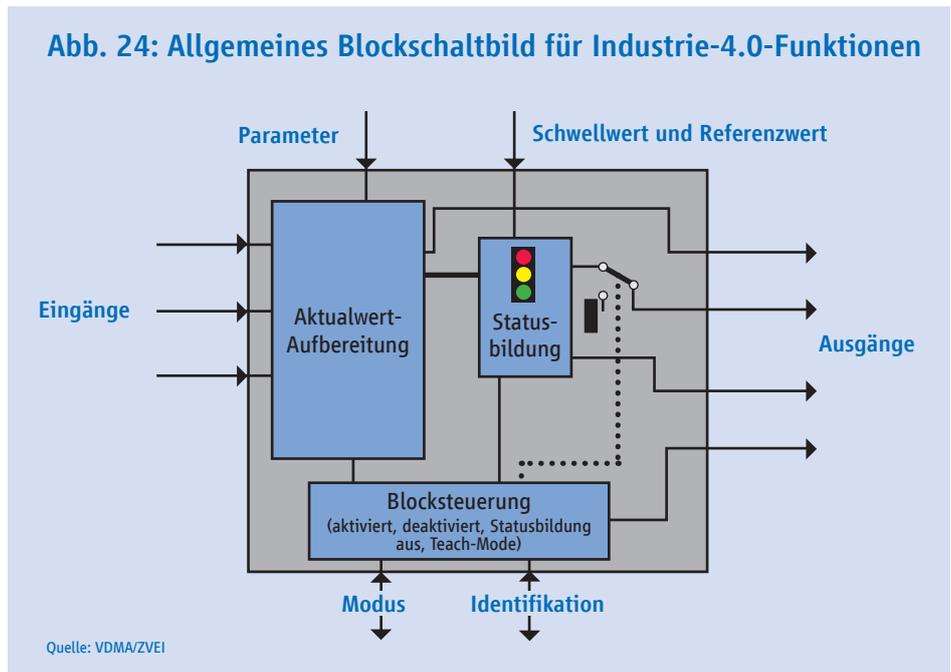
In Abbildung 23 wird für das Asset „Elektrischer Antrieb“ gezeigt, wie mithilfe einer im Asset integrierten Abstraktionsschicht die im Gerät vorhandenen Daten herstellerunabhängig zur Verfügung gestellt werden können. Dabei sind als mögliche Kommunikationswege zur Bereitstellung der Daten die Medien OPC UA und HTTP benannt. Im Rahmen der Anwendung werden die Funktionen ausgeführt bzw. die Funktionalität des Antriebs herstellerunabhängig abgebildet. Der einheitliche Zugriff auf die Funktionen erfolgt ebenfalls über eine Abstraktionsschicht, die im Client ausgeführt wird.



Die Beschreibungen der herstellerübergreifenden Funktionen in den folgenden Kapiteln orientieren sich an den Funktionsblöcken nach dem Muster des VDMA-Einheitsblatts<sup>14</sup> für Condition-Monitoring (siehe Abb. 24). Diese einheitliche Darstellung gewährleistet eine eindeutige Zuordnung der für die Funktion relevanten Schnittstellen und Daten (z. B. zu Eingangs-, Ausgangs- oder Referenzwerten), unabhängig von dem Zweck der jeweiligen Funktion.

<sup>14</sup> Vgl. VDMA 24582 „Feldbusneutrale Referenzarchitektur für Condition Monitoring in der Fabrikautomation“

**Abb. 24: Allgemeines Blockschnittbild für Industrie-4.0-Funktionen**



Jede Funktion wird darin als Aktualwertaufbereitung angesehen, die an ihren Eingängen die zu verarbeitenden Daten zugeführt bekommt und das Ergebnis an ihren Ausgängen ausgibt. Der Aufruf der Funktion erfolgt über einen Freigabe-Eingang. Die Verarbeitung kann vom Anwender über Parameter und Schwellwerte beeinflusst werden, die Funktionsweise kann zudem vom gewählten Modus und vom Systemzustand abhängig sein. Mit Hilfe von Referenzwerten kann die Ausgabe der Funktion mit den Werten der aufrufenden Seite abgeglichen werden. Jede Funktion liefert neben dem Ergebnis der Aktualwertaufbereitung einen Status, der über die Gültigkeit der Ausgabe informiert und der außerdem als Ampelstatus ausgegeben wird. Jede Funktion hat ihren eigenen Satz an Eingängen, Parametern usw., die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden. Allerdings gibt es einige Schnittstellen, die in den meisten oder allen Funktionen vorhanden sind; diese werden hier aufgelistet:

<b>Freigabe (Eingang)</b>	Startet die Funktion.
<b>Systemzustand (Eingang)</b>	Der Systemzustand kann die Ausgabe der Funktion beeinflussen oder die Ausführung der Funktion blockieren. Mögliche Werte gemäß VDMA-Einheitsblatt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Störung</li> <li>• Betriebsbereit</li> <li>• Betriebsmodus <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatikbetrieb</li> <li>• Handbetrieb</li> <li>• Einrichtbetrieb</li> <li>• Anfahrbetrieb</li> <li>• Stationärbetrieb</li> <li>• Parametrierbetrieb</li> </ul> </li> </ul>

<b>Modus</b>	<p>Über den Modus kann das Verhalten der Funktion beeinflusst werden. Mögliche Werte gemäß VDMA-Einheitsblatt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Aktiviert“ (Funktion wird ausgeführt)</li> <li>• „Deaktiviert“ (Funktion wird nicht ausgeführt)</li> <li>• „Manuell“ (von außen zugeführte Daten werden verarbeitet oder Ausgangswerte, Statuswort und Ampelstatus werden zu Testzwecken von außen geschrieben)</li> <li>• „Simulation“ (Eingangswerte werden ignoriert, die Aktualwertaufbereitung erfolgt auf Basis von außen vorgegebenen oder anderweitig generierten Simulationswerten)</li> <li>• „Statusbildung aus“ (Ausgangswerte werden berechnet, es erfolgt jedoch keine Statusbildung; Ampelstatus ist „keine Zustandsaussage“)</li> <li>• „Lernmodus“ (Eingangswerte werden zugeführt, um in einem Lernprozess Referenz- und/oder Schwellwerte zu bilden; Ampelstatus ist „keine Zustandsaussage“)</li> <li>• „Reset“ (alle internen Daten wie Zwischenwerte und erlernte Referenz- und Schwellwerte werden zurückgesetzt; Ampelstatus ist „keine Zustandsaussage“)</li> </ul>
<b>Sprache (Parameter)</b>	<p>Auswahl der Sprache für Klartextmeldungen in Form einer Prioritätenliste (z. B. „DE, EN“). Falls keine der gewünschten Sprachen verfügbar ist, liefert die Funktion eine (im Allgemeinen herstellerspezifisch definierte) Standardsprache.</p>
<b>Zeitstempel (Referenzwert)</b>	<p>Die aufrufende Seite übermittelt die Systemzeit als Referenzwert an die Funktion, damit diese zeitbezogene Daten und Ergebnisse anpassen und in der Systemzeit zurückliefern kann.</p>
<b>Statuswort (Ausgang)</b>	<p>Aussage über die Gültigkeit der Ausgabe, mögliche Werte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Gültig“ (Funktion liefert gültige Ausgangsdaten oder hat gültige Ausgangsdaten geliefert)</li> <li>• „Nicht gültig“ (Funktion arbeitet erfolgreich, liefert aber (noch) keine Ausgangsdaten)</li> <li>• „Fehlerhaft“ (Funktion ist fehlgeschlagen; Details siehe Ausgang „Fehlerstatus“.)</li> <li>• „Bereit“ (Funktion kann parametrieren oder gestartet werden)</li> <li>• „Wartet“ (Funktion wurde aktiviert, wartet jedoch auf das Eintreten einer Triggerbedingung)</li> <li>• „Alarm“ (Funktion ist aktiv, und es wurde ein Schwellwert erreicht)</li> </ul>
<b>Ampelstatus (Ausgang)</b>	<p>Zusammenfassende Aussage über den Zustand, mögliche Werte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aus / keine Zustandsaussage (z. B. im Modus „Statusbildung aus“)</li> <li>• Grün / gut, OK (Status „Gültig“, „Bereit“ oder „Wartet“)</li> <li>• Gelb / Warnung (Status „Nicht gültig“ oder „Alarm“)</li> <li>• Rot / Fehler, Defekt, kritischer Zustand (Status „Fehlerhaft“)</li> </ul>
<b>Fehlerstatus (Ausgang)</b>	<p>Zusätzliche Information zum Status „Fehlerhaft“:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parametrierfehler (die vorgegebenen Parameter sind fehlerhaft, ungültig oder unzulässig)</li> <li>• Laufzeitfehler (während der Ausführung der Funktion ist ein Fehler aufgetreten)</li> <li>• Rückgabefehler (während der Ausgabe der Ergebnisse ist ein Fehler aufgetreten)</li> <li>• Funktion oder Modus nicht verfügbar</li> </ul>

<b>Zeitstempel (Ausgang)</b>	Die Funktion liefert den Zeitpunkt zurück, für den die Zustandsaussage gilt. Basis ist die gemeinsame Systemzeit.
<b>Sprache (Ausgang)</b>	Sprache der zurückgelieferten Klartextmeldungen

Gemäß dem VDMA-Einheitsblatt können für die Funktionen außerdem sogenannte Wartungsstrategien angegeben werden, falls zutreffend und sinnvoll.

Der typische Anwender einer Funktion ergibt sich in der Regel aus der Aufgabe, die mit der Funktion realisiert wird. Allerdings wird in den Funktionsbeschreibungen derzeit noch nicht vertieft, inwiefern es Einschränkungen geben sollte, die nur bestimmten Personenkreisen den Zugriff ermöglichen. Entsprechende Autorisierungsmechanismen werden derzeit in der ZVEI-Projektgruppe „Verwaltungsschale im Detail“ erörtert und könnten in Zukunft Einzug in die Definition der hier vorgestellten Funktionen finden.

## 6.2.2 Oszilloskop

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 erfolgt als Abfolge von Amplitudenwerten, wobei jedem Amplitudenwert ein Zeitstempel zugeordnet wird. In der Regel werden die Amplitudenwerte in einem äquidistanten Zeitraster abgetastet (wie bei einem digitalen Speicheroszilloskop).

Als Echtzeitsignale werden hier quasi-analoge (z. B. Motorphasenstrom oder Zwischenkreisspannung) und digitale Signale (z. B. Schnellhalt oder Impulssperre) verstanden, die in einer zeitlichen Auflösung aufgezeichnet werden, wie sie im Antriebssystem zugrunde liegt. Typische Zykluszeiten im Antriebssystem sind zum Beispiel 1 ms für Motion Control, 250 µs für den Drehzahlregelkreis und 62,5 µs für den Stromregelkreis.

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. INT32)
- Quasi-Analogsignal oder Binärsignal
- Einheit (z. B. A, V, W)
- Messtoleranz (z. B. in LSB)

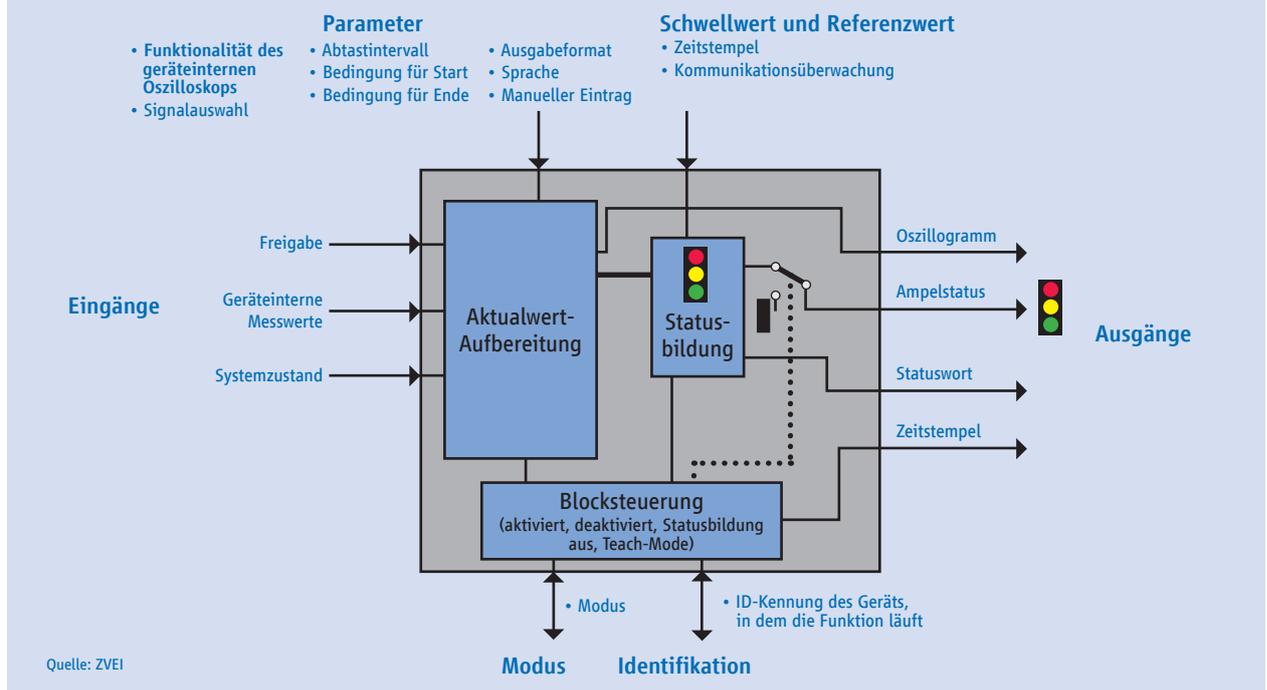
Jeder Abtastwert eines Oszilloskop-Signals besteht aus

- Vorzeichen (im Verbraucherzählpeilsystem, nicht bei Binärsignalen)
- Zahlenwert (Vor- und Nachkommastellen entsprechend dem Datentyp)
- Abtastzeitpunkt auf Basis der festgelegten Systemzeit (Echtzeit oder 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 bzw. gewünschter Informationen, der Definition von spezifischen Triggerbedingungen sowie dem zeitlich korrekten Übereinanderlegen von Informationen aus unterschiedlichen Teilsystemen.

Im laufenden Betrieb kann das Oszilloskop dazu genutzt werden, eine Prozesssignatur eines Antriebs, einer Maschine oder einer Anlage zu erstellen und diese online zu bewerten. Bei Abweichungen kann die Anlagensteuerung oder der Bediener vor Auftreten eines Fehlers in den Produktionsprozess eingreifen, um einen sicheren Betrieb aufrechtzuerhalten, Stillstand zu vermeiden und größeren Schaden zu verhindern.

**Abb. 25: Blockschaltbild der Oszilloskop-Industrie-4.0-Funktion**



**Beschreibung der Funktion:**

- Ausgabe geräteinterner Signale, die der Anwender vorher ausgewählt hat
- Die geräteinternen Signale werden so aufbereitet, dass sie am Ausgang in einer herstellerunabhängigen Form vorliegen
- Die Signale bestehen aus Abtastwert, Zeitstempel (Systemzeit) und Einheit
- Die Signale können als fertiges Oszillogramm (nach Beendigung der Aufzeichnung) oder kontinuierlich (als zyklischer Datenstrom) oder auf Anfrage (im Handshake-Verfahren) zur Verfügung gestellt werden.

Die Funktion kann in jedem Systemzustand der Maschine/Anlage aufgerufen werden.

**Schnittstellenbeschreibung:**

Zusätzlich zu den Standardschnittstellen (siehe Kapitel 6.2.1) verwendet die Funktion Oszilloskop folgende Schnittstellen:

<b>Freigabe (Eingang)</b>	➔ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Systemzustand (Eingang)</b>	➔ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Geräteinterne Messwerte (Eingang)</b>	An diesem Funktionseingang erfolgt das Einlesen der über das Parameterinterface festgelegten Signale (Echtzeitsignale und Nichtechtzeitsignale, jeweils mit Wert, Einheit und Abtastzeitpunkt)
<b>Funktionalität des geräteinternen Oszilloskops (Parameter)</b>	Über den Parameterkanal kann das Gerät dem Industrie-4.0-Oszilloskop mitteilen, welche Messwerte es in welcher Qualität zur Verfügung stellt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl der Kanäle, die gleichzeitig aufgezeichnet werden können</li> <li>• Größe des Speicherbereichs (gesamt)</li> <li>• Minimale Abtastrate</li> <li>• Zeitbezug und interne Auflösung</li> <li>• Liste der Prozesssignale (Echtzeitsignale) mit Datentyp, Normierung und Einheit</li> <li>• Liste der Parameter (als NRT-Signale) mit Datentyp, Normierung und Einheit</li> <li>• Liste der Triggersignale (falls abweichend von den Prozesssignalen)</li> </ul>

<b>Signalauswahl (Parameter)</b>	Bestimmt die Eingangsdaten, die in der Funktion verarbeitet werden (als Basis für die Messwertaufzeichnung im Antriebsregler)
<b>Abtastintervall (Parameter)</b>	Bestimmt die Zykluszeit für die Eingangsdaten (als Basis für die Messwertaufzeichnung im Antriebsregler)
<b>Bedingung für Start (Parameter)</b>	Legt den Beginn der Aufzeichnung innerhalb der Oszilloskop-Funktion fest: <ul style="list-style-type: none"> <li>• über den Freigabe-Eingang</li> <li>• Zeitpunkt auf Basis der Systemzeit</li> <li>• Triggersignal(e) mit Verknüpfung, Referenzwert, Flanke und Vorlaufzeit</li> </ul>
<b>Bedingung für Ende (Parameter)</b>	Bestimmt das Beenden der Aufzeichnung für die Oszilloskop-Funktion: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatisch (keine Freigabe mehr)</li> <li>• Zeitpunkt auf Basis der Systemzeit</li> <li>• Triggersignal(e) mit Verknüpfung, Referenzwert, Flanke und Nachlaufzeit</li> <li>• Datenmenge X erreicht</li> <li>• Messwertanzahl Y erreicht</li> </ul>
<b>Ausgabeformat (Parameter)</b>	Die Ausgabe des Oszillogramms kann erfolgen als <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datei (Datenmatrix)</li> <li>• zyklischer Datenstrom</li> <li>• azyklisch im Handshake-Verfahren</li> </ul>
<b>Sprache (Parameter)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Manueller Eintrag (Parameter)</b>	• Dem Oszillogramm einen manuellen Eintrag als Signalverlauf hinzufügen, falls der Modus „Manuell“ implementiert ist.
<b>Kommunikationsüberwachung (Schwellwert)</b>	• Überwachung von Eingangssignalen, Parametrierkanal und Ausgabedaten. Zum Beispiel das Festlegen von Rückgabeformaten, Antwortzeiten etc.
<b>Zeitstempel (Referenzwert)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Modus</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Identifikation</b>	ID-Kennung des Geräts, in dem die Funktion läuft
<b>Oszillogramm (Ausgang)</b>	Bereitstellung des Oszillogramms, das aus den eingelesenen Signalen erstellt wurde: <ul style="list-style-type: none"> <li>• als Datei mit Signalbezeichner, Länge und Datenfolge (jeweils Wert + Einheit + Abtastzeitpunkt). In der Datei können mehrere Signalbezeichner (Kanäle) enthalten sein</li> <li>• als Abfolge von Einzeldaten, wobei jedes Datum mit Signalbezeichner, Wert + Einheit + Abtastzeitpunkt für definierte, synchronisierte Abtastintervalle ansteht</li> <li>• als Abfolge von Einzeldaten, wobei jedes Datum mit Signalbezeichner, Wert + Einheit + Abtastzeitpunkt solange ansteht, bis es abgerufen wurde</li> </ul>
<b>Statuswort (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Ampelstatus (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Fehlerstatus (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Zeitstempel (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Sprache (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1

Für die Oszilloskop-Funktion ergeben sich im Lebenszyklus einer Anlage die nachfolgend aufgeführten Wartungsstrategien (Anwendungsszenarien):

**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

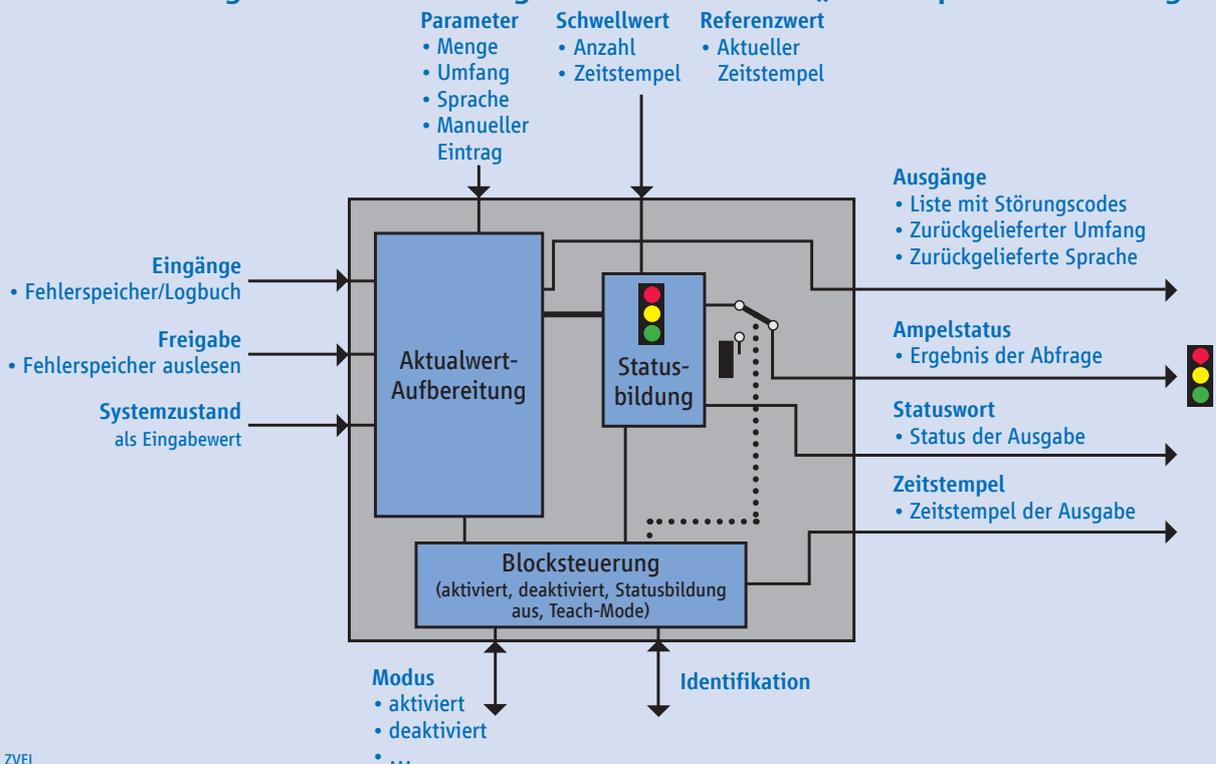
**Im Servicefall:**

- Ermitteln von Störungsursachen
- Triggern auf bestimmte Ereignisse oder Fehlerbilder
- Rückblick auf den Betrieb vor der Störung

**6.2.3 Funktion Fehlerspeicher/Warnungen**

Bei der Inbetriebnahme oder im laufenden Betrieb können Meldungen über Ereignisse oder Betriebszustände anfallen, von Hinweisen (z. B. Referenzfahrtereignisse, 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.

**Abb. 26: Darstellung der herstellerübergreifenden Funktion „Fehlerspeicher/Warnungen“**



Quelle: ZVEI

#### Beschreibung der Funktion:

- Den geräteinternen Fehlerspeicher oder das Logbuch auslesen,
- anhand der Vorgaben des Anwenders (Menge, Umfang, Sprache) die auszugebenden Einträge auswählen,
- gegebenenfalls Zeitstempel an die Systemzeit anpassen,
- die Liste in die herstellerübergreifend standardisierte Form bringen und ausgeben,
- weitere Informationen zu der Ausgabe an den Ausgängen ausgeben sowie
- den Status und Ampelstatus bilden und ausgeben.

Je nach Modus wird alternativ dem Fehlerspeicher/Logbuch ein manueller Eintrag hinzugefügt oder die Liste gelöscht.

Die Funktion kann in jedem Systemzustand aufgerufen werden.

#### Schnittstellenbeschreibung:

Zusätzlich zu den Standardschnittstellen (siehe Kapitel 6.2.1) verwendet die Funktion Fehlerspeicher/Warnungen folgende Schnittstellen:

<b>Freigabe (Eingang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Systemzustand (Eingang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Menge (Parameter)</b>	Wirkt sich auf die Länge der zurückgelieferten Liste aus; mögliche Werte: <ul style="list-style-type: none"><li>• „Letzte X Einträge auslesen“: gibt eine festgelegte Anzahl an Einträgen zurück.</li><li>• „Alle Einträge seit [Zeitstempel] auslesen“: gibt nur Einträge zurück, die nicht älter sind als bis zu einem vorgegebenen Zeitpunkt.</li></ul>
<b>Umfang (Parameter)</b>	Bestimmt, welche Arten von Einträgen zurückgeliefert werden: <ul style="list-style-type: none"><li>• „Nur Fehler“: Das ist die Standardeinstellung.</li><li>• „Fehler und Warnungen“: auch Warnungen ausgeben, die nicht zu Störungen führen – falls implementiert.</li><li>• „Fehler, Warnungen und Hinweise“: auch Hinweise ausgeben – falls implementiert.</li></ul>
<b>Sprache (Parameter)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Manueller Eintrag (Parameter)</b>	Der Liste der Meldungen einen manuellen Eintrag hinzufügen, falls der Modus „Manuell“ implementiert ist (siehe unten).
<b>Anzahl (Schwellwert)</b>	Falls Menge = „Letzte X Einträge auslesen“.
<b>Zeitstempel (Schwellwert)</b>	Falls Menge = „Alle Einträge seit [Zeitstempel] auslesen“.
<b>Zeitstempel (Referenzwert)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Fehlerspeicher/Logbuch (Eingang)</b>	Die Quelle für die auszugebenden Meldungen, eine nicht näher definierte Liste mit Zeitstempeln, Störungs-codes und gegebenenfalls weiteren Daten, die derzeit herstellere-spezifisch, mitunter nur teilweise oder gar nicht implementiert ist.
<b>Modus</b>	Je nach Modus stehen folgende Methoden zur Verfügung: <ul style="list-style-type: none"><li>⇒ „Aktiviert“: liefert Echt-daten</li><li>⇒ „Deaktiviert“: keine Aufzeichnung (z. B. um eine erwartete Häufung von Fehlern nicht unnötigerweise zu speichern)</li><li>⇒ „Manuell“: dem Fehlerspeicher/Logbuch einen manuellen Eintrag hinzufügen (siehe oben, Parameter manueller Eintrag)</li><li>⇒ „Simulation“: zu Testzwecken Liste mit künstlich generierten Einträgen ausgeben</li><li>⇒ „Reset“: Liste löschen (das kann auch anders realisiert werden als durch eine echte Löschung der Einträge, z. B. durch Markierungen oder Filter)</li></ul>

<b>Störungscode/Meldungen (Ausgang)</b>	Liste mit den gewünschten Einträgen. Jeder Eintrag besteht aus einem Zeitstempel, einer Kennung für den Typ (z. B. Fehler, Warnung, Hinweis), einem Klartext und optional einem Störungscode, der unter Bezug auf eine Norm oder herstellerspezifisch angegeben werden kann.
<b>Umfang (Ausgang)</b>	Falls die Ausgabe nicht der Vorgabe des Anwenders entspricht oder anders ausgefallen ist, zum Beispiel weil das Gerät keine Hinweise und Warnungen speichert.
<b>Statuswort (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Ampelstatus (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Fehlerstatus (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Zeitstempel (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Sprache (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1

#### Wartungsstrategien:

Für die Funktion Fehlerspeicher/Warnungen gibt es die folgende Verwendungsmöglichkeiten:

- Zustandsüberwachung im laufenden Betrieb, zum Beispiel die Detektierung von unerwarteten Ereignissen oder deren Häufung
- Im Servicefall: Rückblick auf den Betrieb vor der Störung oder Wartung

#### 6.2.4 Funktion Autotuning

Moderne Antriebstechnik führen den Nutzer unkompliziert und schnell durch die einzelnen Schritte der Inbetriebnahme oder zur Optimierung des PDS (Power-Drive-System). Die dafür notwendigen Informationen können aus einer Motordatenbank, einem elektronischen Typenschild oder auch zukünftig aus den Inhalten der Verwaltungsschale generiert werden. Die Eingabe einzelner Motorparameter wird überflüssig.

Die Erfassung, Analyse und Optimierung aller für den Antriebsstrang relevanten Informationen wird durch die Funktion Autotuning sichergestellt. Die herstellerunabhängige Vereinheitlichung der Daten und auch der Funktion Autotuning führt zur gewünschten Flexibilität, das heißt Optimierung von Komponenten unterschiedlicher Hersteller. Ziel muss es sein, aufwendige Anpassungen von Systemen oder Systemschnittstellen an herstellerspezifische Datenstrukturen zu vermeiden. Die Funktion Autotuning wird dem Maschinenbauer wie auch Anwender helfen, während der Inbetriebnahme, der Instandhaltung und auch während der Produktion Maschinen und Anlagen zu optimieren. Durch die Funktion Autotuning werden die Regler- und Vorsteuerparameter automatisch bestimmt.

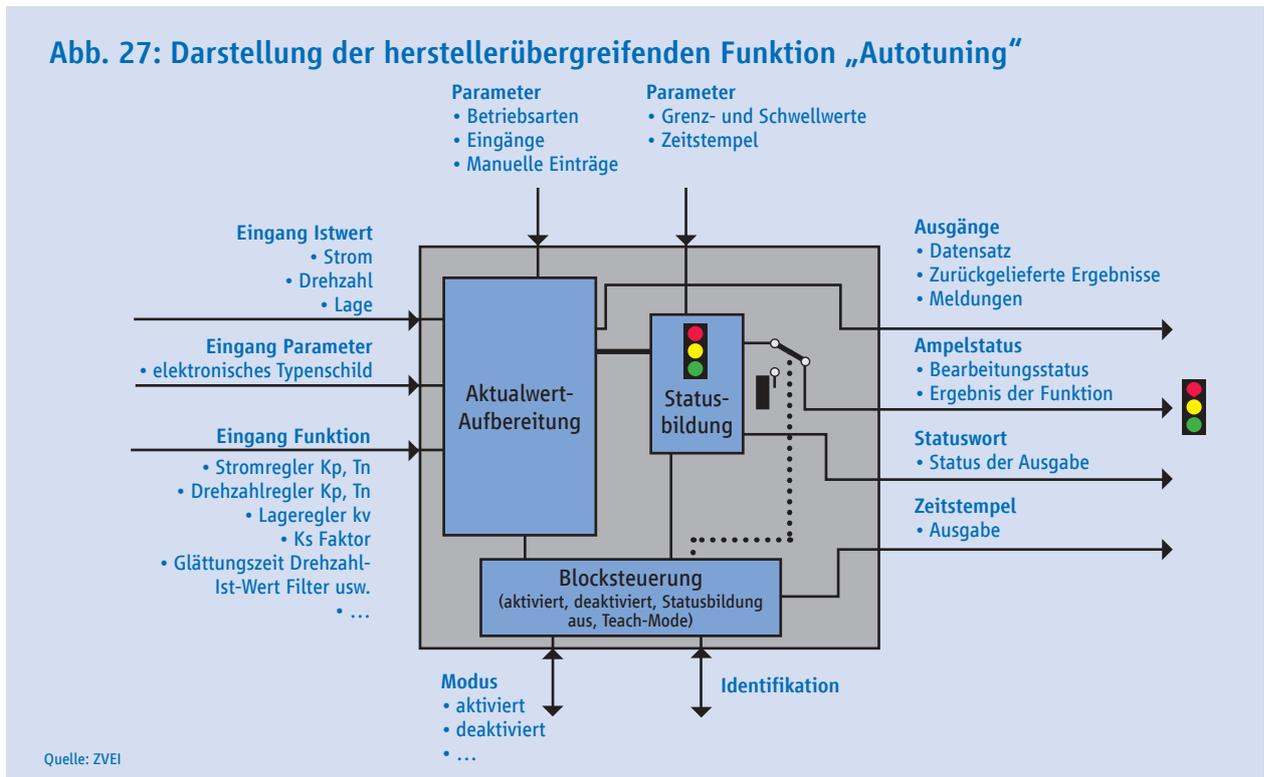
Die Funktion Autotuning kann im Antrieb oder in einer übergeordneten Intelligenz abgebildet werden. Autotuning bedeutet die Optimierung des Regelverhaltens des Antriebs durch automatischen Abgleich der physikalischen Charakteristika von Motor und Umrichter. Durch die Verfügbarkeit aller relevanten Motorparameter kann die Funktion den Motor nicht nur zum Drehen bringen, sondern bietet darüber hinaus auch die Möglichkeit zur Analyse, Diagnose und Optimierung des PDS.

Anfallende Optimierungsergebnisse, Parameterinformationen, Hinweise, Meldungen oder Warnungen werden über eine standardisierte Schnittstelle der übergeordneten Intelligenz übermittelt.

Mithilfe der Autotuning-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 Condition-Monitoring.

Die Blöcke Aktualwertaufbereitung, Blocksteuerung und Statusbildung bilden die Grundstruktur. 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 Industrie-4.0-Kommunikationswege genutzt werden.



#### Beschreibung der Funktion:

- Einlesen der spezifischen Motorparameter aus einem elektronischen Typenschild, einer Motordatenbank der Hersteller oder aus den Inhalten der Verwaltungsschale
- Anhand der Vorgaben des Anwenders (Betriebsarten, Modi, manuelle Einträge, Sprache) ist die Funktion zu definieren (z. B. Optimierung Lage-, Drehzahl- oder Stromregler)
- Gegebenenfalls muss der Zeitstempel an die Systemzeit angepasst werden (z. B. bei Mehrachssystemen)
- Die Ergebnisse sind in die herstellerübergreifende standardisierte Form zu bringen und auszugeben
- Weitere Informationen zum Ergebnis des Autotuning stehen an den Ausgängen zur weiteren Verwendung zur Verfügung
- Der Status kann über eine Ampelfunktion analog des Einheitsblatts ausgegeben werden

Je nach Modus können alternativ der Funktion Autotuning manuelle Einträge hinzugefügt oder auskommentiert werden.

Die Funktion kann nur in definierten Systemzuständen aufgerufen werden.

#### Anwendung der Funktion:

Für die Funktion Autotuning gibt es die folgenden Anwendungsmöglichkeiten:

- Automatische Optimierung von PDS oder PDS-Gruppen
- Simulation von Applikationszuständen
- Automatische Inbetriebnahme
- Service
  - Diagnosefunktion im Störfall
  - Diagnose von Subsystemen (Antriebsstrang gekoppelt mit Mechanik)

#### Schnittstellenbeschreibung:

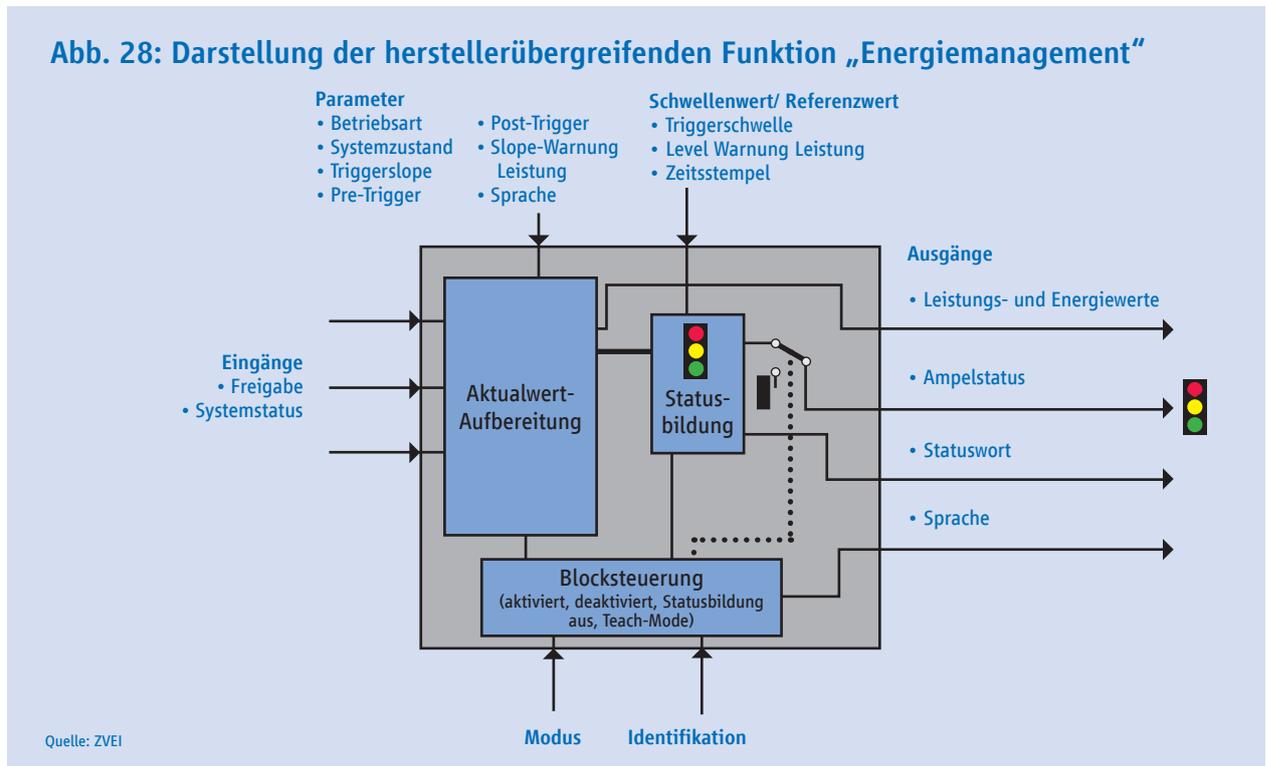
Zusätzlich zu den Standardschnittstellen (siehe Kapitel 6.2.1) verwendet die Funktion „Autotuning“ im Wesentlichen folgende Schnittstellen:

<b>Freigabe (Eingang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Systemzustand (Eingang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1, Betriebsart
<b>Betriebsart (Parameter)</b>	<p>Je nach Anforderung an die Applikation sollten nachfolgende Möglichkeiten als Betriebsarten möglich sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollautomatische Funktion</li> <li>• Teilautomatische Funktion</li> <li>• Simulation</li> </ul> <p>Die Auswahl kann durch Setzen eines Flags in der Blocksteuerung erfolgen. Das Setzen des Flags definiert den Ablauf der Funktion</p> <p>„Alle Einträge seit [Zeitstempel] oder mit Start der Funktion auslesen“: gibt nur Einträge zurück, die nicht älter sind als ein vorgegebener Zeitpunkt oder nach dem Startsignal erfasst wurden.</p>
<b>Eingänge (Parameter)</b>	<p>Es wird festgelegt, welche Arten von Einträgen zur Umsetzung der Funktion benötigt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Daten aus elektronischem Typenschild, aus Verwaltungsschale oder anderer Datenbasis</li> <li>• „Aktuelle Parameterliste“: sollte die „Default“-Standardeinstellung sein</li> <li>• Vergleich von Parameterlisten vor und nach der Ausführung der Funktion</li> <li>• „Hinweise, Fehler und Warnungen“: auch Warnungen ausgeben, die nicht zu Störungen führen – falls implementiert</li> <li>• Grenzwertinformationen</li> <li>• Oszilloskope Aufzeichnungen</li> <li>• Verlaufsanzeige: Statusanzeige während des aktuellen Laufs der Optimierung, als Option mit Erstellung eines Protokolls</li> </ul> <p><b>Status:</b></p> <p>Grün Optimierung beendet  Gelb Optimierung läuft  Rot Optimierung fehlerhaft</p>
<b>Eingänge (Istwerte)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strom</li> <li>• Spannung</li> <li>• Frequenz</li> <li>• Drehzahl</li> <li>• Temperatur</li> <li>• Lage</li> <li>• Bremsansteuerung</li> </ul> <p>Diese Werte werden ebenfalls auf Grenzwerte überwacht.</p>
<b>Eingänge (Funktion)</b>	<p>Die Autotuning-Funktion erfasst alle antriebsrelevanten Regelparameter. Diese sind im Nachfolgenden auszugsweise aufgelistet.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromregler <math>K_p</math>, <math>T_n</math></li> <li>• Drehzahlregler <math>K_p</math>, <math>T_n</math></li> <li>• Lageregler <math>k_v</math></li> <li>• Vorsteuerwerte</li> <li>• Filter-Auswahl</li> </ul> <p><b>Ergebnis</b></p> <p>Das Ergebnis der Autotuning-Funktion ist ein neuer optimierter Datensatz. Die Anzeige kann sowohl über eine Ampeldarstellung als auch detailliert über den optimierten Datensatz erfolgen.</p> <p>Eine Auswahl der Ausgabe des kompletten Datensatzes oder der geänderten Parameter sollte möglich sein.</p>

<b>Manueller Eintrag (Parameter)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl an Optionen zur Festlegung des Ablaufs der Autotuning Funktion</li> <li>• Vergabe der Zugriffsrechte</li> </ul>
<b>Logbuch/Fehlerspeicher (Eingang)</b>	Die Quelle für die auszugebenden Meldungen, eine nicht näher definierte Liste mit Zeitstempeln, Datensätzen, Fehlercodes und gegebenenfalls weiteren Daten (Schwellwertgrenzen), die derzeit herstellerepezifisch, mitunter nur teilweise oder gar nicht implementiert sind.
<b>Modus (Parameter)</b>	<p>⇒ Siehe Kap. 6.2.1 Von den dort genannten Modi sind für die Funktion relevant:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Aktiviert“: startet die Funktion und liefert Echtdaten</li> <li>• „Deaktiviert“: keine Ausführung bzw. beendet die Funktion</li> <li>• „Manuell“: Festlegung des Ablaufs der Autotuning-Funktion (Parameter manuelle Einträge) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wahl der Optimierungsläufe, (z. B. Drehzahlregler, Lageregler, Stromregler)</li> <li>• Wahl Mehrachssystem, bei Mehrachssystemen sind auch Achsverbunde zu optimieren (z. B. bei bahnbezogenen Produktionen)</li> </ul> </li> <li>• „Simulation“: reale Messwerte werden ignoriert, die Aktualwertaufbereitung erfolgt auf Basis von außen vorgegebenen oder anderweitig generierten Simulationswerten</li> <li>• „Reset“: Neustart der Funktion mit Standardparametersätzen (das kann auch anders realisiert werden als durch eine echte Löschung der Einträge, z. B. durch Aufruf der abgespeicherten Vorgänger-Parametersätze)</li> <li>• „Lernmodus“ (Eingangswerte werden zugeführt, um in einem Lernprozess Referenz- und/oder Schwellwerte zu bilden; Ampelstatus ist „keine Zustandsaussage“)</li> <li>• Statusanzeige über den momentanen Stand der Optimierung, Protokoll erstellen</li> </ul> <p><b>Status:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grün Optimierung beendet</li> <li>Gelb Optimierung läuft</li> <li>Rot Optimierung fehlerhaft</li> </ul>
<b>Störungscodes/Meldungen (Ausgang)</b>	Liste mit den gewünschten Einträgen. Jeder Eintrag besteht aus einem Zeitstempel, einer Kennung für den Typ (z. B. Fehler, Warnung, Hinweis), einem Klartext und optional einem Störungscodes, der unter Bezug auf eine Norm oder herstellerepezifisch angegeben werden kann.
<b>Ausgang (Datensatz, Parameter)</b>	Liefert die Ergebnisse als Parameter- und Datensatzlisten zurück. Ebenfalls sollten Vergleichsinformationen zur Verfügung gestellt werden können.
<b>Statuswort (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Ampelstatus (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Fehlerstatus (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Zeitstempel (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Sprache (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1

## 6.2.5 Energiemanagement

Abb. 28: Darstellung der herstellerübergreifenden Funktion „Energiemanagement“



In der Prozess- und Fertigungsindustrie spielen neben den Durchsätzen und einem zuverlässigen Betrieb auch die mit dem Verbrauch elektrischer Energie verbundenen Kosten eine zunehmende Rolle (z. B. 15-Minuten-Spitzenwert des Leistungsbezugs).

Daneben können aus den aktuellen Leistungswerten Rückschlüsse auf den Fertigungsprozess im Sinne einer Qualitätskontrolle gezogen werden: Bei immer wiederkehrenden Arbeitsabläufen bei der Fertigung gleicher Teile deutet die plötzliche oder allmähliche Abweichung des Leistungs- oder Energiebezugs auf Unstimmigkeiten hin (z. B. falsches Werkstück, andere Materialqualität, Verschleiß von Zerspanungswerkzeugen).

Jeder einem PDS zugeordnete Um-/Wechselrichter verfügt über Stromsensoren, um die maschinenseitige Strom-/Drehmomentregelung zu realisieren. Daneben wird ebenfalls die Zwischenkreisspannung überwacht, weil dies für die Erzeugung der zu stellenden Maschinenspannung im Rahmen der (Raumzeiger-)Modulation von Bedeutung ist. Aus diesen Sensordaten sowie dem Schaltzustand des maschinenseitigen Wechselrichters kann die an die Maschine abgegebene Wirkleistung bestimmt werden und damit mittelbar auch die dem DC-Zwischenkreis entnommene Leistung.

Verfügt der Umrichter über einen Dioden-Gleichrichter, kann aus der DC-Leistung neben der netzseitigen AC-Wirkleistung auch die netzseitig aufgenommene Grundsicherungsleistung 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 im Wechselrichter die vom Netz aufgenommenen elektrischen Leistungsgrößen zur Verfügung, die zusammen mit den Referenz- und Istgrößen für Drehmoment und Drehzahl der übergeordneten Steuerung übergeben werden können. Hieraus können die Verluste im Wechselrichter und im Motor und damit Wirkungsgrad und Wärmeabgabe bestimmt/abgeschätzt werden.

**Beispielhafte Nutzung der Funktion in der Fertigungsindustrie:**

Die übergeordnete Steuerung kann aus der Kombination der Größen mehrerer beispielsweise an einer Werkzeugmaschine verbauter Antriebe sowie der Daten weiterer Systeme (Heizungen, Reinigungssysteme, ...) ein Lastprofil der gesamten Werkzeugmaschine in Zusammenhang mit den durchgeführten Bearbeitungsschritten erstellen. Hierdurch sind folgende Funktionen auf der Ebene der Werkzeugmaschinensteuerung möglich:

1. Aufzeichnung der gesamten von der Werkzeugmaschine aufgenommenen Wirk- und Blindenergie in Bezug zu den durchgeführten Bearbeitungsschritten (Metering-Funktionalität)
2. Beurteilung und (Kosten-)Optimierung der aufgenommenen Energie/Spitzenleistung durch Variation der Referenzgrößen für die einzelnen Antriebe innerhalb der durch den Fertigungsprozess bestimmten Grenzen – zum Beispiel durch Monte-Carlo-Analyse (Suchen des Optimums mittels stochastisch verteilter Größen) oder andere, „intelligente“ Optimierungsverfahren wie „Particle Swarm“ oder dergleichen
3. Überwachung der angetriebenen Last hinsichtlich unerwartet hoher Drehmomente/ Kräfte bzw. mechanischer Leistungen entlang der Bewegungstrajektorie, was auf Fehler hindeutet
4. Koordination der Leistungsaufnahme zwischen Werkzeugmaschinen und damit Senkung der Spitzenlast innerhalb einer Bearbeitungseinheit, bestehend aus mehreren Werkzeugmaschinen
5. Offline-Optimierung: Minimierung der aufgenommenen Spitzenleistung (siehe Punkt 2) und damit Reduzierung der Anschlussquerschnitte durch Vorabsimulation und -optimierung des Gesamtsystems im „Digital Twin“ – hierfür Nutzung des Modus „Simulation“

**Die Funktion ist wie folgt parametrier- und nutzbar:**

Die Funktion bestimmt generell Mittelwerte über einen jeweils zu definierenden Zeitraum auf der Netzseite und auf der Motorseite (die Zeitdauer für die Mittelwertbildung kann auf beiden unterschiedlich eingestellt werden). Bei AC-Größen wird der RMS (Root Mean Square) bestimmt, bei DC-Größen der arithmetische Mittelwert.

Zusätzlich zu den Standardschnittstellen (siehe Kapitel 6.2.1) verwendet die Funktion „Energiemanagement“ folgende Schnittstellen:

<b>Freigabe (Eingang)</b>	➔ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Systemzustand (Eingang)</b>	➔ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Modus (Parameter)</b>	<p>➔ Siehe Kap. 6.2.1</p> <p>Von den dort genannten Werten sind für die Funktion relevant:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Aktiviert“: Funktion wird ausgeführt</li> <li>• „Deaktiviert“: Funktion wird nicht ausgeführt</li> <li>• „Simulation“: reale Messwerte werden ignoriert, die Aktualwertaufbereitung erfolgt auf Basis von außen vorgegebenen oder anderweitig generierten Simulationswerten</li> <li>• „Reset“: alle internen Daten wie Zwischenwerte und erlernte Referenz- und Schwellwerte werden zurückgesetzt</li> </ul>

<b>Betriebsart (Parameter)</b>	<p>Über die Betriebsart kann die Art der Bereitstellung der Energie- und Leistungsdaten beeinflusst werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Deaktiviert“: keine Ermittlung/Aufzeichnung von Leistungs- und Energiedaten</li> <li>• „Streaming“: Leistungs- und Energiedaten werden laufend ohne gesonderte Aufforderung geliefert (entsprechend der zur Verfügung stehenden Bandbreite für die Datenübertragung)</li> <li>• „Polling“: Leistungs- und Energiedaten werden auf Anfrage übermittelt</li> <li>• „Start“: Start der Datenerfassung bzw. Aufzeichnung</li> <li>• „Stop“: Stop der Datenerfassung bzw. Aufzeichnung</li> <li>• „Reset“: alle Energiemengenwerte werden auf null gesetzt</li> <li>• „Trigger“: Warten auf vordefiniertes Triggerereignis und dann Beginn der Aufzeichnung entsprechend der Parameterierung der Triggerfunktion; die Daten werden nach Ablauf des Post-Triggers automatisch übertragen</li> </ul>
<b>Dauer Mittelung Netzseite (Parameter)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dauer der Mittelwertbildung auf der Netzseite in s, Default: 10 Netzperioden</li> </ul>
<b>Dauer Mittelung Maschinenseite (Parameter)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dauer der Mittelwertbildung auf der Maschinenseite in s, Default: 10 Netzperioden</li> </ul>
<b>Triggerschwelle (Schwellwert)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Schwellwert in W“: Wert der Wirkleistung, die unter- oder überschritten werden muss, um den Trigger auszulösen</li> </ul>
<b>Triggerslope (Parameter)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Steigend“ oder „fallend“: Trigger wird ausgelöst bei Leistung oberhalb oder unterhalb der Triggerschwelle</li> </ul>
<b>Pre-Trigger (Parameter)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Pre-Trigger“: Zeit in s, die vor dem Triggerereignis aufgezeichnet werden soll</li> </ul>
<b>Post-Trigger (Parameter)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Post-Trigger“: Zeit in s, die nach dem Triggerereignis aufgezeichnet werden soll</li> </ul>
<b>Leistungs- und Energiewerte (Ausgänge)</b>	<p>Mit den Leistungs- und Energiewerten werden die ermittelten Leistungs- und Energiewerte entsprechend der gewählten Betriebsart ausgegeben (jeweils mit einem Zeitstempel versehen):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „<math>P_{\text{Netz}}</math>“: aufgenommene Wirkleistung vom Netz in W</li> <li>• „<math>Q_{\text{Netz}}</math>“: aufgenommene Blindleistung vom Netz in Var</li> <li>• „<math>S_{\text{Netz}}</math>“: aufgenommene Scheinleistung vom Netz in VA</li> <li>• „<math>P_{\text{Netz,peak}}</math>“: aufgenommene Spitzen-Wirkleistung in W</li> <li>• „Leistungsfaktor“: Verhältnis von aufgenommener Wirk- zu Scheinleistung</li> <li>• „<math>P_{\text{Motor}}</math>“: abgegebene Wirkleistung des Motors in W</li> <li>• „<math>E_{\text{Netz}}</math>“: aufgenommene Wirkarbeit vom Netz in Ws</li> <li>• „<math>Q_{\text{Netz}}</math>“: aufgenommene Blindleistung vom Netz in Var</li> <li>• „<math>S_{\text{Netz}}</math>“: aufgenommene Scheinleistung vom Netz in VA</li> <li>• „<math>W_{\text{W,Netz}}</math>“: aufgenommene Wirkarbeit vom Netz in Ws</li> <li>• „<math>W_{\text{Q,Netz}}</math>“: aufgenommene Blindarbeit vom Netz in VAs</li> <li>• „<math>W_{\text{S,Netz}}</math>“: aufgenommene Scheinarbeit vom Netz in VAs</li> <li>• „<math>U_{\text{LN}}</math>“: Leiter-Neural-Spannung (nur bei einphasigen Geräten)</li> <li>• „<math>U_{\text{L1L2}}</math>“: Leiter-Leiter-Spannung L1-L2 in V</li> <li>• „<math>U_{\text{L2L3}}</math>“: Leiter-Leiter-Spannung L2-L3 in V</li> <li>• „<math>U_{\text{L3L1}}</math>“: Leiter-Leiter-Spannung L3-L1 in V</li> <li>• „<math>k_{\text{u}}</math>“: Unsymmetriefaktor der Netzspannung (Leiter-Leiter-Spannung) als Verhältnis Gegensystem/Mitsystem der Grundschwingung</li> <li>• „THDu“: Total harmonic distortion der netzseitigen Spannung (Mittelwert der drei Leiter-Leiter-Spannungen bei dreiphasigen Geräten oder Leiter-Neutral-Spannung bei einphasigen Geräten) bis 2 kHz</li> <li>• „THDi“: Total harmonic distortion des aufgenommenen Stromes vom Netz bis 2 kHz (bei dreiphasigen Geräten: Mittelwert aller drei Phasenströme)</li> </ul>

<b>Level Warnung Leistung (Schwellwert)</b>	Mithilfe der Warnung können Grenzen für Leistungswerte angegeben werden, bei deren Überschreitung oder Unterschreitung eine Warnung ausgelöst wird. Die Funktion arbeitet unabhängig von der sonstigen Übermittlung von Leistungswerten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• „P<sub>warnung</sub>“: Schwellwert für die Auslösung der Warnung in W</li> </ul>
<b>Slope Warnung Leistung (Parameter)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Steigend“ oder „fallend“: Warnung wird ausgelöst bei Überschreitung oder Unterschreitung des Warnwerts</li> </ul>
<b>Statuswort (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Ampelstatus (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Zeitstempel (Referenzwert)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Zeitstempel (Ausgang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Sprache (Parameter)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1

### 6.2.6 Funktion Wartungschronik

In Produktionsanlagen mit elektrischen Antriebssystemen sind Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit entscheidende Merkmale für den wirtschaftlichen Betrieb über den gesamten Lebenszyklus (TCO). Die Funktion „Wartungschronik“ fördert den wirtschaftlichen Betrieb und unterstützt Konzepte des Condition-Monitoring und Predictive Maintenance. Sie liefert dem Anwender 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 in laufenden Anlagen. Gleichzeitig bilden sie die Basis für Optimierungen im Rahmen von Produktbeobachtungen und für zukünftige Investitionsentscheidungen.

Während der Nutzungsphase eines elektrischen Antriebssystems (PDS) entstehen beim Betreiber unterschiedliche Daten mit Wartungs-, Support- und Serviceinformationen, die für alle Teilnehmer in der Wertschöpfungskette interessant sind. Diese Daten werden voll- oder teilautomatisiert erfasst und chronologisch in der Verwaltungsschale der Industrie 4.0-Komponenten abgelegt.

Die Funktion „Wartungschronik“ ist typischerweise in der Funktionsschicht einer Maschine implementiert. Die elektrischen Antriebe (Assets) liefern Daten, die in der Integrationsschicht mit anderen Daten aus der Informationsschicht kombiniert und dann über die Kommunikationsschicht transportiert werden. Die Ausführung der Funktion generiert chronologische Informationen zu Wartungs-, Support- und Serviceaktivitäten, die vom Nutzer unterschiedlich verarbeitet oder gefiltert werden können.

#### Eigenschaften und Anwendung der Funktion:

Die Funktion „Wartungschronik“ ist instanzbezogen angelegt und wird in Form eines intelligenten Logbuchs über den gesamten Einsatzzeitraum der Instanz fortgeschrieben. Dadurch wird eine kontinuierliche und lückenlose Dokumentation der Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus gewährleistet.

Hersteller- und Betreibervorgaben, relevante Ein- und Ausgänge sowie aufbereitete Werte und Statusinformationen werden mit Zeit- und Nutzungsdaten verarbeitet und daraus Wartungsempfehlungen oder -anweisungen abgeleitet.

Die Wartungsaktivitäten werden automatisch erfasst oder manuell bestätigt und in einer Chronik mit Zeitstempel dokumentiert. Die Datensätze werden durch manuelle Pflege der Einträge ergänzt, zum Beispiel bei ungeplantem Teilaustausch.

Die Chronik kann komplett oder gefiltert dargestellt werden und über verschiedene Schnittstellen zur Weiterverarbeitung ausgegeben werden.

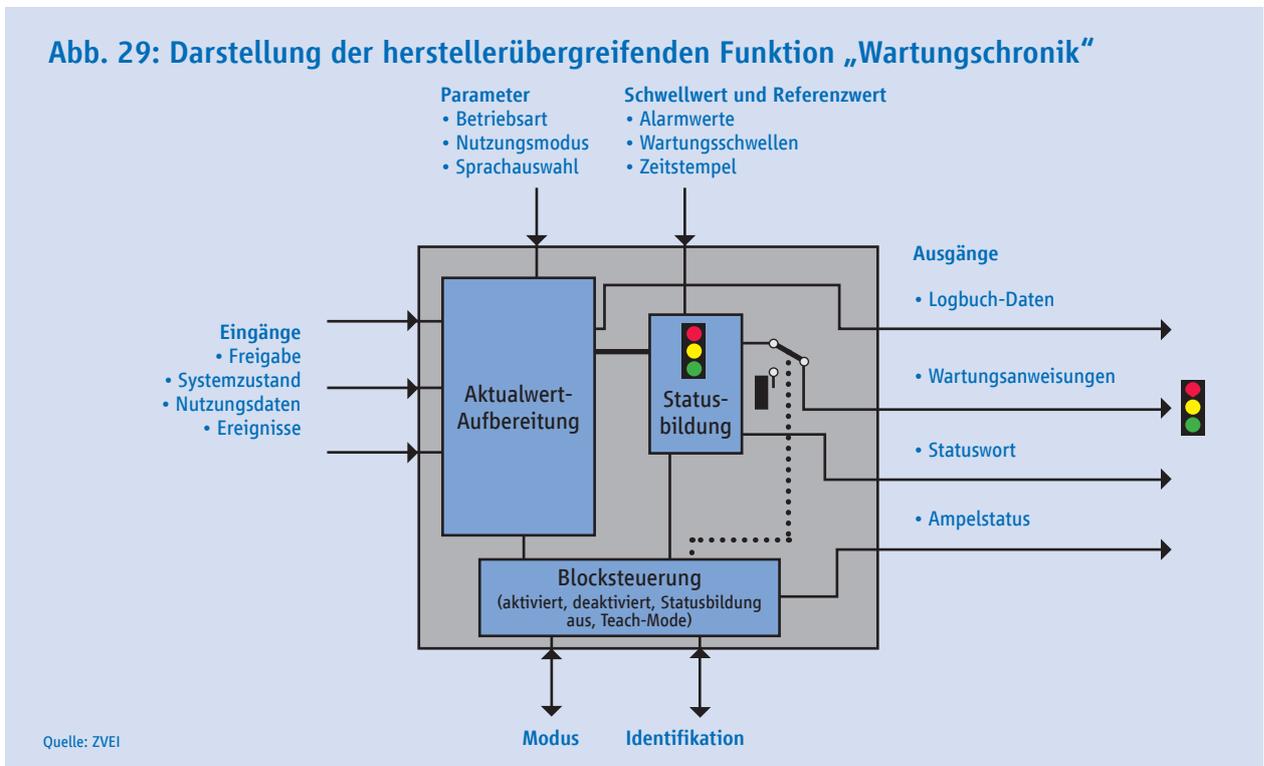
Alle Informationen werden in einer Datenbank archiviert und für weitere Nutzung bereitgehalten. Die Funktion beinhaltet ein parametrierbares Berechtigungskonzept für die einzelnen Instanzen. Dort können Berechtigungen für Dateneinsicht (nur lesen), Datenverarbeitung sowie die manuelle Datenpflege spezifisch autorisiert werden.

**Anwendernutzen der Funktion**

Entscheidende Synergien und Effizienzsteigerungen ergeben sich durch die Interaktion von Asset-Layer, Information-Layer und Functional-Layer (Begriffsdefinition siehe RAMI 4.0). Die automatisierte Kombination von bereichsübergreifenden und instanzbezogenen Informationen ermöglicht beträchtliche Synergien und Qualitätssteigerungen in der Bereitstellung und Pflege von Wartungsaktivitäten und -aufwänden.

- Datenbereitstellung für Kostenbewertungen von Anlagen und Produktionseinheiten
- Automatisierte Zuordnung von Wartungsaktivitäten und den damit verbunden Kosten
- Kontaktdaten sind aktuell und vollständig in allen Instanzen und Layern verfügbar
- Zuständigkeiten sind transparent und können automatisiert kontaktiert werden
- Zeitersparnis beim Pflegen und Auffinden von Zuständigkeiten

**Abb. 29: Darstellung der herstellerübergreifenden Funktion „Wartungschronik“**



Quelle: ZVEI

Zusätzlich zu den Standardschnittstellen (siehe Kapitel 6.2.1) verwendet die Funktion „Wartungschronik“ im Wesentlichen folgende Schnittstellen:

<b>Freigabe (Eingang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1
<b>Systemzustand (Eingang)</b>	⇒ Siehe Kap. 6.2.1

<b>Betriebsart (Parameter)</b>	<p>Der individuelle Betrieb der Funktion „Wartungschronik“ wird durch spezifische Nutzer-Einstellungen ermöglicht.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Signalauswahl definiert die relevanten Werte und Größen für die Datenbank</li> <li>• Ausgabeformat <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datei/Datenmatrix mit Header und Daten oder</li> <li>• zyklisch automatisierte Ausgabe oder</li> <li>• ereignisbezogen oder</li> <li>• manuell (azyklisch)</li> </ul> </li> <li>• Wartungsparameter <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorgaben Hersteller, zum Beispiel zyklisch nach zwölf Monaten</li> <li>• Vorgaben Betreiber, zum Beispiel nach 1.000 Betriebsstunden oder -zyklen</li> <li>• Gesetze/Richtlinien, zum Beispiel Gebrauchsdauer 20 Jahre</li> <li>• Empfehlungen, zum Beispiel messgrößenbezogene Schwellwerte erreicht (Anomalien)</li> </ul> </li> <li>• Instanzbezogene Berechtigungen <ul style="list-style-type: none"> <li>• für Dateneinsicht und -verarbeitung</li> <li>• für manuelle Datenpflege</li> </ul> </li> </ul>
<b>Schwellwerte (Parameter)</b>	<p>Die Funktion kann auf verschiedene Schwellwerte der Instanz parametrisiert werden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alarmwerte <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitbezogenes Intervall erreicht</li> <li>• Nutzungsbezogenes Intervall erreicht</li> <li>• Messgrößenbezogenes Intervall erreicht</li> </ul> </li> <li>• Kommunikationsüberwachung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parameterkanal</li> <li>• Eingangssignale/-kommunikation</li> <li>• Ausgangssignale/-kommunikation</li> </ul> </li> </ul>
<b>Nutzungsdaten (Eingang)</b>	<p>Die Eingangsdaten zum Betrieb der Instanz werden in verschiedenen Funktionsalgorithmen genutzt und verarbeitet.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellerspezifikation Der Algorithmus der Funktion verarbeitet typbezogene Parameter des Komponentenherstellers mit aktuellen Betriebs- und Nutzungsdaten.</li> <li>• Betreiberspezifikation Der Algorithmus der Funktion verarbeitet instanzbezogene Festlegungen des Betreibers mit aktuellen Betriebs- und Nutzungsdaten.</li> </ul>
<b>Ereignisse (Eingang)</b>	<p>Die Funktion „Wartungschronik“ erfasst automatisiert Ereignisse und erstellt daraus ein Logbuch über den gesamten Lebenszyklus. Wartungsaktivitäten werden teilautomatisiert oder manuell ergänzt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Logbuch (automatisiert) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einträge zu Fehlern</li> <li>• Einträge zu Warnungen und Alarmen</li> <li>• Einträge zu Ereignissen, Meldungen, Informationen und Hinweisen</li> </ul> </li> <li>• Wartungsaktivitäten (manuell/teilautomatisiert) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einträge zu Kontrollen/Überprüfungen</li> <li>• Einträge zu Reinigungen/Inspektionsarbeiten</li> <li>• Einträge zur Fehlerbehebung</li> <li>• Einträge zum Austausch von Komponenten</li> <li>• Einträge zur Änderung in der Parametrierung (SW)</li> <li>• Einträge zu Änderungen an Konfiguration/ Einstellungen (HW)</li> </ul> </li> </ul>

<b>Zeitstempel – Referenzzeit (Eingang)</b>	<p>➔ Siehe Kap. 6.2.1</p> <p>Der einheitliche und durchgängige Zeitbezug ist von entscheidender Bedeutung für alle Funktionen, die untereinander Daten austauschen.</p>
<b>Sprachauswahl (Parameter)</b>	<p>Die Funktion kann mit einer Sprachumschaltung ausgestattet werden. Dadurch können die Datensätze unterschiedlicher Nutzer in der jeweils eigenen Sprache gelesen oder bearbeitet werden. Die Sprachdarstellung kann standort- oder nutzerbezogen eingerichtet werden.</p>
<b>Modus (Parameter)</b>	<p>➔ Siehe Kap. 6.2.1</p> <p>Folgende Modi sind für die Funktion „Wartungschronik“ relevant:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktiviert</li> <li>• Deaktiviert</li> <li>• Manuell</li> <li>• Simulation</li> <li>• Statusbildung EIN/AUS</li> <li>• Lernmodus</li> </ul>
<b>Aktueller Zeitstempel (Ausgang)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatisch zugeordneter Zeitstempel <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Siehe Kap. 6.2.1</li> </ul> <p>Bei systematisch erzeugten Einträgen wird der Zeitstempel automatisch aus der Referenzzeit generiert und zugeordnet.</p> <p>Der Zeitstempel beinhaltet immer Jahr, Monat, Tag und Stunde. Spezifisch kann die Auflösung um Minuten und Sekunden ergänzt werden.</p> </li> <li>• Manuell zugeordneter Zeitstempel <p>Die manuelle Pflege der Datensätze mit Zuordnung von Datum und Uhrzeit ermöglicht die Vervollständigung der Einträge mit Ereignissen, die nicht automatisiert erfasst werden, zum Beispiel bei ungeplantem Teileaustausch im ausgeschalteten Zustand.</p> </li> </ul>
<b>Statuswort (Ausgang)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statusanzeige ➔ Siehe Kap. 6.2.1 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gültig</li> <li>• Nicht gültig</li> <li>• Fehlerhaft</li> <li>• Bereit</li> <li>• Parameterübertragung aktiv</li> <li>• Datenübertragung aktiv</li> </ul> </li> <li>• Fehleranzeige <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parameterfehler</li> <li>• Laufzeitfehler</li> <li>• Rückgabefehler</li> </ul> </li> </ul>
<b>Ampelstatus (Ausgang)</b>	<p>➔ Siehe Kap. 6.2.1</p> <p>Der Ampelstatus gibt Auskunft über die Qualität und die Vollständigkeit der Chronikdaten. Er signalisiert das Ergebnis der Abfrage bzw. des Funktionsaufrufs in den drei Farben GRÜN, GELB und ROT.</p>
<b>Betriebsdaten (Ausgang)</b>	<p>Die Datenbank der Funktion wird in verschiedenen Strukturen und Formaten ausgegeben.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datei <p>Standardisierte, herstellerübergreifende Ausgabe der funktionspezifisch generierten Datei / Datenmatrix im spezifizierten Ausgabeformat mit Header und Datensatz</p> </li> <li>• Datenstrom <p>Ausgabe von funktionspezifisch generiertem Datenstrom/Datenpaketen, zum Beispiel als Eingang für andere Funktionen oder Simulationsmodelle</p> </li> <li>• Generische Daten <p>Ausgabe/Abwurf von funktionspezifisch generierten Daten im Handshakeverfahren</p> </li> </ul>

# 7. Anwendung

## 7.1. Demonstrator

### 7.1.1. Zielsetzung

Um das Zusammenwirken zwischen Antrieben verschiedener Hersteller zu überprüfen und die Weiterentwicklung der Daten- und Infomodelle zu forcieren sowie zu testen, wird ein Demonstrator aufgebaut. Mit dem Demonstrator werden folgende Zielrichtungen verfolgt:

- Test der erstellten Datenstrukturen und Infomodelle
- Aufzeigen der Kooperationsfähigkeit von elektrischen Antrieben als Industrie 4.0-Komponente
- Demonstration von zusätzlichen Funktionen, die durch Industrie-4.0-Antriebe ermöglicht werden; hier zunächst die Funktion eines Oszilloskops

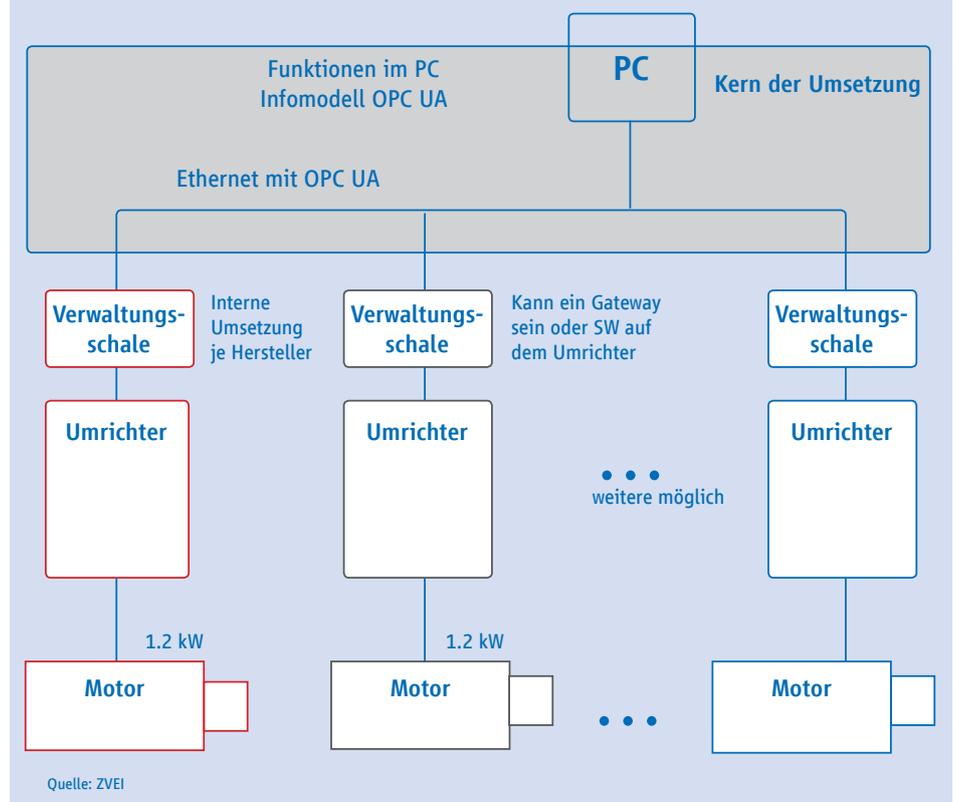
Des Weiteren soll der Demonstrator auf Messen (SPS IPC Drives, Hannover Messe) ausgestellt werden, um die Funktionalität von Industrie-4.0-Antrieben „greifbar“ zu machen.

In einem späteren Stadium kann der Demonstrator zu einem Testsystem erweitert werden, mit dem weitere Industrie-4.0-Funktionalitäten erprobt werden.

### 7.1.2. Beschreibung

Der Demonstrator enthält Antriebssysteme/Servoantriebe von zehn Herstellern jeweils mit einer Bemessungsleistung von ca. 1 kW. Die Antriebe sind über Ethernet mit einem OPC/UA-Client verbunden, der über einen Monitor die von Antrieben übermittelten Informationen anzeigt. Die Ethernet-Verbindungen sind dabei jederzeit trenn- und verbindbar und die Kommunikation wird jeweils selbsttätig aufgenommen.

Abb. 30: Überblick Aufbau Demonstrator



#### Elektrischer Aufbau:

Die Antriebe werden verdrahtet und gemeinsam über zwei NOT-AUS-Schalter sowie Schutz-einrichtungen (LS) sowie einen Trenntrafo oder EMV-Filter zur Vermeidung von RCD-Auslösungen an das 400-V-Netz angeschlossen (16-A-CEE-Stecker). Antriebe mit einphasigem Eingang (230 V) werden zwischen einem Außenleiter (abwechselnd) und Neutralleiter angeschlossen. Für die Antriebe ist ein Hauptschalter vorgesehen.

Die Stromversorgung der IT wird über einen getrennten Schalter voreilend zugeschaltet. Erst nach Aktivierung der Stromversorgung der IT ist die Zuschaltung der Stromversorgung der Antriebe möglich.

Aus Sicherheitsgründen starten die Antriebe den Betrieb erst nach der externen Aktivierung eines potenzialfreien Eingangs, der durch einen externen Freigabe-Schalter betätigt wird. Die Antriebe fahren selbsttätig nach externer Freigabe ein vorgegebenes und fest eingestelltes Drehzahl-Zeit-Profil ab.

#### Mechanischer Aufbau:

Die Antriebe werden auf einem Versuchsträger (Leichtbauprofile) montiert und jeweils mit einer Schwungscheibe ausgerüstet sowie einer manuell betätigten Bremse, um Belastungssituationen nachstellen zu können.

Jeder der Antriebe der beteiligten Hersteller ist auf einer Platte von 250 mm x 1.000 mm montiert. Alle Antriebe werden durch Adapter so montiert, dass deren Achsen auf gleicher Höhe sind und die Schwungscheiben in axialer Richtung ausgerichtet sind (radial und axial fluchtende Schwungscheiben).

Zur Vermeidung von Unfällen (Einziehen von Kleidungsstücken oder Körperteilen) sind die rotierenden Teile der Antriebe unter einer transparenten Abdeckung (z. B. Polycarbonat) untergebracht.

**Abb. 31: Skizze zum Aufbau des Demonstrators**



Quelle: ZVEI

## 7.2. OPC-UA-Modell

### 7.2.1 Zielsetzung

Kernstück des Demonstrators aus softwaretechnischer Sicht sind Verwaltungsschalen, die auf der vorhandenen Hardware und Software der bereitgestellten Antriebssysteme aufbauen und typische Industrie-4.0-Funktionen wie ein elektronisches Typenschild sowie das weiter vorn detaillierter beschriebene Industrie-4.0-Oszilloskop anbieten. Die entsprechenden Datenstrukturen und Software-Schnittstellen werden von den beteiligten Unternehmen im AK Industrie 4.0 Elektrische Antriebe in verschiedenen Ausbaustufen untereinander abgestimmt. Für die möglichst weitgehend plattformunabhängige Implementierung der Verwaltungsschalen wurde im AK der Standard OPC UA ausgewählt. Er unterstützt den Austausch von Daten verschiedener Geräte sowie deren Aufbereitung und Aggregation für übergeordnete Ebenen der Produktionssteuerung (MES, ERP, ...) unabhängig von den zur Verfügung stehenden Kommunikationsprotokollen (TCP, HTTP, SOAP). Dabei kommen sowohl Konzepte der ereignisgesteuerten als auch der prozeduralen Programmierung zum Einsatz.

### 7.2.2. Beschreibung des HW-/SW-Aufbaus

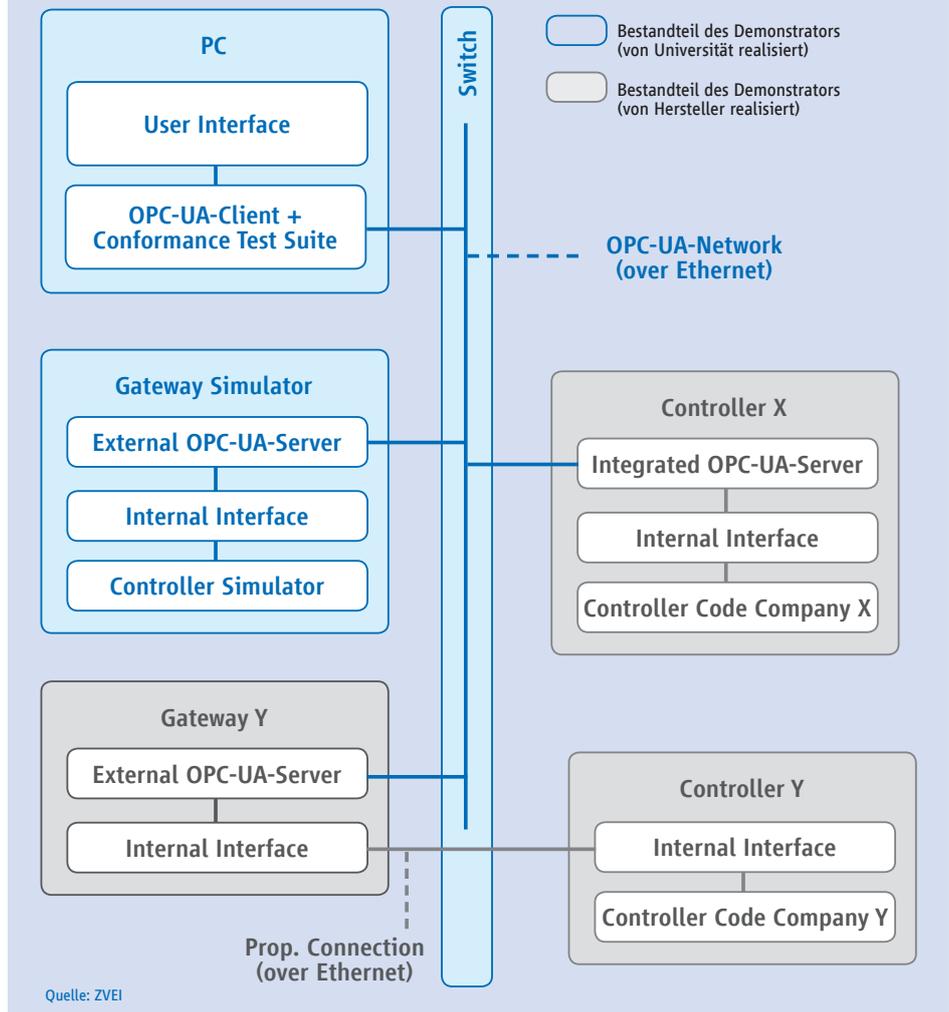
Über Ethernet und einen Switch sind alle auf dem Demonstrator montierten Antriebe mit einem PC verbunden, auf dem die übermittelten Daten der Antriebe angezeigt werden können sowie die Abfrage von Betriebsdaten (z. B. Oszilloskop) initiiert werden kann. Auf diesem PC ist ein OPC-UA-Client realisiert, der den Datenaustausch mit den OPC-UA-Servern (Verwaltungsschalen) auf den verschiedenen Antriebssystemen ermöglicht.

Für die Implementierung des vorgegebenen OPC-UA-Infomodells in Form eines OPC-UA-Servers auf den Antrieben gibt es zwei Varianten: Sie kann – abhängig von den vorhandenen Ressourcen für Speicher und Rechenleistung – entweder direkt auf dem vorhandenen Controller des Servo-Reglers erfolgen oder auf einer zusätzlichen Rechner-Plattform (Gateway). Falls Hersteller eine externe Rechnerplattform vorsehen, dann erfolgt die Kommunikation zwischen der externen Plattform und dem Servo-Regler über ein herstellerspezifisches Protokoll. Für die Realisierung eines OPC-UA-Servers eines Industrie-4.0-Antriebs gibt es folgende Vorgaben:

1. die Spezifikation des zu unterstützenden Infomodells in verschiedenen Ausbaustufen,
2. eine Referenzimplementierung eines OPC-UA-Servers (auf einem Gateway-Simulator) und eines OPC-UA-Clients (auf dem Demonstrator-PC) sowie
3. eine Konformitätstest-Suite für die Validierung der verschiedenen herstellerspezifischen OPC-UA-Server-Implementierungen.

Dabei kommen nur Basisfunktionalitäten von OPC UA zum Einsatz, um so die Kompatibilität mit einer möglichst großen Anzahl von frei verfügbaren oder kommerziellen OPC-UA-Server-Implementierungen zu gewährleisten (z. B. wird zunächst auf die Verwendung der „Historical Data Access“-Services verzichtet).

**Abb. 32: IT-Architektur des OPC-UA-Infomodells zur Realisierung der Verwaltungsschalen**



Über die bereitgestellten Ethernet-Schnittstellen werden ausschließlich Daten des OPC-UA-Infomodells übertragen, jedoch keine Echtzeitdaten für die Sollwert-Vorgabe der Antriebe (Drehmomente, Drehzahlen etc.), die Echtzeitanforderungen im Sinne der Antriebsaufgabe erfüllen müssen.

Die bereitgestellte Referenzimplementierung eines OPC-UA-Servers simuliert einen Motor-Controller bzw. sein zugehöriges Gateway. Sie wird als Rahmenwerk bzw. Produktlinie so bereitgestellt, dass der zugehörige C-Code als Ausgangsbasis für die Implementierungen der Verwaltungsschalen auf den Motor-Controllern der verschiedenen Hersteller eingesetzt werden kann. Die Referenzimplementierung besteht aus dem eigentlichen Server mit Call-Back-Schnittstellen zum proprietären Code des jeweiligen Antriebs sowie einer einfachen Simulation eines Motors mit Umrichter und zugehöriger Steuerung. Die auf einem PC bereitgestellte Implementierung eines OPC-UA-Clients aggregiert die Daten der verschiedenen Motor-Controller und visualisiert sie teils in textueller, teils in grafischer Form. Der OPC-UA-Client enthält zudem die Test-Suite zur Konformitätsprüfung der verschiedenen OPC-UA-Server-Implementierungen.

Derzeit stehen verschiedene OPC-UA-Stacks zur Verfügung, sowohl freie Software (zum Beispiel „open62541“-OPC-UA-Implementierung des Fraunhofer IOSB oder die C-Implementierung der OPC Foundation) als auch kommerzielle Varianten (zum Beispiel die Produkte von Ascolab und Softing). Geplant ist der parallele Einsatz von verschiedenen Stacks im Demonstrator. Auf diese Weise können die Hersteller Erfahrungen mit dem Einsatz von verschiedenen Stacks sammeln und das Zusammenspiel erproben.

## 8. Ausblick

In Summe zeigt dieses White Paper erst den Anfang der Arbeiten zu einem Industrie-4.0-Antrieb. Daher widmet sich ein erster Teil des Ausblicks der konsequenten Fortführung der angefangenen Arbeiten zur elektrischen Antriebstechnik:

### Funktionen:

In einem Workshop mit Herstellern und Betreibern von Maschinen und Anlagen wurden eine ganze Reihe von nutzenbringenden Funktionen identifiziert. In dem vorliegenden White Paper sind die ersten fünf beschrieben, weitere Funktionen können nach dem vorgelegten Schema entwickelt werden.

### Konkrete Produkte:

Mit dem Demonstrator entsteht bei den Mitgliedsfirmen ein erster Eindruck, wie im Rahmen von Industrie 4.0 intelligente Feldgeräte miteinander kooperieren und arbeiten können. Einige Firmen nutzen den Demonstrator auch für die Validierung ihrer eigenen Produktentwicklung. Daher ist parallel zur Weiterentwicklung des Demonstrators auch mit ersten Produkt-Releases der einzelnen Hersteller zu rechnen.

### Informationsmodell OPC UA für Antriebe:

In Zusammenarbeit mit dem VDMA und der OPC Foundation wird ebenfalls das Informationsmodell weiterentwickelt. Ergebnisse der Arbeitskreise, die für das Informationsmodell wichtig sind, fließen in die Arbeit ein. In Summe werden gemeinsame OPC-UA-Informationsmodelle in Zusammenarbeit der Arbeitskreise aus dem VDMA, der OPC Foundation und dem ZVEI entstehen. Dazu haben sich verschiedene Arbeitskreise und deren Mitglieder verpflichtet.

### Standardisierte Semantik und Datenstrukturen:

Über eCl@ss wurden Merkmale für die Industrie-4.0-konforme elektrische Antriebstechnik standardisiert. Mit weiteren Funktionen, den Rückmeldungen aus der praktischen Umsetzung an dem Demonstrator sowie aus dem Arbeitskreis zum Informationsmodell für OPC UA werden weitere Anforderungen für standardisierte Merkmale entstehen. Der Arbeitskreis möchte hier auch weiterhin die Fachgruppe in eCl@ss unterstützen, sodass der Merkmalsatz für die elektrischen Antriebe immer weiter ausgebaut wird.

Zusätzlich zur Fortführung der Arbeiten sind auch neue Aufgaben geplant.

### Lebenszyklusabschnitt – Entwicklung:

Im Arbeitskreis werden die Daten über den kompletten Produktlebenszyklus betrachtet: vom Hersteller über den Maschinenbauer zum Maschinenbetreiber, von der ersten Idee über die Entwicklung, Produktion, Logistik bis zum Service inklusive Ende der Nutzungsdauer.

Die Konzentration bei den Funktionen lag bisher auf dem Lebenszyklusabschnitt Produktion mit Inbetriebnahme und Service. In einem weiteren Schritt sollen nun auch mehr die Funktionen im Entwicklungs- und Applikationsabschnitt betrachtet werden, um auch hier Nutzenpotenziale für die Anwender zu heben.

### Standardisierte Daten:

Weitere Produkte und Komponenten aus dem elektrischen Antriebsstrang müssen ebenfalls mit standardisierten Merkmalen versehen werden. Nach einer Priorisierung sollen weitere Komponenten folgen, wie zum Beispiel Umrichter, Kabel, Getriebe etc.

Ebenfalls müssen über eCl@ss hinaus die standardisierten Merkmale auch in die internationale Normung, zum Beispiel IEC, eingebracht werden.

### Rollen und Zugriffsrechte

Auch in der Frage, welche Personenkreise Zugriff auf Merkmale und Funktionen haben dürfen, gibt es noch Definitionsbedarf. Entsprechende Autorisierungsmechanismen werden derzeit in der ZVEI-Projektgruppe „Verwaltungsschale im Detail“ erörtert und könnten in Zukunft Einzug in die Industrie-4.0-Antriebstechnik finden.

### Fortführung Demonstrator:

Das im White Paper beschriebene Projekt zur Umsetzung eines Industrie-4.0-Antriebstechnik-Demonstrators hat einen festgelegten Funktionsumfang, um in einem Jahr die Ergebnisse präsentieren zu können. Viele Ideen und Anforderungen der Mitglieder mussten zurückgestellt werden, um diesen ersten Schritt zu ermöglichen. Daher wird bereits heute über eine Fortführung, speziell in den Softwarefunktionen, diskutiert, sodass mit Ablauf des ersten Projekts direkt auch mit einem Folgeprojekt an dem Demonstrator weiter geforscht und dieses praktisch umgesetzt werden kann.

### Fazit:

In Summe sind viele Arbeiten zu leisten, um eine Produktgruppe wie die elektrische Antriebstechnik in Richtung einer Industrie-4.0-Umsetzung weiterzuentwickeln. Dazu braucht es neben funktionierenden Verbänden und Hochschulen, die ihre Infrastruktur, Fachexpertise und Kontakte zur Verfügung stellen, engagierte Mitarbeiter in den Arbeitskreisen aus den Mitgliedsfirmen. Bei der elektrischen Antriebstechnik hat sich diese Mischung gefunden, in der eine kollegiale Zusammenarbeit bei der Umsetzung einer gemeinsamen Vision möglich ist.

Lassen Sie sich von weiteren Ergebnissen der Arbeitsgruppe überraschen.





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](mailto:zvei@zvei.org)  
[www.zvei.org](http://www.zvei.org)