

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/334469165>

# Aktive Verwaltungsschale von I4.0-Komponenten

Conference Paper · July 2019

CITATIONS

2

READS

801

2 authors:



Alexander Belyaev

18 PUBLICATIONS 27 CITATIONS

SEE PROFILE



Christian Diedrich

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

194 PUBLICATIONS 1,389 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Advanced Analytics of production data [View project](#)



Namur Open Architecture [View project](#)

# Aktive Verwaltungsschale von I4.0-Komponenten

## Erscheinungsformen von Verwaltungsschalen

M. Sc. **A. Belyaev**, OvGU, Magdeburg

Prof. Dr.-Ing. **C. Diedrich**, ifak e.V. Magdeburg

### Kurzfassung

Eine Verwaltungsschale ist eine digitale Repräsentanz eines Assets in einem I4.0-System. Die grundsätzliche Struktur und die wesentlichen Elemente der Verwaltungsschale konnten bereits identifiziert werden. Jedoch gibt es I4.0-Szenarien, die eine gewisse Autonomie und Entscheidungsfähigkeit der Interaktionspartner erfordern. Es ist auffällig, dass bisherige Strukturen der Verwaltungsschale nicht die Frage klären, an welcher Stelle eine I4.0-Komponente Entscheidungen trifft, obwohl erst diese Eigenschaft die I4.0-Komponenten autark interagieren lässt. Außerdem wurde bisher nicht besprochen, welche Entität die Interaktionen und die potentiell dafür notwendigen Entscheidungen und Regeln beheimatet.

In diesem Beitrag wird das Konzept und eine Struktur einer aktiven Verwaltungsschale vorgestellt und ihre beispielhafte Ausprägung diskutiert.

### 1. Einführung in das Konzept der Verwaltungsschale

Durch die neuartige Vernetzung zu einem Internet der Dinge, Daten und Dienste sowie umfassende Kooperation von Industrie 4.0-Komponenten („I4.0-Komponenten“) entstehen dynamische, selbstorganisierende, selbstoptimierende und unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke. Basis dafür ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in den jeweils benötigten I4.0-Komponenten. Einmal entstandene Informationen sollen da verfügbar sein, wo sie benötigt werden. Die Voraussetzung dafür ist eine hinreichende digitale Abbildung der physischen Welt in die Informationswelt und die Möglichkeit, die Informationen interoperabel auszutauschen.

Industrie 4.0 bietet dafür Konzepte an. Eine Verwaltungsschale ist eine digitale Repräsentanz eines Assets in einem I4.0-System.

Die grundsätzliche Struktur und Elemente der Verwaltungsschale konnten bereits identifiziert werden. In [1] wird die Struktur der Verwaltungsschale beschrieben. In [2] wird die ein Metamodell der Verwaltungsschale spezifiziert.

Um die Kompatibilität zwischen Verwaltungsschalen bzw. ihren Assets herzustellen, müssen sich Verwaltungsschalen über deren Inhalt interoperabel austauschen können.

Die neulich erschienene VDI/VDE-2193 Richtlinie [3], [4] beschreibt das Konzept der I4.0-Sprache für I4.0-Komponenten. Die I4.0-Sprache gilt als ein dreistufiges regelbasiertes System, das die Regeln für den Aufbau des Vokabulars, eine Nachrichtenstruktur und semantische Interaktionsprotokolle definiert.

## 2. Erscheinungsformen von Verwaltungsschalen

Wie in [5] eingeführt, können die Verwaltungsschalen in unterschiedlichen Erscheinungsformen zur Verfügung gestellt werden.

Angesichts der Rolle in der Wertschöpfungskette kann zwischen passiven und aktiven Verwaltungsschalen unterschieden werden. Dies ist nicht zu verwechseln mit einer passiven oder aktiven Kommunikationsfähigkeit von Verwaltungsschalen [1].

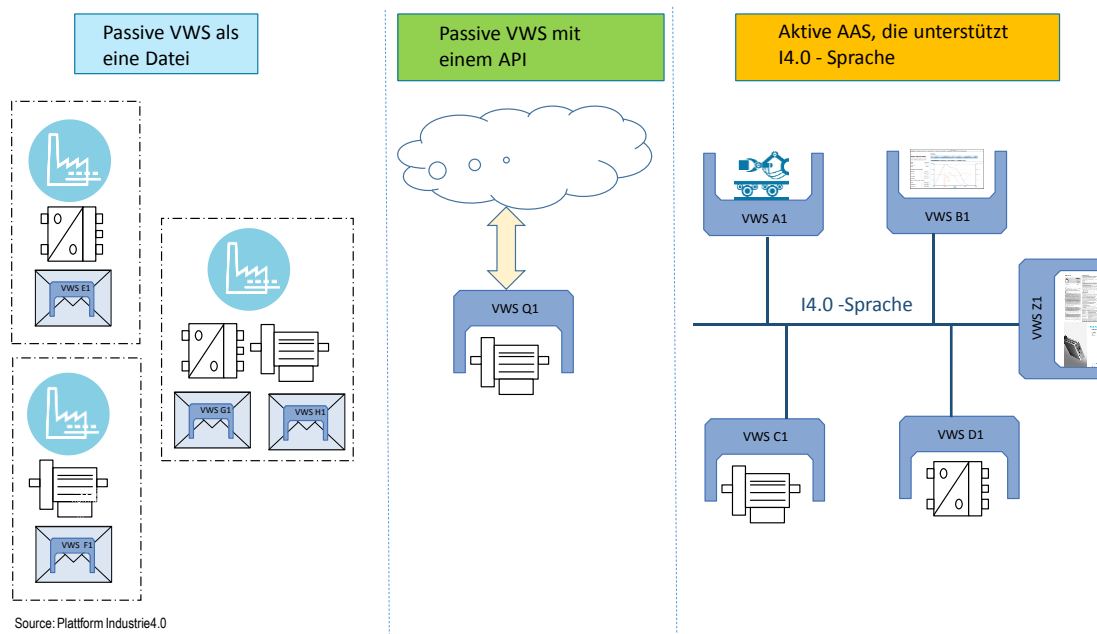


Bild 1: Erscheinungsformen von Verwaltungsschalen [5]

Eine passive Rolle nimmt eine Verwaltungsschale ein, wenn sie als Datei zwischen Partnern ausgetauscht wird. Eine Verwaltungsschale solcher Art wird dabei im XML- oder JSON-Format anhand der Spezifikation „Verwaltungsschale in Detail“ [2] beschrieben. Sie bietet somit eine standardisierte Form der Bereitstellung der zu einem Asset gehörenden Informationen und stellt damit eine neue Qualität dar, da damit lebensphasenübergreifender, standardisierter Informationsaustausch möglich wird [5]. Eine passive Rolle spielen aber auch Verwaltungsschalen die als Server in eine Client-Server-Beziehung stehen und z.B. über einen IP-basierten API-Zugang zugreifbar sind.

**Passive Verwaltungsschalen mit IP/API-basierten Zugang** sind aktive Kommunikationsteilnehmer und können ihre Inhalte den übergeordneten Softwaresystemen über eine Schnittstelle zur Verfügung stellen. Die Schnittstellengestaltung ist von der gewählten Technologie abhängig. Dafür soll demnächst eine offizielle CRUD-orientierte Spezifikation bereitgestellt werden.

Eine aktive Rolle nehmen Verwaltungsschalen ein, die über die I4.0-Sprache untereinander interagieren. Dies entspricht dem Interaktionsmuster Peer-to-Peer. Dabei nehmen sie eigenständig Kontakt zu einander auf und führen kooperative Aufgaben durch ohne übergeordnete, zentral steuernde nicht Verwaltungsschalen-basierte Anwendungen.

**Aktive Verwaltungsschalen** beinhalten zusätzlich zu den Assetinformationen Entscheidungs- und Optimierungsalgorithmen, die für das zielgerichtete autonome Verhalten von I4.0-Komponenten sorgen. Durch den Einsatz von aktiven Verwaltungsschalen können dezentral organisierte Prozesse gestaltet werden, die auf eine gewisse Autonomie oder Entscheidungsfähigkeit der Verwaltungsschalen aufbauen. Die aktiven Verwaltungsschalen können zusätzlich zu den Möglichkeiten der CRUD-orientierten Verwaltungsschale an protokollbasierten Interaktionen teilhaben, wie sie beispielsweise in der VDI/VDE 2193-Richtlinie für das Ausschreibungsverfahren definiert sind [4].

Der Unterschied zwischen passiver und aktiver VWS lässt sich durch eine Einordnung in RAMI4.0 verdeutlichen.

Die passiven dateibasierten Verwaltungsschalen enthalten eine Beschreibung von Eigenschaften, Parametern, Variablen und Fähigkeiten in Form von sogenannten Teilmodellen. Verwaltungsschalen solcher Art sind nicht kommunikationsfähig. Dementsprechend wird von solchen VWS das Communication Layer vom RAMI 4.0 nicht unterstützt.

Die passiven Verwaltungsschalen mit einer API haben prinzipiell den gleichen Informationsinhalt wie die dateibasierten Verwaltungsschalen. Der Unterschied besteht darin, dass die Teilmodelle über eine Schnittstelle von anderen Kommunikationsteilnehmern gelesen und geändert werden können. Der passive Aspekt einer solchen Art von VWS bedeutet die Fähigkeit, auf externe Anfragen und Befehle zu reagieren. Solche Verwaltungsschalen können die Initiative zum Anstoßen von Aktionen in einer Wertschöpfungskette nicht ergreifen und keine Entscheidungen zur Erreichung der eigenen Ziele treffen.

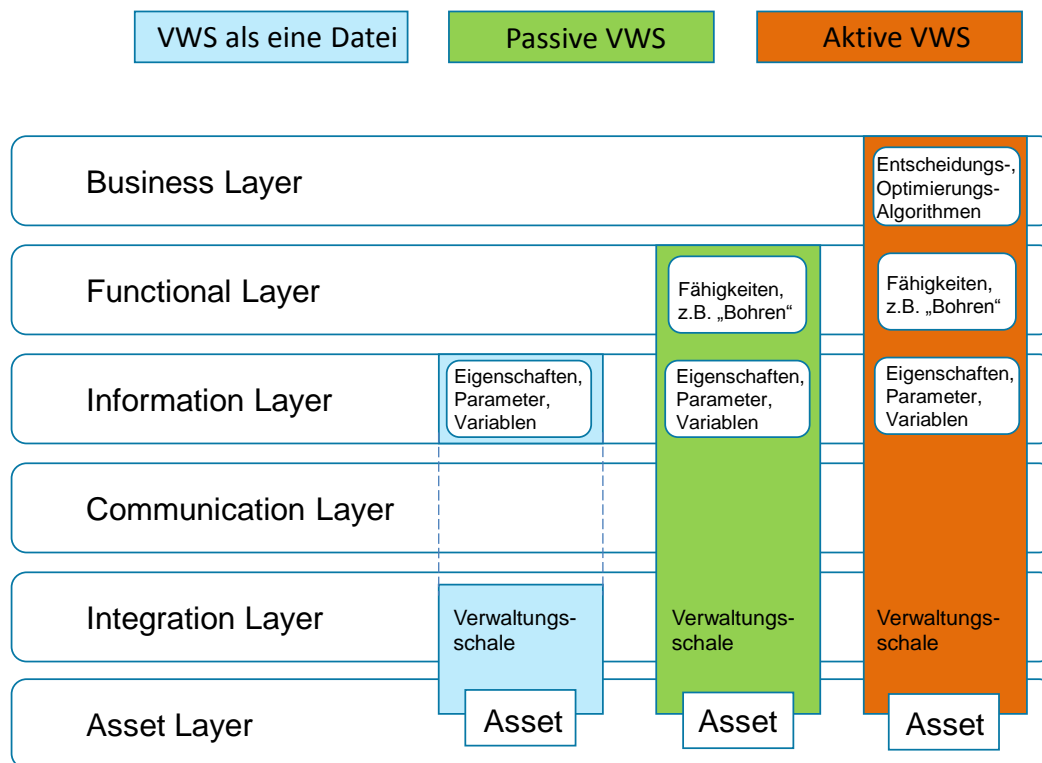


Bild 2: Einordnung von aktiver Verwaltungsschale in das RAMI4.0

Aktiver Aspekt von Verwaltungsschalen hingegen bezieht sich auf die autonome Aktivierung von Interaktionen mit externen VWS, z.B. auf der Grundlage eines verfolgten Ziels (z.B. „so wirtschaftlich wie möglich zu handeln“). Aktive Verwaltungsschalen greifen die Konzepte der Agentensysteme erneut auf und können diese in den standardisierten Rahmen von I4.0-Komponenten und ihren Verwaltungsschalen einbetten.

Auf der Geschäftsebene werden technische und wirtschaftliche Entscheidungen mit Hilfe von mehr oder weniger komplexen Algorithmen getroffen. Sie bilden damit Geschäftsprozesse innerhalb einer VWS ab.

In weiteren Kapiteln dieser Arbeit wird auf die Gegenüberstellung der Eigenschaften von passiven und aktiven Verwaltungsschalen näher eingegangen. Im Kapitel 4 wird eine allgemeine Architektur einer aktiven VWS vorgestellt. Im Kapitel 5 wird anhand eines Beispiels eine Ausprägung einer aktiven VWS für einen bestimmten Anwendungsfall diskutiert.

### 3. Passive Verwaltungsschale mit API

Der Kern von passiven Verwaltungsschalen sind standardisierte Teilmodelle. Diese beschreiben die Eigenschaften und Funktionalitäten von Assets und stellen diese in einer maschineninterpretierbaren Form zur Verfügung. Die VWS bietet dafür als eine



Das Ressourcenmodell bezeichnet ein Modell in dem die Daten und Funktionen einer Komponente adressiert und auf sie mit wenigen Grunddiensten zugegriffen werden kann. Aus der IKT-Welt stammt die technologische Umsetzung des CRUD-Modells (CREATE, RETRIEVE, UPDATE, DELETE Dienste) oder GET und PUT bei http. In der Feldbustechnik stehen oftmals Read und Write Dienste zur Verfügung. Auch OPC UA unterstützt im Wesentlichen das Ressourcenmodell.



Bild 4: Vertikale Interaktionen mit I4.0-Sprache

In der I4.0-Sprache [3], [4] wird für die Zugriffe im Sinne des Ressourcenmodells der Dienstyp auf den Zweck der Nachricht abgebildet. In Abbildung 4 ist „GET“ für eine Leseanfrage und „SHOW“ für die Bereitstellung der angefragten Daten dargestellt. Im inhaltlichen Teil der Nachrichten sind dann die entsprechenden Daten enthalten.

Anders verhält es sich in den Szenarien, in denen eine gewisse Autonomie der Interaktionspartner, d.h. der Produktionssysteme oder ihrer Komponenten, erforderlich ist, z.B. dynamische Optimierung der Produktionsauslastung, Vermeidung von Stillstandszeiten durch Maschinenausfälle, auftragsbezogene Produktion sowie die dynamische Orchestrierung von Produktionsressourcen für eine kostenoptimierte Produktion in Losgröße Eins. In diesen Szenarien treffen sich Interaktionspartner, die beide als gleichwertige Initiatoren der Interaktion agieren. Aus diesem Grund wird dies auch als horizontale Interaktion bezeichnet. In der horizontalen Interaktion agieren beide Partner als "Peers".

#### 4. Aktive Verwaltungsschale

Eine semantisch eindeutige maschinenlesbare Beschreibung der Eigenschaften und Fähigkeiten von Assets, so wie sie die passiven VWS bieten, ist ein wichtiger Schritt zur Erhöhung der Interoperabilität und Integration von Komponenten der Automatisierungstechnik. Auffällig ist nun, dass die bestehenden Konzepte der Verwaltungsschale nicht die Frage klären, an welche Stelle eine I4.0-Komponente Entscheidungen trifft, obwohl erst diese Eigenschaft die I4.0-Komponenten autark interagieren lässt.

Außerdem wurde bisher nicht besprochen, welche Entität die Interaktionen und die potentiell dafür notwendigen Entscheidungen und Regeln beheimatet [7].

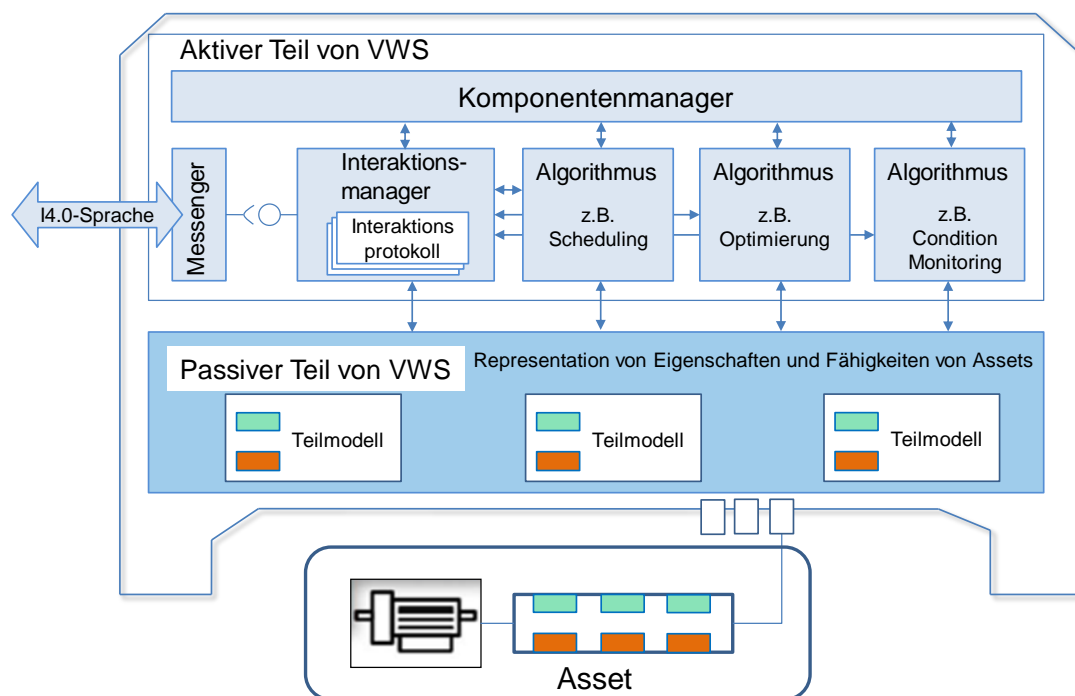


Bild 5: Architektur einer aktiven Verwaltungsschale

In dieser Arbeit wird eine Architektur einer aktiven autonomen Verwaltungsschale eingeführt.

Aktiv bedeutet die Möglichkeit, auf die Veränderungen im Umfeld und in dem Asset zu reagieren und mit konfigurierbaren Strategien (z.B. „so wirtschaftlich wie möglich“) die Initiative zu ergreifen, um eigene Ziele zu erreichen.

Eine Intelligenz setzt eine gewisse Entscheidungsfähigkeit voraus. Die Autonomie bedeutet die Fähigkeit, die Beziehungen und Interaktionsbedarf mit anderen Komponenten selbst zu definieren.



Eine aktive VWS wird sich durch die Kombination von passivem und aktivem Verhalten auszeichnen. Passiv bedeutet, auf externe Anfragen zu reagieren, z.B. zum Lesen von Eigenschaften und Fähigkeiten eines Assets. Aktiv hingegen bezeichnet das autonome Auslösen von Anfragen an externe VWS, z. B. aufgrund eines verfolgten Zieles (z.B. maximal wirtschaftlich handeln).

Struktur einer passiven VWS muss dementsprechend um weitere Strukturelemente ergänzt werden, die Interaktionen und die potentiell dafür notwendigen Entscheidungen und Regeln beheimaten.

In dieser Arbeit werden folgende Architekturelemente vom aktiven Teil der VWS vorgeschlagen:

- Interaktionsmanager (IM), der mittels Zustandsautomaten für die Umsetzung von verschiedenen semantischen Interaktionsprotokollen [3], [4] und Aufruf von notwendigen Entscheidungsalgorithmen zuständig ist.

Interaktionsmanager beherbergt einen bestimmten Satz an diesen Interaktionsmustern, die dem Zweck entsprechen, den funktionalen Inhalten und der Position der jeweiligen I4.0-Komponente in einer Wertschöpfungskette und der Lebenszyklusphase auszufüllen.

- Messenger ist eine Schnittstelle der VWS, die den Transport von Nachrichten übernimmt.

I4.0-Sprache beschreibt Interaktionen zwischen I4.0-Komponenten auf Anwendungsebene gemäß dem OSI-Referenzmodell unabhängig von den zugrunde liegenden Kommunikationssystemen (Abbildung 6). Die VDI/VDE 2193 legt den Aufbau, die Reihenfolge der Nachrichten und deren mögliche JSON-Serialisierung fest.

Der auf dem Bild 6 gezeigte Messenger implementiert einen Protokollstack für eine konkrete Kommunikationstechnologie (z.B. MQTT, http, OPC UA) und übernimmt den Transport von Nachrichten. Die Schnittstelle zwischen dem Messenger und dem Interaktionsmanager sind die JSON-Objekte, die die Nachrichten nach VDI/VDE 2193-1 darstellen.

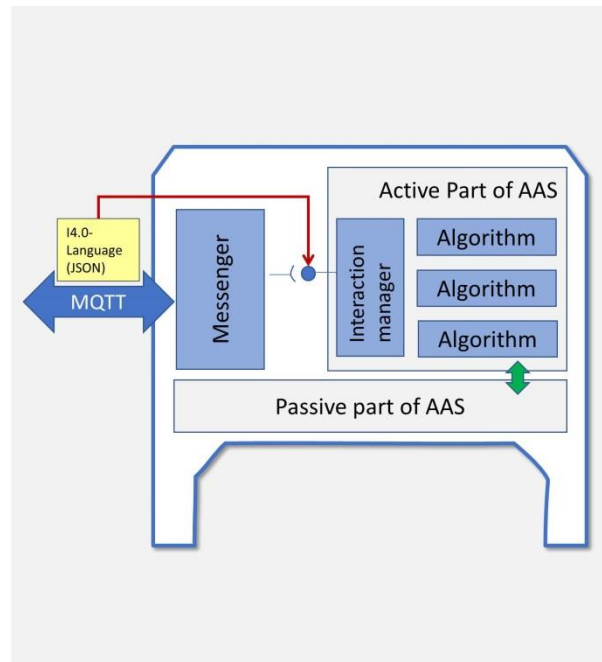
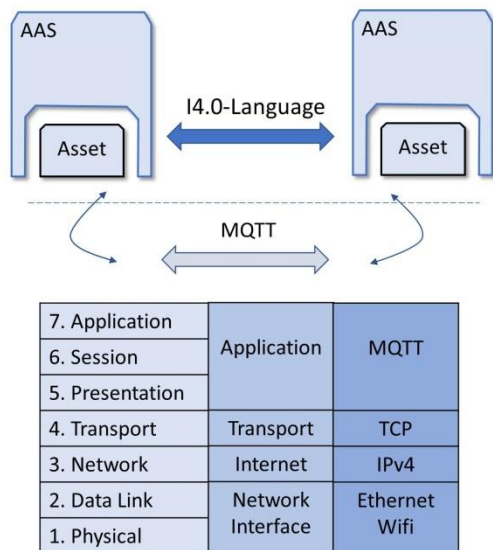


Bild 6: I4.0-Sprache beschreibt die Interaktionen unabhängig von der unterliegenden Kommunikationstechnologie

- Komponentenmanager beinhaltet die Algorithmen für ein zielgerichtetes Verhalten einer I4.0-Komponente.
- Entscheidungs- und Optimierungsalgorithmen sind die Algorithmen, die je nach der konfigurierten Zielsetzung einer VWS für bestimmte Entscheidungen in bestimmten Verhandlungsschritten notwendig sind.

Hier nun ein Beispiel. Wird die Zusammenarbeit von I4.0-Komponenten nach dem Interaktionsprotokoll „Ausschreibungsverfahren“ orchestriert [4], entstehen mindestens zwei Situationen, in denen Verwaltungsschalen Entscheidungen treffen müssen.

Im einfachsten Fall betrifft dies zum einen die Entscheidung, ob ein Asset in der Lage ist eine Anfrage zu bearbeiten bzw. eine angefragte Dienstleistung zu erbringen. Dafür werden technische und wirtschaftliche Aspekte betrachtet, welche eine Entscheidung erfordern. Dies ist z. B. bei der Angebotserstellung der Fall. Zum anderen muss die anfragende Komponente entscheiden, welches der eingegangenen Angebote angenommen wird. Die Algorithmen können mehrere Ziele verfolgen. Beispielsweise sollen die besten wirtschaftlichen Konditionen ausgehandelt werden. Das übergeordnete Ziel bei der Gestaltung der Verwaltungsschale ist dabei, dass Komponenten autonom handeln und somit das menschliche Verhalten imitieren sollen.

Die Entscheidungsprozesse der Verhandlungspartner, die zu einer Erstellung eines Angebots oder zur Annahme eines Angebotes führen, sind rechtlich nicht vorgegeben.

Diese Entscheidungsprozesse laufen sozusagen in einer individuell zu gestaltenden, privaten Black-Box.

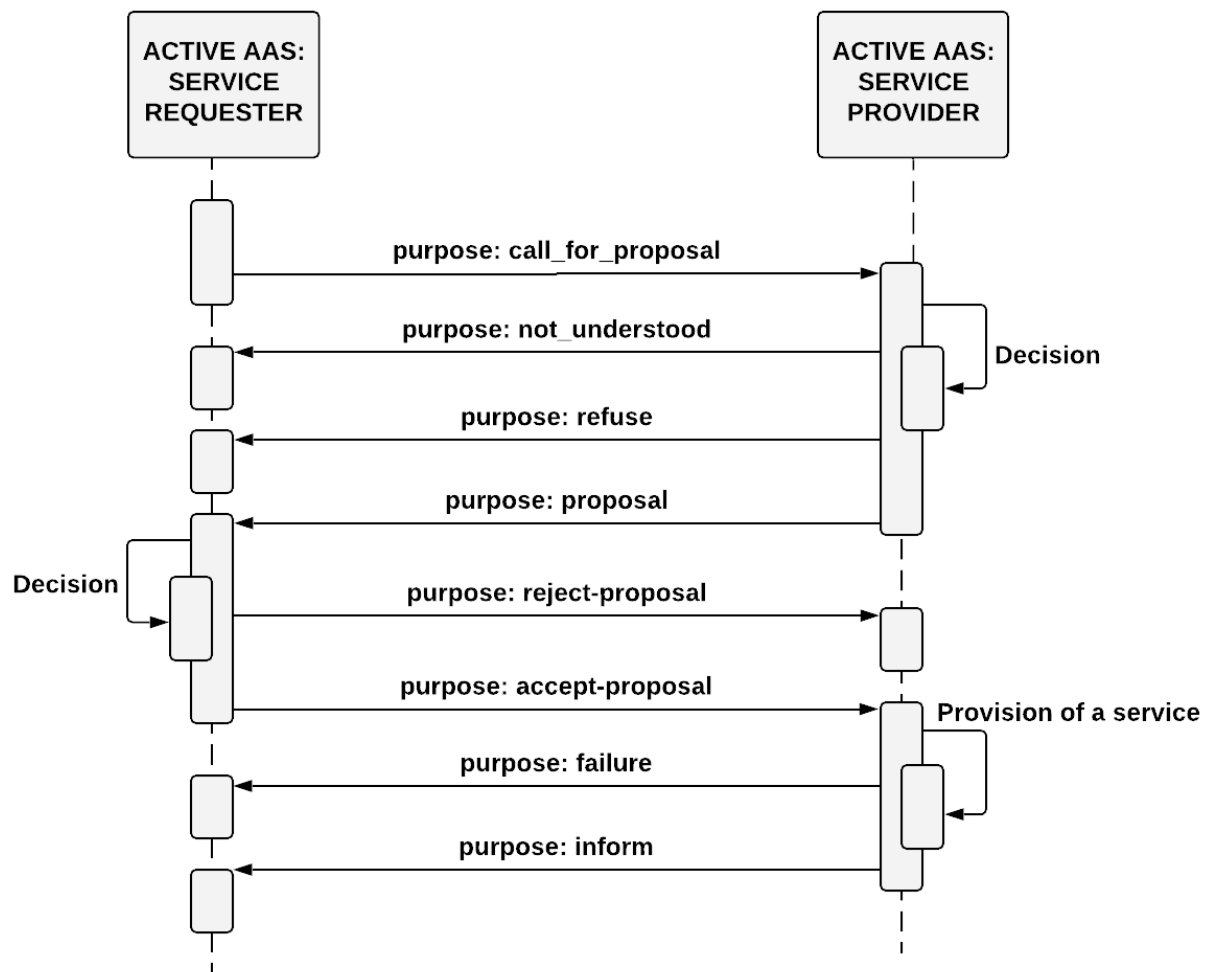


Bild 7: Interaktionsprotokoll „Ausschreibungsverfahren“ [4]

Bei den Implementierungen von selbstständig agierenden Vertragsverhandlungsmodulen in der I4.0 Komponenten sind die Verhandlungsregeln und -strategien individuell festzulegen und werden den Verhandlungserfolg maßgeblich bestimmen.

Entscheidungsalgorithmen liegen damit eindeutig im wettbewerblichen Bereich und damit außerhalb der Standardisierungsaktivitäten.

## 5. Ausprägung einer aktiven Verwaltungsschale

I4.0-Komponenten mit einer aktiven VWS können als unabhängige Dienstleister betrachtet werden. Ähnlich dem Prozess der Entstehung von Unternehmen auf dem Markt, werden die I4.0-Komponenten zu autonomen Wirtschaftsakteuren betrachtet. Diese agieren als unabhängige ökonomische Agenten, die ihre Zusammenarbeit nach marktwirtschaftlichen Prinzipien organisieren.

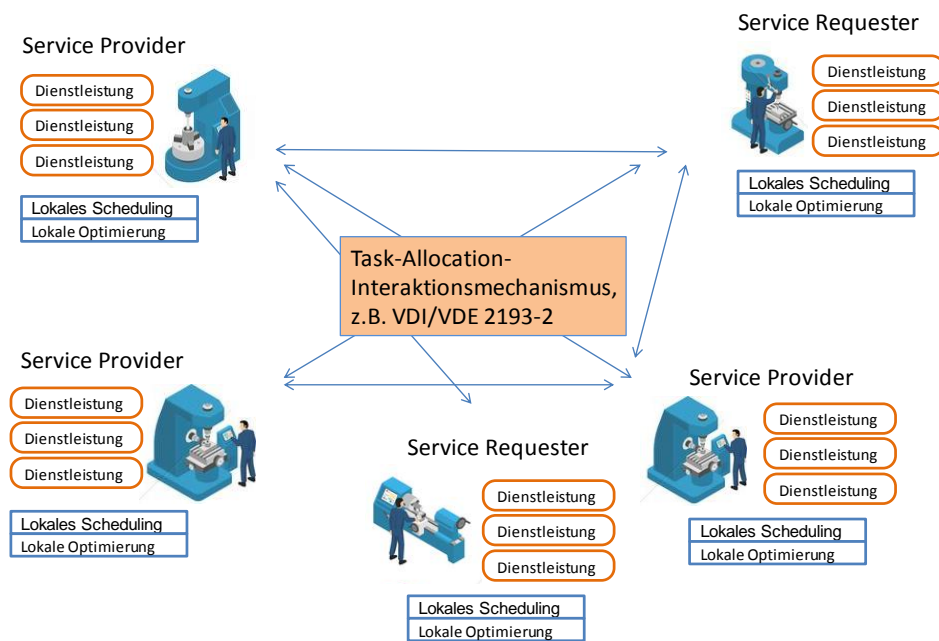


Bild 8: I4.0-Komponenten als unabhängige Dienstleistungsanbieter

Sie können auf eigenen Kenntnissen und Zielen aufbauen, beispielhaft über einen lokalen Scheduling-Algorithmus verfügen und für eigene Zeitpläne verantwortlich sein. So können I4.0-Komponenten ihre Fähigkeiten, bestimmte Produktionsdienstleistungen auszuführen, verifizieren und sind in der Lage, ihre Kapazität zur Erbringung von angefragten Dienstleistungen bis zum gewünschten Termin herauszufinden und dann Angebote zu unterbreiten. Sie können den Preis für ihre Dienstleistung kalkulieren und in Angebote einbeziehen. Das globale Scheduling kann durch das Zusammenspiel der I4.0-Komponenten über einen Task-Allocation-Interaktionsmechanismus, z.B. Ausschreibungsverfahren nach VDI/VDE 2193-2 erreicht werden.

Das in der VDI/VDE 2193-2 vorgestellte Interaktionsprotokoll „Ausschreibungsverfahren“ bietet die Möglichkeit einer hochflexiblen Erzeugung von Kooperationsbeziehungen zwischen I4.0-Komponenten, insbesondere wenn die Aufgaben verteilt werden müssen. Ziel ist es, rechtlich verbindliche Wertschöpfungsketten über die Unternehmensgrenzen hinweg zu erreichen, in denen jede teilnehmende I4.0-Komponente eine im Ausschreibungsverfahren vereinbarte Ausgabe übernimmt. Eine Rechtsstudie zur Nutzung des in VDI/VDE 2193-2 vorgeschlagenen Ausschreibungsverfahrens hat ergeben, dass bei gegenseitiger Akzeptanz der Geschäftsbedingungen ein rechtlich gültiger Vertrag zustande kommt. Kann man sich z.B. auf die Lieferbedingungen des ZVEI einigen, wäre solch eine gegenseitig akzeptierbare Geschäftsbedingung vorhanden. Spezielle Details, die in Form von Merkmalen maschineninterpretierbar sind (z.B. Lieferzeitraum, Erfüllung bestimmter Standards, Garantiezeit), sind dann

Gegenstand der Verhandlung. Damit ist das Interaktionsmuster geeignet in Wertschöpfungsketten eingesetzt zu werden.

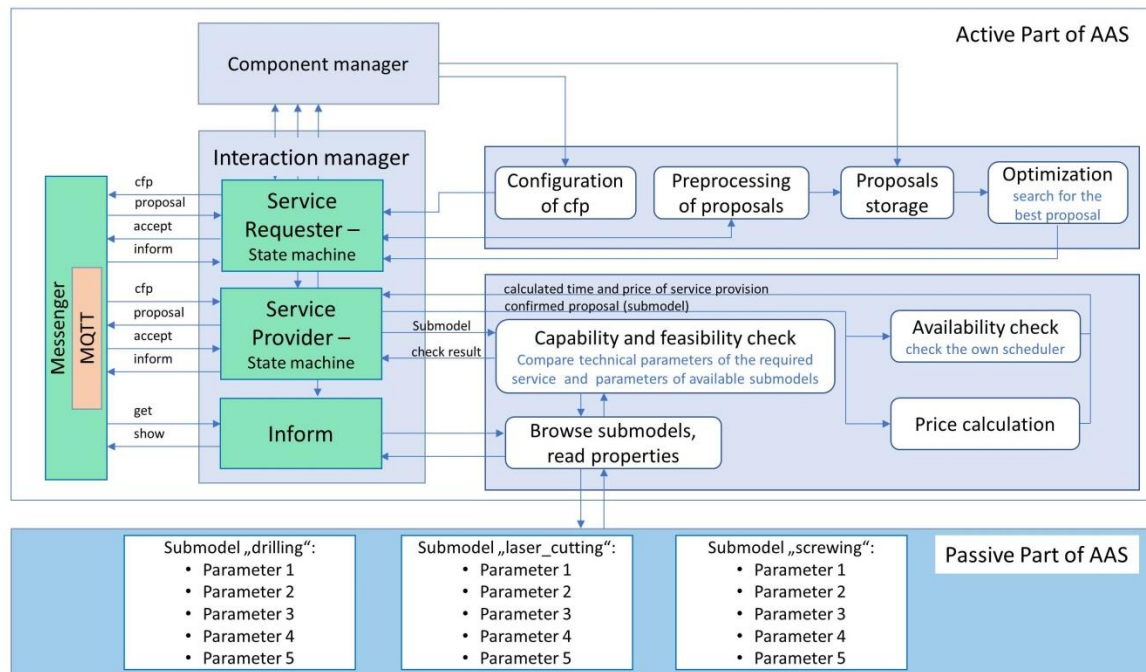


Bild 9: Eine Ausprägung einer Architektur einer aktiven Verwaltungsschale

Die I4.0-Komponenten können dabei die Rolle eines Service Requesters oder Service Providers annehmen.

Der Service Requester verteilt im I4.0-System eine Ausschreibung, in der eine Aufgabe sowie alle Bedingungen, die er an die Ausführung der Aufgabe stellt, spezifiziert werden. Die Service Provider erhalten die Ausschreibung und können Antworten generieren. Die Ausschreibung und das Angebot beinhalten eine technische und kommerzielle Beschreibung der zu vereinbarenden Dienstleistung, die mit dem Vokabular der I4.0-Sprache verfasst wird.

Eine kommerzielle Beschreibung einer Dienstleistung kann beispielhaft die Angabe von Preis, Zeitpunkt, Qualität, des Ortes der Erbringung einer Dienstleistung beinhalten, die in Teilmodellen hinterlegt sind. Zusätzlich müssen die aktiven Verwaltungsschalen Strukturelemente beinhalten, die anhand von diesen Angaben Entscheidungen treffen können. Auf der Abbildung 9 ist eine beispielhafte Ausprägung einer aktiven VWS dargestellt. Diese VWS kann die Rolle von Service Requester oder Service Provider annehmen. Dementsprechend beinhaltet der Interaktionsmanager die Zustandsautomaten, die für die Abwicklung der entsprechenden Interaktionen und Aufruf von notwendigen Entscheidungs- und Optimierungsalgorithmen zuständig sind. In dem

hier vorgestellten Interaktionsmechanismus können diese Algorithmen relativ einfach gehalten werden.

Beispielsweise erkennt der Capability Check - Algorithmus des Service Providers, ob die angefragte Dienstleistung (z.B. „Bohren“) unterstützt wird und wenn es der Fall ist - prüft der Feasibility Check - Algorithmus eine technische Machbarkeit der angefragten Dienstleistung. Ist die technische Machbarkeit geprüft, wird ein Availability Check - Algorithmus aufgerufen, der überprüft, ob die angefragte Dienstleistung bis zum gewünschten Termin erbracht werden kann. Anschließend erfolgt die Preiskalkulation durch einen dafür zuständigen Algorithmus und Versand eines Angebotes.

Die Entscheidungsalgorithmen von Service Requester wählen dann das beste Angebot aus. Dafür müssen die je nach Zielsetzung (z.B. „so schnell wie möglich“, „so billig wie möglich“) aus den erhaltenen Angeboten, die Preis und möglichen Zeitpunkt der Erbringung einer Dienstleistung beinhalten, einen optimalsten auswählen.

Am Lehrstuhl Integrierte Automation der Otto-von-Guericke-Universität existiert ein Demonstrator, in dem das geschilderte Ausschreibungsverfahren umgesetzt ist. An dem Ausschreibungsverfahren können auch externe Partner teilnehmen. Eine entsprechende Anleitung kann vom Lehrstuhl zur Verfügung gestellt werden.

## **6. Zusammenfassung**

In diesem Beitrag wurde ein Konzept einer aktiven autonomen Verwaltungsschale vorgestellt. Aktiv bedeutet die Möglichkeit, auf die Veränderungen im Umfeld zu reagieren und mit konfigurierbaren eventuell auch lernfähigen Strategien (z.B. "so schnell wie möglich" oder "so günstig wie möglich") die Initiative zu ergreifen, um eigene Ziele zu erreichen. Autonomie setzt eine gewisse Entscheidungsfähigkeit voraus und bedeutet, die Fähigkeiten, Beziehungen und Interaktionen mit anderen Komponenten selbst zu bestimmen und zu gestalten.

Durch die aktiven Verwaltungsschalen können I4.0-Komponenten zu den autonomen ökonomischen Agenten werden, die ihre Zusammenarbeit nach den marktwirtschaftlichen Prinzipien organisieren. Aktive Verwaltungsschalen unterstützen sowohl vertikale als auch horizontale Interaktionen und können an einem Ausschreibungsverfahren gemäß der VDI/VDE 2193 - Richtlinie teilnehmen. Außerdem wurden in diesem Beitrag eine allgemeine Architektur einer aktiven Verwaltungsschale und ihre beispielhafte Ausprägung eingeführt.

## Quellen

- [1] Plattform Industrie 4.0: Struktur der Verwaltungsschale - Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente. Berlin: BMWi, 2016.
- [2] Plattform Industrie 4.0: Details of the Asset Administration Shell. Part 1 - The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0. BMWi. Berlin, 2018.
- [3] VDI/VDE 2193 Blatt 1: Sprache für I4.0-Komponenten. Düsseldorf: VDI, 2019
- [4] VDI/VDE 2193 Blatt 2: Sprache für I4.0-Komponenten. Interaktionsprotokoll für Ausschreibungsverfahren. Düsseldorf: VDI, 2019
- [5] Plattform Industrie 4.0: Verwaltungsschale in der konkreten Praxis - Wie definiere ich Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen. Berlin: BMWi, 2019.
- [6] C. Diedrich et al.: Semantik der Interaktionen von I4.0-Komponenten. AUTOMATION – Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik, Baden-Bden, 2018.
- [7] Plattform Industrie 4.0: „I4.0-Sprache: Vokabular, Nachrichtenstruktur und semantische Interaktionsprotokolle.“ Berlin: BMWi, 2018.
- [8] Wooldridge M.: An introduction to Multi Agent Systems, John Wiley & Sons, 2002.