

Verwaltungsschale für den Leitungssatz

AP6.1 – Konzeptentwicklung für die technische und automatisierte Verhandlung



Inhalt

1	Zielsetzung des Arbeitspakets	3
2	Definition von Anwendungsfällen	3
2.1	Verhandlungsszenario „Order Driven Production“	3
2.1.1	Kontext	3
2.1.2	Technische Rahmenbedingungen	3
2.1.3	Erwartete Ergebnisse	4
2.1.4	Ablauf der Verhandlung	4
2.1.5	Bezug zu VWS4LS Use Cases	5
2.1.6	Bezug zu VWS4LS Teilprojekten	5
2.2	Verhandlungsszenario „Zukaufteil“	6
2.2.1	Kontext	6
2.2.2	Technische Rahmenbedingungen	6
2.2.3	Erwartete Ergebnisse	7
2.2.4	Bezug zu VWS4LS VWS4LS Use Cases	7
2.2.5	Bezug zu VWS4LS Teilprojekten	7
2.3	Verhandlungsszenario „Synchronisation von Werten zwischen Verwaltungsschalen“	8
2.4	Verhandlungsszenario „Einsatz im Änderungsmanagement“	8
3	Technische Umsetzung der Verhandlungskonzepte	9
	Literaturverzeichnis	12
	Abbildungsverzeichnis	12
	Abkürzungsverzeichnis	12

1 Zielsetzung des Arbeitspakets

In dem AP6.1 wird ein Konzept entwickelt, dass eine Verhandlung von verschiedenen Systemen (z.B. Maschine zu Maschine, Leitungssatz zu Maschine oder Leitstand zu Maschine) zulässt. Die Verhandlung zwischen den Systemen soll autonom durch die I4.0-Komponenten geführt werden, die anhand von Daten und Informationen Entscheidungen treffen.

In dem Konzept selbst, werden Randbedingungen für das eigenständige Entscheiden definiert und Wege für die Kommunikation und Interaktion zwischen autonomen I4.0-Komponenten aufgezeigt. Der Ansatz der aktiven Verwaltungsschale könnte hier in Verbindung mit dem Komponentenmanager ein erster Ansatz sein. Der Komponentenmanager selbst, ist in der Lage, anhand von Algorithmen ein zielgerichtetes Verhalten einer I4.0-Komponente (VWS und dazugehöriges Asset) zu beschreiben. Es wird ein Vorschlag für die Umsetzung eines Komponentenmanagers unter Verwendung von Low-Code-Plattformen skizziert.

2 Definition von Anwendungsfällen

Für die Arbeitspakete AP6.1 bis AP6.4 werden konkrete Anwendungsfälle definiert, anhand derer die Verhandlungskonzepte entwickelt und soweit möglich auch anhand von Demonstratoren validiert werden. Die Anwendungsfälle des TP 6 weisen einen Bezug zu den Use Cases des Gesamtprojektes VWS4LS auf und greifen sowohl Anforderungen als auch Ergebnisse anderer Teilprojekte auf.

Im Folgenden werden die als Anwendungsfälle ausgewählten Verhandlungsszenarien beschrieben.

2.1 Verhandlungsszenario „Order Driven Production“

2.1.1 Kontext

Angenommen wird ein Produktionsauftrag für ein definiertes Halbfabrikat „verdrilltes Leitungspaar“ für dessen Herstellung verschiedene Maschinen zum Einsatz kommen können, darunter auch Maschinen verschiedenen Typs. Die Herstellung kann dabei vollständig automatisiert auf einer einzigen Maschine erfolgen, die mehrere Fähigkeiten anbietet, oder über verkettete Arbeitsschritte an mehreren unterschiedlichen Maschinen, wobei auch manuelle Tätigkeiten enthalten sein können.

Im Sinne einer auftragsgetriebenen Produktion verhandelt das Produkt mit den in Frage kommenden Produktionsressourcen welche konkreten Ressourcen zu seiner Herstellung eingesetzt werden. Das Produkt „sucht“ sich seinen Weg durch die Fabrik. Inwieweit mit dieser Vorgehensweise Optimierungsziele erreicht werden können, die den gesamten Auftragsbestand betreffen, wie z.B. eine Rüstoptimierung für eine Fertigungsinsel mit mehreren Maschinen oder eine ganze Fabrik wurde im Projektteam kritisch diskutiert. Es wurde entschieden das Szenario dennoch zu betrachten. Zum einen kann das Verhandlungsfenster so eingeschränkt werden, dass die Entscheidung sich im Rahmen einer vorab festgelegten Grobplanung bewegt. Die Durchführung der automatisierten Verhandlungsprozesse hat dann zum Ziel eine Feinplanung zu realisieren, mit der auf a priori nicht bekannte Einflussfaktoren im kurzfristigen Bereich reagiert werden kann. Außerdem kann das Konzept übertragen werden auf einen automatisierten Verhandlungsprozess mit Beteiligung einer VWS die einen Fabrikleitstand (MES) darstellt und die eine Sicht auf alle Produktionsressourcen und den gesamten Auftragsbestand hat. Mit dieser Sicht kann im Verhandlungsprozess wieder ein „fabrikweites“ Optimum erreicht werden.

2.1.2 Technische Rahmenbedingungen

Für die konkrete Instanz des herzustellenden Halbfabrikats existiert eine VWS „Produkt“ ab dem Zeitpunkt der Erstellung des Produktionsauftrags, d.h. zeitlich bevor das Asset physisch existiert. Die VWS „Produkt“ ist als proaktive VWS (Typ 3) ausgeführt, die über die Fähigkeit verfügt, im Interaktionsprotokoll Ausschreibungsverfahren nach VDI/VDE 2193 in der Rolle des Auftraggebers (Service Requester) teilzunehmen.

Die Produktionsressourcen, die zur Herstellung des Halbfabrikats in Frage kommen, sind ebenfalls durch eine proaktive VWS (Typ 3) repräsentiert. Diese VWS verfügen über die Fähigkeit im Interaktionsprotokoll Ausschreibungsverfahren in der Rolle als Auftragnehmer (Service Provider) teilzunehmen. Es wird in Betracht gezogen, dass stellvertretend für ein oder mehrere Produktionsressourcen ein MES oder ähnliches System die Rolle als Auftragnehmer einnimmt. Dieses System verfügt aber über eine VWS-Schnittstelle.

Das Auffinden der Verwaltungsschalen der in Frage kommenden Service Provider erfolgt über die Abfrage von vorab definierten VWS Registries. An dieser Stelle ist eine Abfrage- bzw. Suchfunktion der VWS Registry erforderlich. Die Suchfunktion soll eine Liste von Verwaltungsschalen zurückliefern, die als Typ 3 VWS das entsprechende semantische Interaktionsprotokoll implementiert.

2.1.3 Erwartete Ergebnisse

Mit einem ersten Demonstrator-Aufbau ist geklärt, ob das Konzept der Umsetzung des proaktiven Anteils der VWS mittels einer BPMN-Workflow Engine trägt.

Es ist geklärt, wie die Nachrichten zwischen Verwaltungsschalen technisch ausgetauscht werden und welche Voraussetzungen an Teilmodelle, Modellierung der Beziehungen zwischen Verwaltungsschalen und Anforderungen an die VWS-Infrastruktur (AAS-Registry, AAS-Server) sich daraus ergeben.

Es ist validiert, dass die in den einzelnen Teilprojekten erarbeiteten Teilmodelle zu Fähigkeiten dafür geeignet sind, eine Entscheidung zu treffen, ob das Beispielprodukt mit einer bestimmten Ressource gefertigt werden kann oder nicht.

Es ist validiert, dass die in TP 5 erarbeitete Funktion zum Fähigkeiten-Abgleich dafür geeignet ist, eine Entscheidung zu treffen, ob das Beispielprodukt mit einer bestimmten Ressource gefertigt werden kann oder nicht.

Es ist definiert, welche Inhalte die Nachricht zur Anfrage beinhaltet, damit der Auftragnehmer die notwendigen Informationen zur Entscheidung über die Machbarkeit (Fähigkeiten-Abgleich) erhält oder weiß, wo er diese abrufen kann.

Es ist definiert, welche Inhalte die Nachricht zum Angebot beinhalten soll, damit der Auftraggeber die Angebotsauswahl treffen kann.

2.1.4 Ablauf der Verhandlung

Ausschreibung

Die Initiative zur Verhandlung geht von der VWS des Produktes aus. Über die Abfrage von vorab definierten VWS-Registries werden die Verwaltungsschalen der Produktionsressourcen gefunden. Die VWS Produkt sendet eine Ausschreibung an alle gefundenen Verwaltungsschalen der Produktionsressourcen.

Neben der Beschreibung des Produktes beinhaltet die Ausschreibung die angefragte Gesamtmenge des Produkts, eine Bündelgröße sowie den gewünschten Fertigstellungstermin.

Prüfung der Machbarkeit

Durch einen Abgleich der vom Produkt geforderten Fähigkeiten mit den in der Produktionsressource verfügbaren Fähigkeiten wird in der VWS der Produktionsressource eine Entscheidung zur Machbarkeit getroffen. Dabei ist explizit vorgesehen, dass nicht alle erforderlichen Produktionsschritte durch die Ressource ausgeführt werden können, sondern dass nur ein Teil der Produktionsschritte mit den verfügbaren Fähigkeiten machbar sind. Ein Angebot soll in diesem Fall trotzdem abgegeben werden. Die Angebotsnachricht enthält eine Kennzeichnung, welche mit der Ausschreibung angefragten Produktionsschritte Bestandteil des Angebots sind und welche Produktionsschritte (aufgrund des Fähigkeiten-Abgleichs) nicht Bestandteil des Angebots sind.

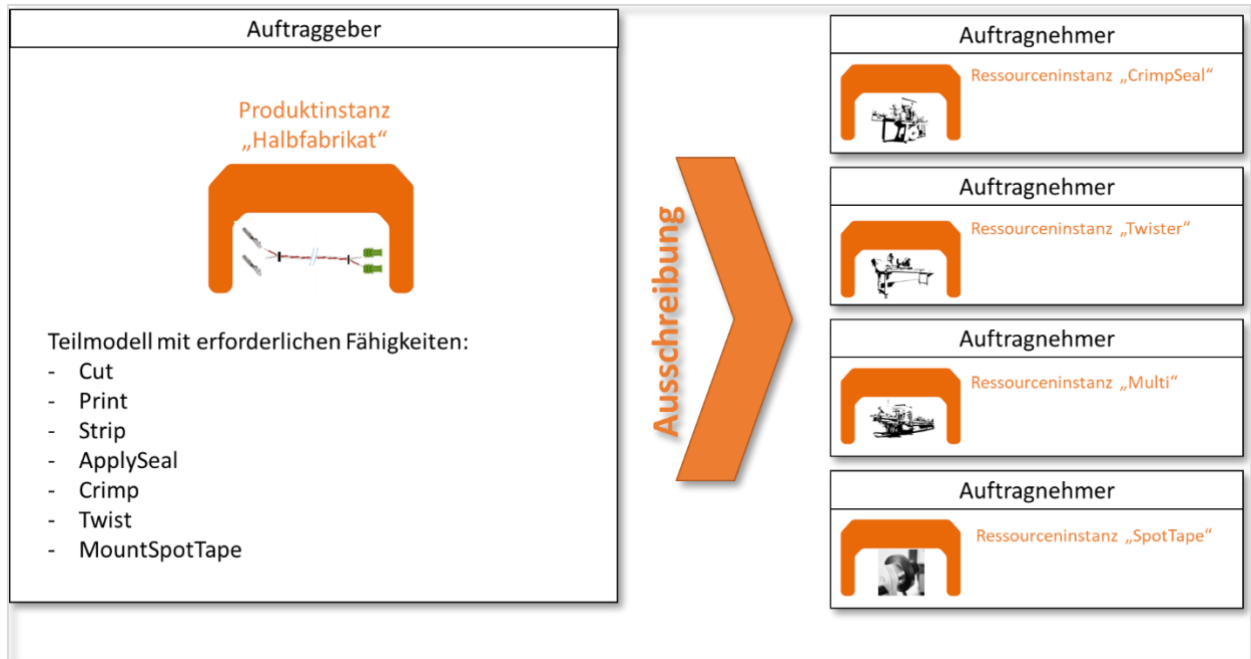


Abbildung 1: Verhandlungsszenario 1 „Order Driven Production“. (Quelle: Eigene Darstellung.)

2.1.5 Bezug zu VWS4LS Use Cases

Das Verhandlungsszenario „Order Driven Production“ adressiert in erster Linie den Use Case 4 „Automatisierung von flexiblen modularen Produktionsabläufen“. Mit dem Verhandlungsprozess wird die Grundlage für die Flexibilität innerhalb der Produktionsabläufe ohne zentrale Steuerungsinstanz geschaffen. So könnte z.B. nach dem Hinzufügen von zusätzlichen Produktionsmitteln mit neuen Fähigkeiten eine Zusteuerung von Produktionsaufträgen auf diese Produktionsmittel erfolgen, ohne dass ein zentraler Eingriff notwendig ist. Die Verhandlungsabläufe zwischen Produkt und Maschine und Maschine zu Maschine ermöglichen die Flexibilität in der Produktion, da sie kurzfristige Anpassungen erlauben und die Notwendigkeit für vorab stattfindende Planungsprozesse reduzieren.

Die im Szenario zu entwickelnden Möglichkeiten zum automatisierten Fähigkeitenabgleich sind im Use Case 2 „Berücksichtigen der automatisierten Produktionsfähigkeiten im Engineering“ relevant. Durch einen Verhandlungsprozess zwischen einer Typ-VWS zum Leitungssatz während des Engineering-Prozesses mit VWS von möglichen Produktionsressourcen können direkt Erkenntnisse zur automatisierten Produktionsfähigkeit gewonnen werden, indem man die Angebote der Produktionsressourcen aus dem Verhandlungsprozess entsprechend auswertet.

2.1.6 Bezug zu VWS4LS Teilprojekten

Die grundlegende Modellierung von geforderten und verfügbaren Fähigkeiten in der VWS sowie ein allgemeingültiger Algorithmus zum Fähigkeitenabgleich werden in TP 5 entwickelt. Das Datenmodell zum Produkt Leitungssatz wird in TP 1 definiert und die Grundlage zum Abbilden der Produktionsprozesse wird in TP 3 erarbeitet. In der automatisierten Verhandlung werden auf Daten zu Produkt, Prozess und Ressource zugegriffen, damit Algorithmen Machbarkeit und Kosten bewerten und daraus Entscheidungen ableiten können.

2.2 Verhandlungsszenario „Zukaufteil“

2.2.1 Kontext

Angenommen wird ein Produktionsauftrag für das in Verhandlungsszenario “Order Driven Production” definiertes Halbfabrikat „verdrilltes Leitungspaar“. Dieses Halbfabrikat soll als Unterauftrag an ein weiteres Unternehmen vergeben werden. Gefordert ist die komplette Herstellung des Halbfabrikats, wobei Freiheitsgrade bezgl. der eingesetzten Produktionsressourcen und der einzelnen Produktionsschritte bestehen.

Die Verwaltungsschalen auf Seite der Auftragnehmer repräsentieren in diesem Kontext nicht einzelne Produktionsmaschinen, sondern sind hierarchisch höher auf Ebene Fabrik oder Unternehmen angesiedelt und agieren als Softwareagent, der die Gesamtheit der in der Organisationseinheit zur Verfügung stehenden Produktionsressourcen vertritt.

Welche Unternehmen als Auftragnehmer in Frage kommen ist im Vorfeld geklärt worden. Die rechtlichen notwendigen Voraussetzungen, wie z.B. Abschluss eines Rahmenvertrags, der den automatisierten Verhandlungsprozess mit Delegation von Entscheidungen an die Softwareagenten regelt, werden als gegeben betrachtet. Die technischen notwendigen Kommunikationswege wurden im Vorfeld eingerichtet.

Auf Seite des Auftragnehmers erfolgt jeweils eine Prüfung der technischen Machbarkeit zur Herstellung des ausgeschriebenen Produktes. Ist eine Machbarkeit nicht gegeben, wird die Ausschreibung abgelehnt und eine Absage gesendet. Ansonsten wird zur Angebotserstellung ein Preis und ein Liefertermin ermittelt. Zur Umsetzung verschiedener Auswahlstrategien auf der Auftraggeberseite könnten weitere Informationen im Angebot notwendig sein, z.B. PCF-Daten. Es ist zu prüfen, welche Lösungsvorschläge oder Spezifikationen für den Nachrichteninhalte “Angebot” bereits vorhanden sind und welche Ansätze es gibt, um geforderte Angebotsinhalte zu kommunizieren. Gegebenenfalls sind entsprechende Vorschläge in AP 6.2 zu erarbeiten.

In einer Erweiterung des Verhandlungsszenarios “Zukaufteil” sind zusätzlich für jedes Produktionslos bei Produktionsstart Schliffbilder der Crimpterminals mit Messung und Beurteilung bezüglich Einhaltung der OEM- und Herstellervorgaben gefordert. Die Übermittlung der Bilder und Messergebnisse wird innerhalb der Instanz-Verwaltungsschalen der gelieferten Produkte erwartet. Die Anforderung wird in Form einer “Required Capability” bzw. eines “Required Service” mit der Ausschreibung kommuniziert und ist bei der Überprüfung der Machbarkeit auf Auftragnehmerseite mit den eigenen Fähigkeiten abzugleichen.

Neben Anforderungen an das Produkt kann es auch grundlegende Anforderungen an das Unternehmen bzw. die Unternehmensprozesse des Auftraggebers geben. Als Beispiel dient die Anforderung, das auf Auftragnehmerseite ein Informationssicherheitsmanagementsystem nach ISO 27001 etabliert ist. Zum Nachweis dient ein Security Certification Certificate (SCC) wie es im Diskussionspapier “Vertrauensinfrastrukturen im Kontext von Industrie 4.0” der Plattform Industrie 4.0 beschrieben ist. Es soll überprüft werden, ob die zu erarbeitenden Mechanismen zum Fähigkeitenabgleich auch dazu geeignet sind, Anforderungen zu SCC zu überprüfen.

2.2.2 Technische Rahmenbedingungen

Eine Instanz-VWS des Halbfabrikats, im Lebenszyklus Planungsstadium, fungiert auf Auftraggeberseite als Softwareagent, welcher ein Ausschreibungsverfahren initiiert. Auf Auftraggeberseite gibt es eine Registry von Verwaltungsschalen von potenziellen Auftragnehmern oder eine Liste mit Verweisen auf entsprechende Registries als Verzeichnis von Verzeichnissen.

Das Befüllen der Registry passiert während vorher stattfindender “Onboarding”-Prozesse neuer potenzieller Zulieferer. Evtl. liefert Catena-X hier über einen Unternehmensverzeichnis oder eine zentrale “Digital Twin Registry” die Lösung zum Auffinden der “Verhandlungspartner”-Verwaltungsschalen (Thema zur Abstimmung mit TP 8).

Zur Durchführung dieser Machbarkeitsprüfung kann die VWS auf Auftragnehmerseite wiederum ein weiteres Ausschreibungsverfahren an die internen Produktionsressourcen zur Herstellung des ausgeschriebenen Produktes starten, analog dem Ausschreibungsverfahren aus dem Verhandlungsszenario "Order Driven Production".

Ist die Machbarkeit gegeben wird der Prozess der Angebotserstellung angestoßen. Es ist eine automatisierte Bewertung des angefragten Produktes nach Herstellkosten notwendig. Zusätzlich zu den Herstellkosten werden in der Regel verschiedene Gemeinkostenzuschläge berücksichtigt, z.B. für Entwicklung oder Verwaltung. Die zu berücksichtigende Marge kann von verschiedenen Faktoren abhängen, z.B. vom anfragenden Kunden, vom angefragten Volumen, von der aktuellen Auslastung der Produktionsressourcen, etc. Für die technische Umsetzung der Angebotserstellung sind an den Eckpunkten zwei Strategien denkbar:

1. Angebotserstellung komplett innerhalb der VWS-Infrastruktur mit einem Preisfindungsalgorithmus, der innerhalb der verhandelnden VWS implementiert ist und Daten verwendet, die ausschließlich über VWS von Produkt, verwendeten Komponenten und verwendeten Ressourcen bereitgestellt werden
2. Angebotserstellung außerhalb der VWS-Infrastruktur, delegiert an ein System (z.B. ERP oder Vertriebssystem) dass definierte Daten über API-Aufruf erhält (Stückliste, Prozessliste) und als Rückgabewert den Angebotspreis und Liefertermin zurückgibt.

Auf Auftraggeberseite müssen mehrere eingegangene Angebote miteinander verglichen werden. Dazu ist zunächst einmal ein Speicher für die eingegangenen Angebote erforderlich. Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit ist eine Anforderung denkbar, die eingegangenen Angebote auch nach der Entscheidung aufzubewahren. Es soll versucht werden, die Speicherung der Angebotsdaten über eine entsprechendes Teilmodell der VWS abzubilden.

2.2.3 Erwartete Ergebnisse

Im Verhandlungsszenario 2 werden die Nachrichten zwischen Typ 3 VWS über Unternehmensgrenzen hinweg ausgetauscht. Es ist zu prüfen, ob das Dataspace Konzept (Catena X / Tractus X) kompatibel ist zu dem gewählten technischen Weg für den Nachrichtenaustausch.

In diesem Zusammenhang sollen Anforderungen an die VWS-Infrastruktur in Bezug auf Sicherheit, Datenschutz sowie Benutzer- und Rechteverwaltung (als Input für TP 8) ermittelt werden.

Die für Verhandlungsszenario 1 definierten Interaktionsprotokolle und Spezifikationen zum Nachrichtenaufbau sollen für das unternehmensübergreifende Szenario erweitert werden.

Für die automatisierte Erstellung eines Angebots im kaufmännischen Sinne wird in der Praxis die Integration eines ERP-System notwendig sein, in dem z.B. Einkaufspreise für die verwendeten Rohmaterialien oder Kalkulationsschemata für die Ermittlung einer Preisuntergrenze abgebildet sind. Hierzu soll exemplarisch aufgezeigt werden, wie eine Integration von weiteren, nicht AAS-basierten Systemen darstellbar ist.

2.2.4 Bezug zu VWS4LS Use Cases

Mit unternehmensübergreifenden automatisierten Verhandlungsprozessen wird insbesondere die Automatisierung des Änderungsmanagements entlang der gesamten Wertkette unterstützt, da die Entscheidungen über Machbarkeit und Preisfindung sowie die Prozesse zur Beauftragung automatisiert werden.

2.2.5 Bezug zu VWS4LS Teilprojekten

In Teilprojekt 8 werden die Grundlagen für einen sicheren Datenaustausch über Unternehmensgrenzen hinweg erarbeitet. Die dort erarbeiteten Grundlagen zur Nutzung von Dataspaces zum verteilten Zugriff auf Verwaltungsschalen werden als Voraussetzungen für den Zugriff auf Produktdaten und geforderte Fähigkeiten im Rahmen des Ausschreibungsverfahrens

angesehen. Konzepte wie Unternehmensverzeichnisse ermöglichen das Auffinden von möglichen Auftragnehmern.

2.3 Verhandlungsszenario „Synchronisation von Werten zwischen Verwaltungsschalen“

Im TP 2 wurde im Rahmen des Konzeptes „Single Point of Truth“ eine Verlinkung von verschiedenen VWS zum selben Typ einer Leitungssatzkomponente definiert. Die verschiedenen VWS bilden die Sichten der verschiedenen Partner in der Wertschöpfungskette des Leitungssatzes auf dasselbe Asset, also dieselbe Komponente, ab. In diesem Zusammenhang wurde eine technische Lösung zur Synchronisierung von Änderungen an den Teilmodellen und Teilmodellelementen zwischen den verlinkten Verwaltungsschalen gefordert.

Ziel ist es für diesen Synchronisierungsvorgang ein semantisches Protokoll zwischen zwei Typ 3 VWS zu entwickeln, angelehnt an das Ausschreibungsverfahren. Die VWS, in der die Wertänderung vorgenommen wurde, initiiert den Dialog zu den verlinkten VWS und sendet eine Nachricht mit der Wertänderung. Zum Senden wird die in den vorhergehenden Szenarien eingeführte Operation für I4.0-Nachrichten verwendet.

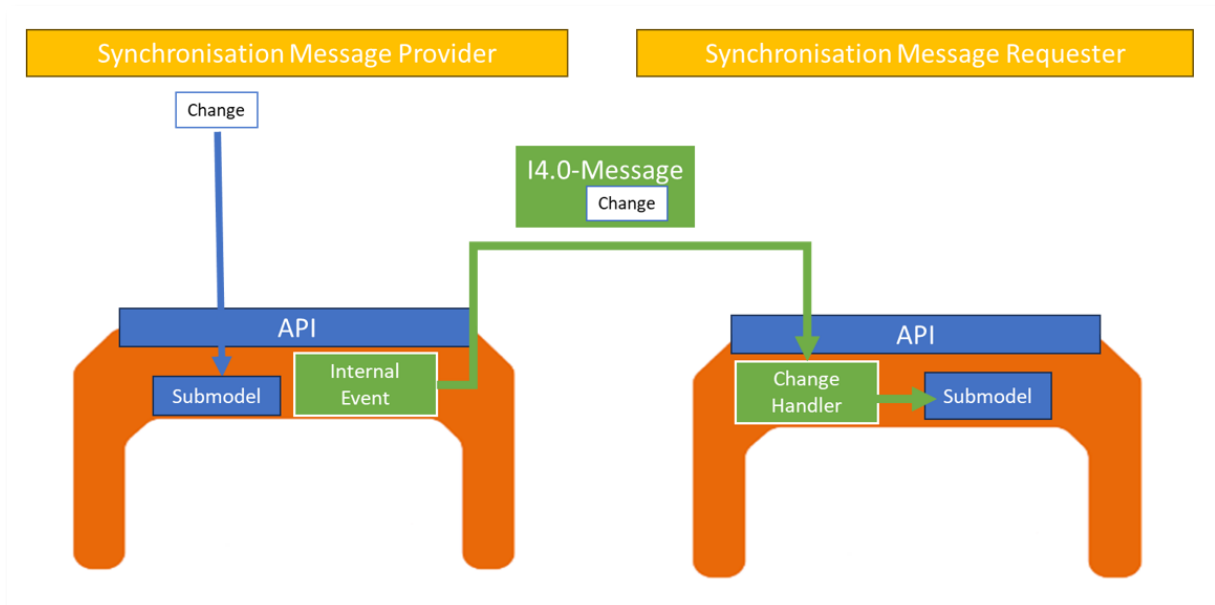


Abbildung 2: Nutzung der I4.0-Nachricht für Synchronisation von Änderungen an Teilmodellen.
(Quelle: Eigene Darstellung.)

Die empfangende VWS führt auf ihrer Seite eine Machbarkeits- oder Plausibilitätsprüfung bzgl. des neuen Zielwertes durch (siehe Komponente „Change Handler“ in Abbildung 2). Gegebenenfalls kann vor Übernahme der Wertänderung auf der Empfängerseite ein Freigabeprozess integriert werden. Erst nach erfolgreicher Machbarkeitsprüfung und ggf. erfolgter Freigabe wird die Wertänderung in der empfangenden VWS umgesetzt und es erfolgt eine Rückmeldung an die VWS, welche die Wertänderung propagiert hat. Auch im Falle, dass die Änderung in der empfangenden VWS nicht umgesetzt wird, erfolgt eine entsprechende Rückmeldung. So kann auch die aufrufende VWS eine Übersicht über den Synchronisierungszustand führen.

2.4 Verhandlungsszenario „Einsatz im Änderungsmanagement“

Die in den beiden Verhandlungsszenarien zum Ausschreibungsverfahren und zur Synchronisierung erarbeiteten Mechanismen sollen verwendet werden, um die Informationsverteilung und Abstimmungsprozesse in der Erarbeitung und in der Umsetzung einer technischen Änderung am

Leitungssatz zu unterstützen. Gegebenenfalls werden die Spezifikationen zu den semantischen Protokollen und zu den Nachrichten anhand dieses Szenarios noch erweitert oder verfeinert.

3 Technische Umsetzung der Verhandlungskonzepte

Um die Interoperabilität von I4.0-Komponenten zu realisieren, ist auch die Technologie für die Kommunikation zwischen den VWS des Typs 3 zu spezifizieren.

Das Diskussionspapier der Plattform Industrie 4.0 "Verwaltungsschale in der Praxis" benennt als mögliche Technologien für die Interaktion zwischen aktiven Verwaltungsschalen OPC UA sowie die Protokolle MQTT, AMQP und HTTP. Als einfachste Form der Interaktion wird der API-Zugriff einer proaktiven VWS (Typ 3) auf eine reaktive VWS (Typ 2) beschrieben.

Da für den Nachrichtenaustausch im Rahmen des semantischen Protokolls "Ausschreibungsverfahren" weder in OPC UA eine Spezifikation vorliegt noch eine auf den anderen genannten technischen Protokollen eine Spezifikation bekannt ist, wird vorgeschlagen, die REST-API der VWS auch für die horizontale Kommunikation zwischen zwei VWS vom Typ 3 zu nutzen (siehe Abbildung).

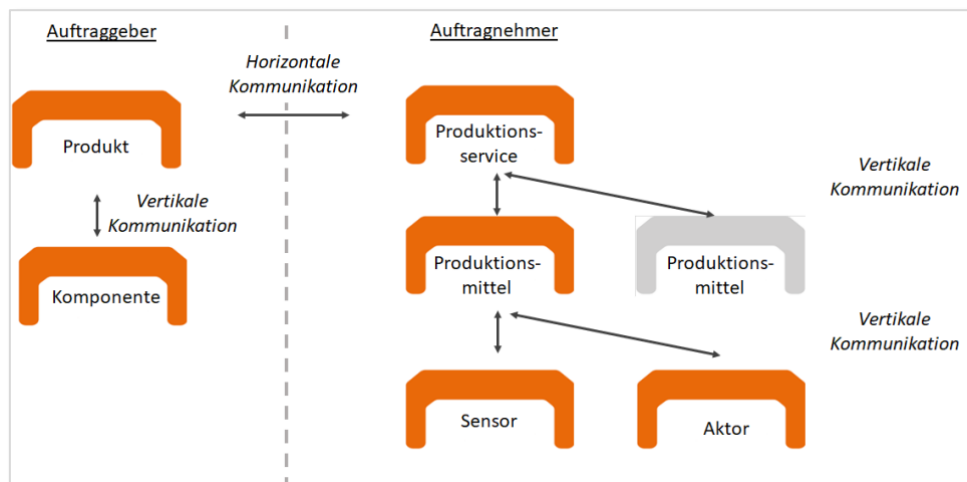


Abbildung 3: Horizontale Kommunikation zwischen zwei Verwaltungsschalen vom Typ 3. (Quelle: Eigene Darstellung.)

"Verwaltungsschale im Detail – Teil 2" beschreibt das Konzept einer Operation, die über das Interface "Submodel" mit den Methoden "InvokeOperationSync" oder "InvokeOperationAsync" aufgerufen werden kann, (Industrial Digital Twin Association e.V. (IDTA), Frankfurt).

In der REST-API wird für den Aufruf der "invoke"-Endpunkt zur Verfügung gestellt und zum Abholen der Ergebnisse eines asynchronen Aufrufs der Endpunkt "operation-results".

Das in AP 6.1 erarbeitete Konzept sieht vor, für die Fähigkeit zur Teilnahme am semantischen Protokoll "Ausschreibungsverfahren" in der Rolle "Auftraggeber" oder "Auftragnehmer" ein Teilmodell zu erstellen, welches eine Operation vorsieht, mit der die Nachrichten des Interaktionsprotokolls ausgetauscht werden können.

Die Operation erhält eine Implementierung in der VWS-Middleware, welche die Nachricht an eine interne Workflow-Engine weiterleitet, welche dann die Verarbeitung der Nachricht und daraus abgeleitete Reaktionen orchestriert.



Abbildung 4: Ausschreibungsverfahren zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. (Quelle: Eigene Darstellung.)

Während der Verhandlung laufen sowohl auf Seite des Auftraggebers als auch auf Seite der Auftragnehmer Entscheidungsalgorithmen ab. So ist z.B. der Inhalt der Ausschreibung zu analysieren, eine technische Machbarkeit zur Umsetzung der Ausschreibung zu prüfen, ein Angebot zu erstellen, die eingegangenen Angebote zu analysieren und eine Entscheidung zur Angebotsannahme bzw. -ablehnung zu treffen. Statt diese Algorithmen in Form von Programmcode in der VWS zu hinterlegen oder in einem VWS-Repository zu implementieren, wurde im TP 6 entschieden einen "Low-Code"-Ansatz umzusetzen. Dazu ist geplant in AP 6.2 einen Demonstrator aufzubauen, der ein VWS-Repository mit einer BPMN-Workflowengine kombiniert. Die Entscheidungsalgorithmen werden in BPMN modelliert und innerhalb der Workflowengine ausgeführt. In Abbildung 5 ist eine Beispielimplementierung für einen Algorithmus auf der Auftragnehmerseite des Ausschreibungsverfahrens dargestellt. Aus dem Workflow heraus können Teilmodelle bzw. -elemente der VWS abgefragt werden. Operationen, die auf die VWS aufgerufen werden, und Wertänderungen in der VWS können Ereignisse in der Workflowengine auslösen.

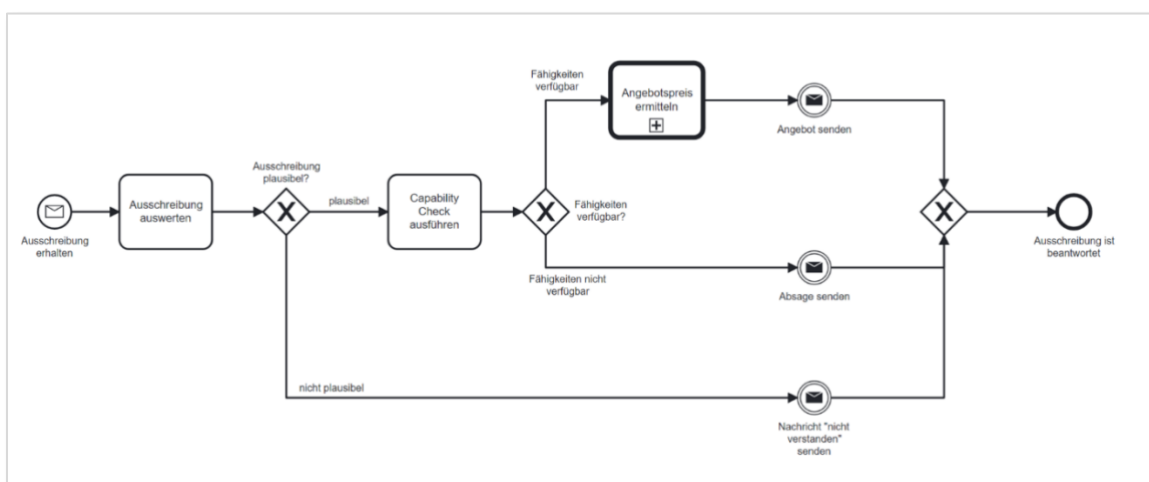


Abbildung 5: Beispielimplementierung für einen Algorithmus. (Quelle: Eigene Darstellung.)

Ein erster Proof-of-Concept wurde bereits in AP 6.1 mit der Open Source Workflow-Engine "Flowable" unter Verwendung des Basyx SDK umgesetzt. Die Verwendung von BPMN zur Implementierung der Typ 3 VWS soll dabei transparent für die anderen Systeme sein, die mit der VWS interagieren. Dies wird dadurch erreicht, indem die Interaktion ausschließlich mit der API der VWS erfolgt und niemals direkt mit der API der Workflow Engine.

Durch den Einsatz der Low-Code Technologie soll eine einfache Anpassbarkeit des Verhaltensmodells der Typ 3 VWS über den gesamten Lebenszyklus des Assets hinweg gewährleistet werden. Die BPMN mit ihrer graphischen Darstellung liefert den Mehrwert einer Übersicht des Verhaltensmodells und ist insbesondere auch geeignet den aktuellen Zustand eines laufenden Verhandlungsprozesses für den Menschen zu visualisieren. Dies hat Relevanz für die Untersuchungen in Rahmen des Forschungsprojektes und es wird erwartet, dass auch im praktischen Einsatz Monitoring- und Analyseaufgaben anfallen werden, bei denen die graphische Notation unterstützt.

Literaturverzeichnis

- Industrial Digital Twin Association e.V. (IDTA). (Frankfurt). *Specification of the Asset Administration Shell Part 2: Application Programming Interfaces – IDTA Number: 01002-3-0*. 2023. Abgerufen am 17. Februar 2024 von https://industrialdigitaltwin.org/content-hub/aasspecifications/idta_01002-3-0_application_programming_interfaces
- Plattform Industrie 4.0. (2021). *Interoperability at Runtime - Exchanging Information via Application Programming Interfaces*. Berlin: Plattform Industrie 4.0. Von https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Details_of_the_Asset_Administration_Shell_Part2_V1.pdf?__blob=publicationFile&v=1 abgerufen

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Verhandlungsszenario 1 „Order Driven Production“..... 5
- Abbildung 2: Nutzung der I4.0-Nachricht für Synchronisation von Änderungen an Teilmodellen..... 8
- Abbildung 3: Horizontale Kommunikation zwischen zwei Verwaltungsschalen vom Typ 3. 9
- Abbildung 4: Ausschreibungsverfahren zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. 10
- Abbildung 5: Beispielimplementierung für einen Algorithmus..... 10

Abkürzungsverzeichnis

AAS.....	Asset Administration Shell, engl. Begriff für Verwaltungsschale
AMQP	Advanced Message Queueing Protocol
AP	Arbeitspaket
API.....	Application Programming Interface, Programmierschnittstelle
BPMN	Business Process Model and Notation
ERP	Enterprise Resource Planning
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
MQTT.....	Message Queuing Telemetry Transport
OEM.....	Original Equipment Manufacturer
OPC UA.....	OPC Unified Architecture, Standard für den Datenaustausch
PCF.....	Product Carbon Footprint
REST	Representational State Transfer
SDK	Software Development Kit
TP	Teilprojekt
VWS.....	Verwaltungsschale