

# Dezentraler IOTA-basierter Industrie-Marktplatz

Industrie-Marktplatz auf Basis von IOTA, eCl@ss und I4.0-Verwaltungsschale

Alexander Belyaev, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Christian Diedrich, Institut für Automation und Kommunikation, Magdeburg, Holger Köther, IOTA Foundation, Berlin und Alaettin Dogan, Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg

## Decentralized IOTA-based Industry Marketplace

This article presents an IOTA Industry Marketplace. The industry marketplace is a manufacturer- and industry-neutral open-source platform, based on the specifications and guidelines of the platform Industry 4.0 and enables an uncomplicated integration of company information systems into the overall network. The industry marketplace combines distributed ledger technology, unchangeable audit trails, standardized, machine-readable language, an integrated distributed identity system and provides a trusted and secure infrastructure for data and value transfer.

### Keywords:

distributed ledger technology, blockchain, IOTA, tangle, marketplace, data marketplace, industry 4.0, industry 4.0-component, administration shell, asset administration shell, AAS, autonomous systems, order driven production, service, machine as a service, data as a service, digital business models

Die nächste Generation der industriellen Automatisierung, Industrie 4.0 (I4.0), rückt immer näher. In der Welt von morgen werden die Maschinen nicht nur Anlageninformationen enthalten, sondern auch proaktive Entscheidungs- und Optimierungsalgorithmen, die ein zielgerichtetes Verhalten der Komponenten ermöglichen. Solche I4.0-Komponente können als autonome, unabhängige Wirtschaftsakteure angesehen werden, die nach marktwirtschaftlichen Prinzipien zusammenarbeiten.

Die daraus resultierenden hochflexiblen Wertschöpfungsnetzwerke erfordern neue Formen der Zusammenarbeit von Unternehmen - auf nationaler und globaler Ebene. Eine gemeinsame globale Kommunikations- und Computing-Infrastruktur ist

eine notwendige Voraussetzung für neue Geschäftsmodelle und die erfolgreiche Umsetzung von Visionen der Industrie 4.0.

In diesem Beitrag wird ein dezentraler Industrie-Marktplatz auf Basis von IOTA vorgestellt. Der IOTA Industrie-Marktplatz ist eine hersteller- und branchenneutrale Plattform, die einen direkten Informationsaustausch, Verhandlungen und automatisierte Bezahlvorgänge zwischen Maschinen erlaubt.

Der Industrie-Marktplatz ist open-source, baut auf den Spezifikationen und Richtlinien der Plattform Industrie 4.0 auf und ermöglicht eine unkomplizierte Integration von Informationssystemen von Unternehmen in das Gesamtnetzwerk.

Der Industrie-Marktplatz kombiniert die Distributed-Ledger-Technologie, unveränderliche Auditprotokolle, standardisierte, maschinenlesbare Sprache, ein integriertes dezentrales Identitätssystem und bietet eine vertrauens-

würdige und sichere Infrastruktur für die Daten- und Wertübertragung.

## Konzepte Industrie 4.0

Das Zusammenspiel von „intelligenten“ Fertigungskomponenten (z. B. Cyber-Physikalische Systeme) führt zu dynamischen, selbstorganisierenden, selbstoptimierenden, unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsketten. Industrie 4.0 bietet dafür konkrete technische Konzepte an.

Eines der wichtigsten Konzepte von Industrie 4.0 ist eine sogenannte Verwaltungsschale [1, 2]. Eine Verwaltungsschale ist das I4.0-Konzept eines digitalen Zwillings, der eine standardisierte Darstellung in der digitalen Welt der Eigenschaften und Fähigkeiten eines Assets, wie beispielsweise einer Maschine, einer Anlage oder eines Industriebetriebes, ermöglicht.

Die Grundidee ist, dass eine Verwaltungsschale die Beschreibung eines Assets enthält und eine Brücke zwischen diesem Asset und dem Internet der Dinge (IoT) bildet. Zusammen bilden eine Verwaltungsschale und ein Asset eine I4.0-Komponente.

In [3, 4] wird das Konzept der proaktiven Verwaltungsschale eingeführt. Durch den Einsatz von proaktiven Verwaltungsschalen können dezentral organisierte Prozesse gestaltet werden, die

M. Sc. Alexander Belyaev arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Lehrstuhl „Integrierte Automation“.

Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich ist ein stellvertretender Vorstandsvorsitzender des „Institut für Automation und Kommunikation“ (ifak) in Magdeburg und Professor für „Integrierte Automation“ an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Holger Köther ist Director of Partner Management bei der IOTA Foundation in Berlin.

M.Sc., MBA Alaettin Dogan arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungstechnik an der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg.

alexander.belyaev@ovgu.de  
https://  
industrymarketplace.net

auf eine gewisse Autonomie oder Entscheidungsfähigkeit von I4.0-Komponenten aufbauen. Jede I4.0-Komponente mit einer proaktiven Verwaltungsschale bildet eine eigenständige Einheit, die ihre Fähigkeiten den anderen Komponenten in Form von Dienstleistungen anbieten kann. I4.0-Komponenten mit einer proaktiven Verwaltungsschale können als unabhängige Dienstleister betrachtet werden [4]. Durch die Entscheidungs- und Optimierungsalgorithmen der proaktiven Verwaltungsschalen können I4.0-Komponenten als unabhängige Wirtschaftsakteure zielorientiert handeln und nach marktwirtschaftlichen Prinzipien zusammenarbeiten. Die Interaktionen zwischen proaktiven I4.0-Komponenten führen zu hochflexiblen Wertschöpfungsnetzwerken, in denen intelligente Fabriken auf neuartige Weise sowohl auf nationaler als auch auf globaler Ebene zusammenarbeiten können. Damit sich die autonomen Komponenten finden, einander vertrauen, miteinander interagieren und auf IT-sicherheitstechnische Grundbedürfnisse stützen können, benötigen sie eine gemeinsame Infrastruktur.

In diesem Beitrag wird IOTA als eine gemeinsame Kommunikationsinfrastruktur für I4.0-Komponenten betrachtet, die sowohl einen vertrauenswürdigen und interoperablen Informationsaustausch, als auch automatisierte Bezahlvorgänge zwischen Maschinen erlaubt.

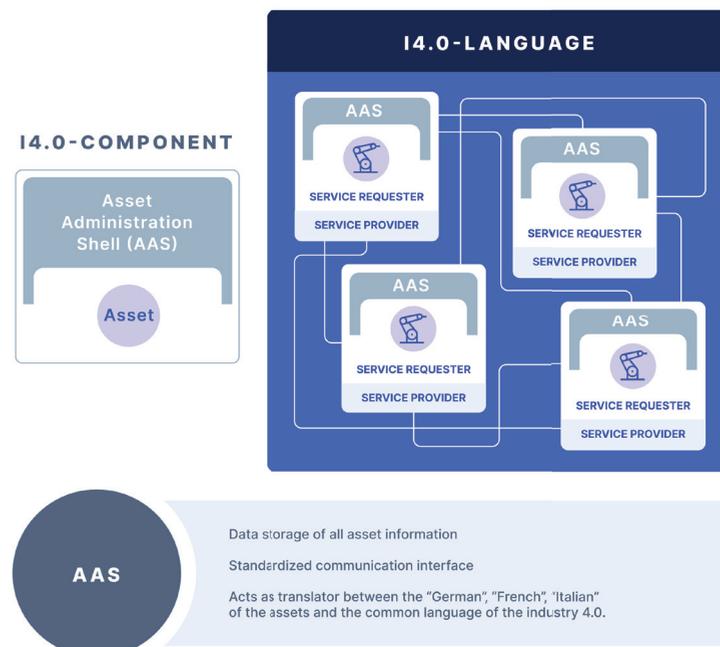
### Einführung in Distributed-Ledger-Technologie und IOTA-Tangle

Distributed-Ledger-Technologie (DTL) ist in der Öffentlichkeit oftmals unter den Begriffen „Bitcoin“ und „Kryptowährungen“ oder „Blockchain“ verbreitet und ist durch die Anwendungen im Finanzsektor bekannt. Das Potenzial der DLT als zugrundeliegende Technologie für verschiedene Anwendungsfälle reicht jedoch weit darüber hinaus. In dem vorliegenden Beitrag wird DLT als eine Grundlage für ein offenes und transparentes digitales Ökosystem betrachtet.

Hinter DLT verbirgt sich die Idee eines verteilten Systems, in welchem die partizipierenden Parteien gleichgestellt sind und direkt mitein-

## PLATTFORM INDUSTRIE 4.0

### I4.0-COMPONENT=ASSET + ASSET ADMINISTRATION SHELL



**Bild 1: Verwaltungsschale (Asset Administration Shell - AAS), I4.0-Komponente und I4.0-Sprache (I4.0 Language) [12].**

ander interagieren können. Jeder Netzwerkknoten (Node) verwaltet einen identischen Datensatz. Die Algorithmen der Nodes sorgen dafür, dass neu hinzuzufügende Informationen durch das Gesamtnetzwerk verteilt werden. Durch den Konsensmechanismus wird sichergestellt, dass zwischen den Nodes eine Übereinstimmung über den aktuellen Zustand des Datensatzes sichergestellt wird.

Eine entscheidende Neuerung der Distributed-Ledger-Technologie ist es, den Datenaustausch, der heute über eine zentrale Instanz läuft, dezentral durchführen zu können. Durch den Verzicht auf einen Intermediär ist es möglich, eine direkte Beziehung zwischen interagierenden Parteien herzustellen. Eine weitere wesentliche Eigenschaft der DLT ist Ausfall- und Manipulationssicherheit. Da die Daten verteilt gespeichert werden, kann ein Datenverlust auf einem Rechner durch die gleichen Datensätze auf anderen Rechnern aufgefangen und die Daten wiederhergestellt werden. Grundsätzlich schließt die DLT eine böswillige Manipulation von gespeicherten Daten oder Eingabe falscher Daten nicht aus. Die Manipulation wird aber von den anderen Netzwerkteilnehmern sofort bemerkt, weil auf allen Knoten ein identischer Datensatz gespeichert ist.

Blockchain ist eine der möglichen Technologien der Implementierung des Distributed Ledgers [5]. In der klassischen Blockchain werden die Informationen mittels Transaktionen ab-

gebildet. Die Transaktionen werden von speziellen Netzwerkknoten, den so genannten Mining Nodes zu Blöcken zusammengefasst. Die einzelnen Blöcke werden nacheinander in eine Kette verbunden. In den öffentlichen Blockchains können die neuen Blöcke nur in festdefinierten Zeiteinheiten hinzugefügt werden. Da ein Block nur eine begrenzte Anzahl von Transaktionen enthalten kann, entsteht an dieser Stelle ein Flaschenhals. Aus diesem Grund sind Blockchain-basierte Lösungen für die Anwendungsfälle, die eine hohe Transaktionsrate erfordern, eher ungeeignet. Damit die Mining Nodes die Blöcke in die Blockchain einfügen können, müssen sie ein oft rechenintensives Rätsel lösen. Dieser Prozess wird als Proof-of-Work oder als Mining bezeichnet und wird in der Regel mit einer Transaktionsgebühr entlohnt.

Blockchain ist eine der bekanntesten Distributed-Ledger-Technologien. Daher wird die Bezeichnung Blockchain-Technologie oft als Oberbegriff für Distributed-Ledger-Technologien verwendet. Die öffentlichen Blockchain-Netzwerke haben jedoch erhebliche Nachteile: ein sehr niedriger Datendurchsatz (Transaktionen pro Sekunde), sehr hoher Energieverbrauch, der notwendige Erwerb elektronischer Währung (Cryptocurrency) und eine de-facto Zentralisierung der „Miner“ auf wenige sehr große Mining-Pools.

IOTA ist eine Art der DLT, bei der weder Blöcke noch Ketten (Chains) verwendet werden. IOTA baut auf einem gerichteten azyklischen Graphen auf, der als „Tangle“ bezeichnet wird [6]. Die Knoten des IOTA-Graphs stellen einzelne Transaktionen (Dateneinträge) dar und ersetzen somit die Blöcke einer Blockchain. Jede Transaktion referenziert mindestens zwei andere Transaktionen, um diese zu bestätigen. So verbinden sich und bestätigen sich die Transaktionen gegenseitig. Dadurch wächst der Tangle nicht als eine Kette, sondern wird parallel um mehrere Transaktionen erweitert. Das bedeutet, dass je mehr Transaktionen getätigt werden, desto mehr Transaktionen gleichzeitig bestätigt werden können. Somit kann der IOTA Tangle theoretisch unendlich viele Transaktionen pro Sekunde aufnehmen. Dadurch skaliert die Transaktionsrate des Tangle mit jedem neuen Node, der am Netzwerk teilnimmt. Das IOTA-Netzwerk erfordert keine Miner, die Transaktionen bestätigen und für ihre Arbeit entlohnt werden müssen. Bevor ein Netzwerkteilnehmer eine neue Transaktion in den Tangle einfügt, muss er zwei andere unbestätigte Transaktionen validieren. Seine Belohnung ist dabei die Validierung seiner eigenen

Transaktion durch andere Netzwerkteilnehmer. Da es keine Miner gibt, erfordert das IOTA-Netzwerk keine Transaktionsgebühren. Ein Proof-of-Work, das von einzelnen Nodes zum Spamschutz erbracht werden muss, ist für die Belange der IoT angepasst und erfordert relativ geringe Rechenleistung. Das reduziert den Ressourcenbedarf und ein Energieverbrauch von IOTA-Nodes.

Innerhalb des Tangles kann zwischen „Value Transactions“ und „Data Transactions“ unterschieden werden. Bei den „Value Transactions“ handelt es sich um die Überweisung von IOTA-Token, der IOTA-Währung. Die „Data Transactions“ werden verwendet, um nicht die Währung, sondern eine Information zu übertragen. So können die Maschinen miteinander über das IOTA-Netzwerk Daten austauschen [7]. Alle Transaktionen können dabei kryptographisch verschlüsselt werden, was eine sichere Datenübertragung, Speicherung und Referenzierung der Information ermöglicht.

Der Tangle bildet die Grundlage für den in diesem Beitrag vorgestellten Industrie-Marktplatz.

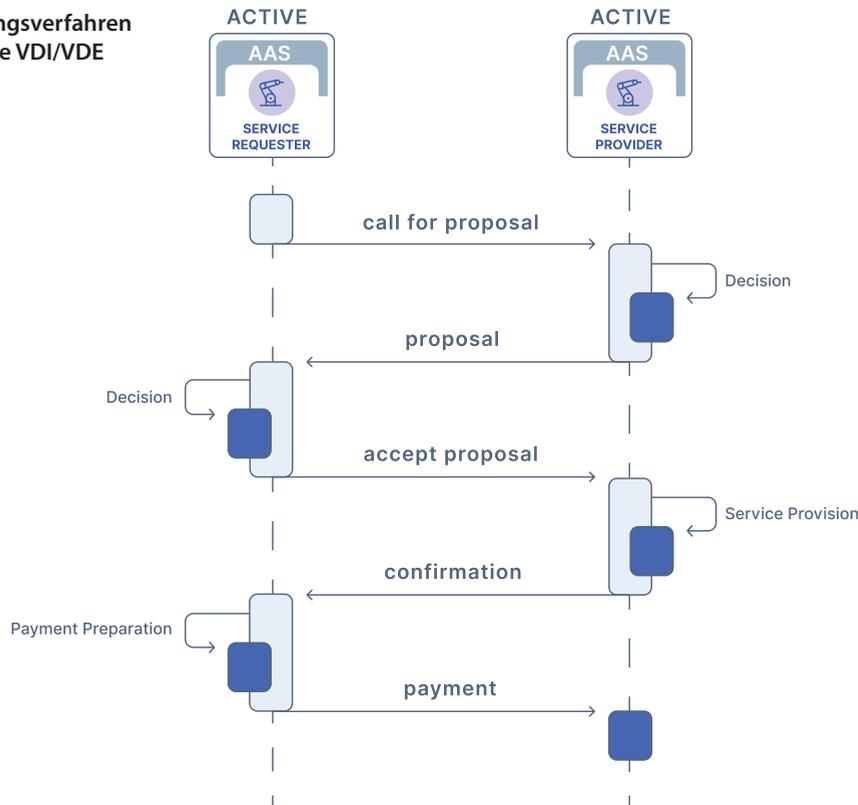
### Industrie-Marktplatz

Der IOTA-basierte Industrie-Marktplatz etabliert eine hersteller- und betreiberneutrale Plattform für das Anbieten und Suchen von Waren, Daten und Dienstleistungen.

Angelehnt an [8] wird in diesem Beitrag eine Plattform als eine physische, digitale und organisationale Architektur definiert, die die voneinander unabhängige Akteure zusammenbringt und in die Lage versetzt, mit einander zu interagieren und zu handeln. Ist die Anzahl der Nutzer der Plattform ausreichend groß, so profitieren die einzelnen Akteure durch so genannte Netzwerk- und Skaleneffekte. Ein Netzwerkeffekt liegt vor, wenn durch eine steigende Anzahl von Anbieter und Konsumenten der Nutzen für alle steigt.

Die meisten herkömmlichen virtuellen Marktplätze weisen eine zentralisierte Struktur auf. Der Plattformbetreiber agiert als Intermediär zwischen den Nutzer solcher Marktplätze. Der Marktplatzbetreiber übernimmt eine Übersichtsfunktion, führt Angebot und Nachfrage zusammen und koordiniert die Preisbildung. Dabei ist es nicht auszuschließen, dass die Plattformbetreiber ihre Kontrolle über die Plattforminfrastruktur missbrauchen können und den Markt zu eigenem Nutzen manipulieren. Die aktuellen Studien zeigen, dass die

**Bild 2: Ausschreibungsverfahren gemäß der Richtlinie VDI/VDE 2193-2 [12].**



B2B-Plattformen bisher nicht die gleichen wirtschaftlichen Effekte aufweisen können, wie die Plattformen im B2C-Bereich [8]. Ein möglicher Grund dafür ist ein fehlendes Vertrauen. Die Mehrheit der Plattformnutzer im B2B-Bereich versucht eigene Plattformen zu erstellen und zu betreiben. Dabei erfolgt in der Regel kein Informationsaustausch zwischen einzelnen Plattformen, wodurch positive Netzwerkeffekte nicht mehr zum Tragen kommen.

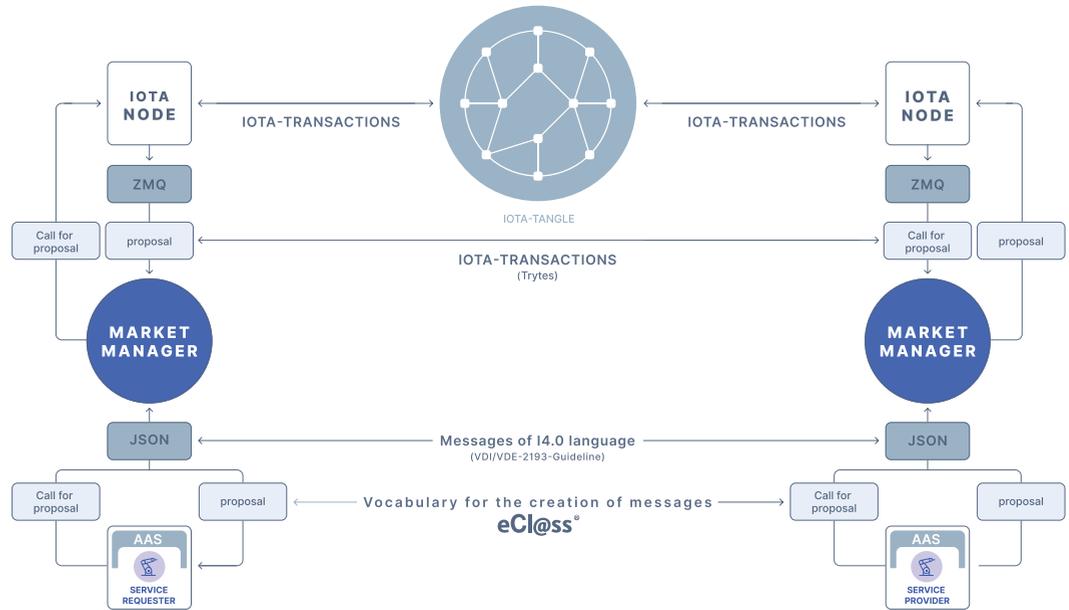
Die Infrastruktur des Industrie-Marktplatzes ist komplett dezentral. Die Teilnehmer des Industrie-Marktplatzes können direkt mit einander handeln und Informationen austauschen. Es gibt keine Instanz, die eine übergeordnete Rolle einnimmt. Die Teilnehmer des Marktplatzes sind Maschinen und Automatismen, die durch Optimierungs- und Entscheidungsalgorithmen befähigt sind, auf dem Marktplatz als autonome Wirtschaftsakteure zu handeln. Sie können dabei eine von zwei Rollen übernehmen: die Rolle des Daten/ Service Requesters oder Daten/ Service Provider. Der Service Requester sucht nach Dienstleistungen, wie z. B. Transport, Bohren, Inspektion oder nach bestimmten Daten. Dafür verteilt dieser eine Ausschreibung, in der eine Dienstleistung oder die angeforderten Daten spezifiziert werden.

Die Service Provider, die ihre freien Kapazitäten auf dem Marktplatz anbieten, erhalten die relevanten Ausschreibungen und können entscheiden, ob und zu welchen Bedingungen

sie die Angebote einreichen. Der Service Requester erhält alle an ihn gerichtete Angebote und entscheidet selbstständig, welches der eingegangenen Angebote angenommen wird. Die Entscheidungsprozesse der Verhandlungspartner, die zu einer Erstellung eines Angebots oder zur Annahme eines Angebotes führen, sind von dem Marktplatz nicht vorgegeben. Diese Entscheidungsprozesse der Marktteilnehmer laufen in einer individuell zu gestaltenden, privaten Black-Box, da diese den Verhandlungserfolg maßgeblich bestimmen. Die Verwaltungsschale spielt dabei die Rolle einer standardisierten virtuellen Repräsentanz eines Assets, die eine digitale Integration von Maschinen und einen interoperablen Informationsaustausch ermöglicht. Verwaltungsschalen agieren auf dem Marktplatz als unabhängige ökonomische Agenten, die ihre Zusammenarbeit nach marktwirtschaftlichen Prinzipien organisieren. Die kürzlich erschienene VDI/VDE-2193 Richtlinie [9, 10] beschreibt das Konzept einer gemeinsamen Sprache für I4.0-Komponenten. Diese Richtlinie erläutert das Konzept des semantisch interoperablen Austausches von Informationen und zeigt, wie das Vokabular, die Nachrichten und deren Abläufe für den Informationsaustausch in den Anwendungsfällen von Industrie 4.0 zu gestalten sind.

Jede Verwaltungsschale ist mit einem IOTA-Node über einen Adapter, ein so genannter Market Manager, verbunden. Ein Market Manager übersetzt die Nachrichten der I4.0-Sprache in

**Bild 3: Architektur des dezentralen IOTA-basierten Industrie-Marktplatzes [12].**



Literatur

- [1] BMWi: Plattform Industrie 4.0: Struktur der Verwaltungsschale - Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente. Berlin 2016.
- [2] BMWi: 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. Berlin 2018.
- [3] BMWi: Plattform Industrie 4.0: Verwaltungsschale in der konkreten Praxis - Wie definiere ich Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen. Berlin 2019.
- [4] Belyaev, A.; Diedrich, C.: Aktive Verwaltungsschale von I4.0-Komponenten – Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik. Baden-Baden 2019.
- [5] Belyaev, A.; Diedrich, C.: Die Blockchain als eine Technologie für die Verwirklichung von Visionen der Industrie 4.0–15. Fachtagung EKA-Entwurf komplexer Automatisierungssysteme. Magdeburg 2018.
- [6] Popov, S.: The tangle. April 30, 2019. URL: [https://assets.ctfassets.net/r1dr6vzfxhev/2t4uxvslqk0EUau6g2s-w0g/45eae33637ca92f85dd9f4a3a218e1ec/iota1\\_4\\_3.pdf](https://assets.ctfassets.net/r1dr6vzfxhev/2t4uxvslqk0EUau6g2s-w0g/45eae33637ca92f85dd9f4a3a218e1ec/iota1_4_3.pdf), Abrufdatum 12.12.2019.
- [7] URL: <https://steemit.com/deutsch/@urdreamscometruer/iota-teil-1>, Abrufdatum 12.12.2019.
- [8] BMWi: Die volkswirtschaftliche Bedeutung von digitalen B2B-Plattformen im Verarbeitenden Gewerbe. Berlin 2019.
- [9] VDI: VDI/VDE 2193 Blatt 1: Sprache für I4.0-Komponenten. Düsseldorf 2019.
- [10] VDI: VDI/VDE 2193 Blatt 2: Sprache für I4.0-Komponenten. Interaktionsprotokoll für Ausschreibungsverfahren. Düsseldorf 2019.
- [11] Dogan, A.; Lewin, M.; Fay, A.; Belyaev, A.; Diedrich, C.; Nagel, J. A.; Bondza, A.; Köther, H.; Kroke, T.: Einsatz von eCl@ss als semantische Basis auf virtuellen Marktplätzen. AUTOMATION – Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik. Baden-Baden 2019.
- [12] URL: <https://industry.iota.org>, Abrufdatum 12.12.2019.

die IOTA-Transaktionen und sendet diese an eine IOTA-Node. Jede Nachricht bildet somit eine Transaktion auf dem IOTA-Tangle.

Zu den Aufgaben des Market Managers gehört es auch, den Tangle ständig zu beobachten und die für die jeweils angeschlossenen Service Provider oder Service Requester relevanten Transaktionen zu filtern und diese in die Nachrichten der I4.0-Sprache zu übersetzen. Die Interaktion zwischen Verwaltungsschalen läuft nach dem Ausschreibungsverfahren gemäß der VDI/VDE 2193-2 Richtlinie ab (Bild 2). Das Ziel ist es dabei, rechtlich verbindliche Wertschöpfungsketten über die Unternehmensgrenzen hinweg zu erreichen, in denen jede teilnehmende I4.0-Komponente eine im Ausschreibungsverfahren vereinbarte Aufgabe übernimmt. Die Ausschreibung und die Angebote beinhalten eine technische und kommerzielle Beschreibung der zu vereinbarenden Dienstleistung. Eine kommerzielle Beschreibung einer Dienstleistung kann beispielsweise die Angabe von Preis, Zeit, Qualität und Ort der Erbringung einer Dienstleistung beinhalten. Gemäß dem Konzept der I4.0-Sprache werden für die Beschreibung von Daten und Dienstleistungen standardisierte maschineninterpretierbare Merkmale aus dem eCl@ss-Standard verwendet [11, 12].

Der Verlauf jedes Ausschreibungsverfahrens wird für Auditzwecke dokumentiert. Dafür werden einzelne Transaktionen in einem Masked Authenticated Messaging-Chanel gebündelt und verschlüsselt.

Der Industrie-Marktplatz ergibt sich aus dem Zusammenspiel zwischen autonomen proak-

tiven Verwaltungsschalen und ihren Market Managern.

Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein dezentraler IOTA-basierter Industrie-Marktplatz vorgestellt.

Durch die Verwendung einer speziell für I4.0 entwickelten semantischen Sprache, standardisierten maschinenlesbaren Merkmalen von IOTA und einem integrierten Verfahren für die Sicherstellung der Identität der interagierenden Parteien, bietet der Industrie-Marktplatz eine offene, vertrauenswürdige, ausfall- und manipulationssichere Plattform für Interaktionen von autonomen Systemen.

Die Anwendungsfälle des IOTA-Industrie-Marktplatzes sind nicht auf die Produktion begrenzt. Das Konzept kann problemlos in allen Branchen eingesetzt werden, in denen automatisierte Verträge Vorteile bieten, wie z. B. Smart Cities, Smart Energie, Mobilität und vernetzte Fahrzeuge.

Schlüsselwörter:

Distributed-Ledger-Technologie, Blockchain, IOTA, Tangle, Marktplatz, Datenmarktplatz, Industrie 4.0, Industrie 4.0 – Komponente, Verwaltungsschale, Asset Administration Shell, AAS, Autonome Systeme, Auftragsgesteuerte Produktion, Dienstleistung, Machine as a service, Data as a service, Digitale Geschäftsmodelle