OPEN INDUSTRY 4.0 ALLIANCE

Whitepaper

Digital Twin: Production of Tomorrow — The "Not-Your-Average-Paper"

(Dt. Version)



ABDRUCK

Verlag

Open Industriy 4.0 Alliance

Christoph Merian-Ring 12, 4153 Reinach, Schweiz

https://openindustry4.com

info@openindustry4.com

Status

Datei: Digital Twin: Production of Tomorrow — The “Not-Your-Average-Paper”

11. November 2024 – Version 1.0

Herausgeber

Lucas Wolf (Open Industry 4.0 Alliance)

Autoren

Isabella Lichtenstern (KUKA),

Christian Methe (TWINDUSTRIAL)

Rüdiger Fritz (TWINDUSTRIAL)

Ugur Dogan (DMG MORI)

Christoph Hock (Open Industry 4.0 Alliance)

Dr. Christian Liedtke (KUKA)

Ingo Sawilla (Trumpf)

Übersetzung:

Dieses Dokument wurde automatisch übersetzt. Die englische Original-Datei kann auf der Homepage der Open Industry unter dem folgenden Link heruntergeladen werden:

https://openindustry4.com/fileadmin/Dateien/Downloads/WhitePaper_DigitalTwin_ProductionOfTomorrow.pdf

Abstrakt

Stellen Sie sich eine Zukunft vor, in der Produktionssysteme nicht nur effizient, sondern auch intelligent sind, in der Maschinen, Produkte und ganze Fabriken nahtlos miteinander kommunizieren, sich in Echtzeit anpassen und autonom arbeiten. Dieses Whitepaper stellt eine Vision für diese Zukunft vor, die sich auf das Konzept der digitalen Zwillinge konzentriert. Mit der Abkehr von starren, veralteten Systemen ist das Potenzial für digitale Zwillinge, die Produktion zu revolutionieren, enorm. Sie eröffnen Möglichkeiten, die heutigen fragmentierten Produktionssysteme in vollständig vernetzte, sich selbst optimierende Umgebungen zu transformieren. Darüber hinaus untersuchen wir, wie diese digitalen Zwillinge die Belastung durch sich wiederholende Aufgaben reduzieren können, sodass sich menschliche Talente auf Innovation, Problemlösung und strategisches Wachstum konzentrieren können.

Um diese Vision greifbarer zu machen, haben wir die Evolution der digitalen Zwillinge in sechs verschiedene Phasen unterteilt, die jeweils einen wichtigen Schritt in ihrer Entwicklung darstellen - von der grundlegenden Datenerfassung bis zur vollständigen Autonomie. Ähnlich wie auf dem Weg des Erwachsenwerdens zeigen diese Phasen, wie digitale Zwillinge reifen und Fähigkeiten erwerben, um letztendlich die Welt von morgen zu verändern.

Begleiten Sie uns, wenn wir diese sechs Phasen aufschlüsseln und zeigen, wie sich digitale Zwillinge nach und nach zu vollständig autonomen Systemen entwickeln. Mit jeder Phase sehen Sie, wie die Zukunft der Produktion Gestalt annimmt und in der intelligente, vernetzte Systeme die Möglichkeiten in der Fertigung neu definieren und die Grenzen von Effizienz, Anpassungsfähigkeit und Innovation verschieben.

Inhaltsverzeichnis

Abstrakt **3**

1 **Einleitung** **5**

2 **Bevor wir loslegen - klären wir zunächst ein paar Begriffe** **6**

2.1 Der digitale Datencontainer 6
2.2 Der digitale Zwilling 6
2.3 Der autonome Avatar 7

3 **6 Phasen des Erwachsenwerdens: Der Weg zu autonomen Avataren in der Produktion von Morgen** **8**

3.1 Phase 1: Die Kindheit eines digitalen Datencontainers 8
3.2 Phase 2: Gelerntes anwenden – der digitale Zwilling 9
3.3 Phase 3: Der Schritt ins Erwachsenenalter – Der autonome Avatar nimmt Berechnen 10
3.4 Phase 4: Zusammenarbeit im Erwachsenenalter – Autonome Avatare funktionieren Zusammen 12
3.5 Phase 5: Herausforderungen annehmen – Autonome Avatare im Wettbewerb 13
3.6 Phase 6: Netzwerke ausbauen – Autonome Avatare jenseits Grenzen 14

Fazit: Der Weg in die Zukunft **16**

1 Einleitung

Die globale Produktion befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel, da sich die Industrien von den stabilen, optimierten Systemen der Vergangenheit entfernen und sich an neue, sich verändernde Bedingungen anpassen. Die wachsende Anerkennung des Wertes von Daten unterstreicht die Notwendigkeit, Produktionsprozesse zu überdenken und zu modernisieren. Jetzt ist es an der Zeit, sich mit der Zukunft der Fertigung zu befassen und sowohl die Lücken in den heutigen Systemen als auch die notwendigen Schritte zu identifizieren, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Aktuelle technologische Lösungen sind zwar fortschrittlich, aber oft fragmentiert und nicht in der Lage, nahtlos über Systeme hinweg zu funktionieren. So können sich Roboter mit Kamerasystemen heute in komplexen Umgebungen zurechtfinden und ihre Aktionen optimieren, sind aber immer noch durch ihre Unfähigkeit eingeschränkt, selbstständig mit anderen Systemen zu interagieren oder Echtzeit-Feedback zu geben. Diese Einschränkungen erfordern ständige menschliche Eingriffe, was den Betrieb verlangsamt, die Fehlerquoten erhöht und die Gesamteffizienz verringert. Der Faktor Mensch in der Produktion ist viel zu wertvoll, um ihn mit sich wiederholenden Rüstvorgängen belasten zu müssen, die von autonomen Systemen übernommen werden sollten.

In diesem White Paper stellen wir eine Vision für die Produktion von morgen vor. Wir konzentrieren uns auf das Konzept der digitalen Zwillinge, die als umfassende digitale Repräsentationen von Produkten, Maschinen und Anlagen beschrieben werden können. Digitale Zwillinge können eine Lösung für viele der Herausforderungen bieten, mit denen die moderne Fertigung konfrontiert ist, indem sie eine größere Interaktion, Autonomie und nahtlose Zusammenarbeit zwischen Systemen ermöglichen und so die Grundlage für eine flexiblere, effizientere und vernetztere Produktionsumgebung schaffen.

2 Bevor wir loslegen – klären wir zunächst ein paar Begriffe

In diesem Kapitel möchten wir einige wichtige Begriffe klären, auf die im gesamten Dokument Bezug genommen wird . Wir werden über den digitalen Datencontainer, den digitalen Zwilling und den autonomen Avatar sprechen – drei Schlüsselbegriffe, die für das Verständnis der hier vorgestellten Gesamtgeschichte und Idee entscheidend sind . Zunächst stellen wir den digitalen Datencontainer vor, der als strukturiertes Repository für Informationen fungiert. Als Nächstes untersuchen wir, wie es zu einem digitalen Zwilling wird, sobald es die Fähigkeit zur Interaktion und Zusammenarbeit erlangt. Schließlich erklären wir das Konzept des autonomen Avatars, einer fortschrittlicheren Form des digitalen Zwillings, der autonom agieren kann. Diese Begriffe werden in den folgenden Abschnitten eine zentrale Rolle spielen, daher ist es wichtig, sich ein klares Verständnis von jedem zu verschaffen.

2.1 Der digitale Datencontainer

Der digitale Datencontainer ist ein umfassendes, standardisiertes Repository, das alle relevanten Informationen über den Lebenszyklus eines Produkts sammelt und speichert. Ein Produkt ist nicht unbedingt etwas, das das "zu produzierende Objekt" sein muss – es kann auch ein Werkstück oder Werkzeug sein. Es dient als Single Source of Truth, in der Daten aus verschiedenen Systemen - wie ERP, MES und CAD/CAM - zentralisiert werden. Der Container ist über eine eindeutige ID zugänglich und enthält wichtige Daten für Produktionsanlagen und das Produkt selbst und bietet einen einheitlichen, flexiblen Raum für die Speicherung und den Austausch von Informationen. Der Container selbst führt jedoch keine Aktionen aus und interagiert nicht mit anderen Systemen, sondern speichert und organisiert lediglich die Daten. Was macht den Container nun wirklich rentabel?

Zusammenfassend lässt sich sagen: Der digitale Datencontainer speichert Informationen.

2.2 Der digitale Zwilling

Das Konzept des digitalen Zwillings ist eines der prominentesten Schlagworte im Kontext von Industrie 4.0. Während die Idee eines digitalen Zwillings im industriellen Umfeld häufig diskutiert wird, wird sie oft auf unterschiedliche Weise verstanden. Diese unterschiedlichen Interpretationen haben zu einer Vielzahl von digitalen Ansätzen geführt, von denen viele nicht gut skalieren – und das ist ein Problem. Daher werden standardisierte digitale Zwillinge als Drehscheibe für einen nahtlosen Informationsfluss in industriellen Produktionsprozessen immer wichtiger.

Im Kontext der "Produktion von morgen" definieren wir den digitalen Zwilling weiter. Wir verstehen darin einen umfassenden, lebenszyklusübergreifenden, standardisierten digitalen Datencontainer, der bei Bedarf in vertretbaren Grenzen mit den Containern anderer physischer Pendants interagieren kann. Ein digitaler Datencontainer „entwickelt“ sich zu einem digitalen Zwilling, sobald er die Fähigkeit zur Interaktion und Zusammenarbeit erlangt, wodurch er über ein einfaches Speichertool hinausgeht. Diese Fähigkeit zur Interaktion ist ein entscheidender Faktor für die Verwirklichung einer hochautonomen Produktion.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Begriff digitaler Zwilling verwendet wird, wenn der digitale Datencontainer interagiert und zusammenarbeitet.

2.3 Der autonome Avatar

Ganz neu ist das Konzept eines interoperablen digitalen Zwillings. In der IT-Welt wird eine ähnliche Funktion als "autonomer Agent" bezeichnet. Ein autonomer Agent reagiert nicht nur auf seine Umwelt, sondern beeinflusst diese auch aktiv, um seine vordefinierten Ziele zu erreichen. In der IT denkt man bei diesem Begriff jedoch typischerweise an hochspezialisierte Softwareprogramme, die für eng definierte Anwendungsfälle konzipiert sind. Es gibt auch vergleichbare Konzepte, wie die "proaktive Verwaltungsschale" (eingeführt von der IDTA – Industrial Digital Twin Association e.V.) oder ähnliche Ansätze, die versuchen, diesen Gedanken der Interaktion und Autonomie zu erfassen.

Begriffe wie interoperabler digitaler Zwilling, proaktive Verwaltungsschale und autonomer Agent könnten gleichwertig sein, vorausgesetzt, sie beziehen sich alle auf das gleiche Konzept. Dies würde jedoch wahrscheinlich zu einer semantischen Debatte führen, die die Aufmerksamkeit von der Kernidee ablenkt. Um sich nicht daran festzuhalten, schlagen wir das Konzept des "autonomen Avatars" vor. Ein Avatar ist in seiner gängigen Definition eine digitale Repräsentation, die als Stellvertreter fungiert. Im Kontext der Produktion vermittelt dieser Begriff eine breitere Vision, die autonome Interaktion, standardisierte Informationsmodellierung und – vor allem – den Bruch mit den traditionellen Denkmustern verbindet.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Ein autonomer Avatar ist ein digitaler Zwilling, der autonom agiert.

3 6 Phasen des Erwachsenwerdens: Der Weg zu autonomen Avataren in der Produktion von morgen

Um die Konzepte zugänglicher zu machen und ein wenig Leichtigkeit in das Thema zu bringen, verwenden wir die Analogie des Erwachsenwerdens. So wie ein Kind grundlegende Fähigkeiten erlernt, bevor es völlig unabhängig wird, verläuft die Entwicklung autonomer Avatare in der Produktionsumgebung auf einem ähnlichen Weg. In den kommenden Abschnitten erklären wir, wie diese Avatare zunächst die Grundlagen erlernen, wie das Sammeln und Speichern von Informationen, bevor sie ihre ersten Schritte in der Interaktion mit anderen Systemen machen und sich schließlich weiterentwickeln, um unabhängige Entscheidungen zu treffen und Prozesse autonom zu steuern. Auf diesem Weg liegt unser Fokus weiterhin auf der Steigerung von Effizienz, Flexibilität und Resilienz in der "Produktion von morgen".

3.1 Phase 1: Die Kindheit eines digitalen Datencontainers



In der ersten Phase stellen wir den digitalen Datencontainer vor , der sich wie ein Kind in den ersten Lebensjahren im Lernprozess befindet. In dieser Phase werden Datencontainer für alle wichtigen Produktionsressourcen wie Roboter, Prozesswerkzeuge oder Förderbänder erstellt und mit allen relevanten Informationen befüllt. Sogar das Produkt selbst erhält einen eigenen Datencontainer, der über seinen Lebenszyklus wächst und wichtige Details sammelt und speichert. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich alle Informationen nun zentral und bilden eine einzige Quelle der Wahrheit, auf die über eine eindeutige ID zugegriffen werden kann

sowohl von Menschen als auch von Systemen. Wie ein Kind, das noch die Grundlagen lernt, interagiert der Behälter jedoch noch nicht mit anderen Systemen oder trifft selbstständig Entscheidungen - er speichert einfach das, womit er gefüllt wurde. Diese Container funktionieren in dieser Phase ähnlich wie herkömmliche Dateiverknüpfungen, die für Systeme, Geschäftspartner oder andere Beteiligte freigegeben werden können. Je nach Rolle und Verantwortung des Benutzers dient der Container sowohl als Datenquelle als auch als systemunabhängiger Speicherort für neue Informationen. Im Wesentlichen verhält es sich wie ein kleines Kind, das Wissen aus verschiedenen Quellen sammelt – Eltern, Natur, Freunde und... Whitepaper natürlich.

Auch die Flexibilität dieser Behälter ist entscheidend. Diese Container können an flexiblen Standorten gelagert werden, entweder hybrid oder dezentral. Sie sammeln und organisieren passiv Informationen und tragen so dazu bei, dass alles, was für die Produktion benötigt wird, an einem Ort ist. Mit anderen Worten, in dieser Anfangsphase fließen die Daten zum Werkstück und seiner Produktion aus verschiedenen bestehenden Unternehmenssystemen in den Datencontainer. Ziel ist es, alle digital verfügbaren Informationen für das zu bearbeitende Werkstück zu sammeln und bereitzustellen. Zum Beispiel:

- Bestelldaten aus einem ERP-System
- Planungs- und Ausführungsdaten aus einem MES-System
- Konstruktions- und Fertigungsdaten aus CAD/CAM- und PDM/PLM-Systemen

Diese Daten werden entweder referenziert oder in den Container des Werkstücks kopiert und anschließend vereinheitlicht. Der Behälter enthält zum Beispiel den Produktionsplan, den Programmnamen für den nächsten Maschineneinsatz, die Montageanleitung für anstehende Aufgaben und vieles mehr. Über den gesamten Lebenszyklus eines Werkstücks, der weit über den eigentlichen Produktionsprozess hinausgeht, erweist sich dieser passive, systemunabhängige Behälter als wertvoll. Es kann für die Rückverfolgung verwendet werden, z. B. um Feedback zu abgeschlossenen Arbeiten zu geben, oder für andere wichtige Aufzeichnungen, wie z. B. die Überprüfung von Wartungsintervallen oder die Verfolgung des Product Carbon Footprint (PCF).

Konzentrieren wir uns nicht nur auf die Grenzen des Produkts selbst. Um wirklich Autonomie zu erreichen, müssen wir alle Aspekte der Produktion berücksichtigen. Jeder Teil des Prozesses spielt eine entscheidende Rolle. Neben dem Produkt, das bei der Bearbeitung eines Werkstücks entsteht, erhalten die Werkzeuge wie oben beschrieben auch eigene digitale Datencontainer. Der Container für ein Werkzeug enthält wichtige Informationen wie Nutzungsrichtlinien, technische Anforderungen wie Leistungs- und Spannungsspezifikationen, Maschinenkompatibilität und die für die Bedienung des Werkzeugs erforderliche Mitarbeiterschulung. Ebenso haben auch Maschinen eigene Container für ihre digitalen Modelle. Diese Behälter spiegeln wichtige Details wider, wie z. B. die Verarbeitungsmöglichkeiten der Maschine, ihren aktuellen Betriebszustand und die Toleranzen, die sie verarbeiten kann. So wie jede Komponente in einer Produktionslinie synchron arbeiten muss, sorgen diese Datencontainer dafür, dass jedes Werkzeug und jede Maschine digital integriert ist, und unterstützen so den schrittweisen Wandel hin zur Autonomie.

3.2 Phase 2: Gelerntes anwenden – der digitale Zwilling



In Phase 2 gehen wir über die einfache Datenspeicherung hinaus. Gerade als ein junger Erwachsener beginnt, das Gelernte anzuwenden, tritt nun der digitale Zwilling in Erscheinung, interagiert aktiv und führt Aufgaben aus. Diese Aktionen basieren jedoch weiterhin auf früheren Erfahrungen und vordefinierten Regeln. Der Zwilling hat noch nicht die volle Autonomie erreicht, nutzt aber das vorhandene Wissen, um Entscheidungen zu treffen und Aufgaben auszuführen. Aufbauend auf den zentralisierten Daten aus Phase 1 wird in Phase 2 das Fundament für die Produktion von morgen weiter gefestigt.

Wir haben es nicht mehr mit passiven Informationscontainern zu tun, die wie Dateiverknüpfungen funktionieren. Damit Softwaresysteme die Produkt-, Werkzeug- und Maschinencontainer miteinander "kommunizieren" können, ist es entscheidend, dass die Daten semantisch klar strukturiert und beschrieben werden.

Mit anderen Worten, alle Daten müssen demselben "Wörterbuch" folgen, um sicherzustellen, dass jeder die gleiche Sprache spricht.

In dieser Phase "entwickelt" sich der vorherige Container zu einem standardisierten digitalen Zwilling, da alle Informationen nun einem einheitlichen semantischen Framework folgen. Eine zentrale Logik orchestriert diese Interaktionen, initiiert und ermöglicht die Kommunikation zwischen den standardisierten digitalen Zwillingen und steuert den Produktionsprozess. Das System fragt zum Beispiel den digitalen Zwilling des Produkts für den nächsten Produktionsschritt und das zugehörige Programm ab, verarbeitet diese Informationen und leitet sie dann an die entsprechende Maschine weiter, um deren Bedienung mit den notwendigen Anweisungen zu versorgen. Während der digitale Zwilling heute in der Lage ist, zu interagieren, Entscheidungen zu treffen und auszuführen, ähnlich wie ein junger Erwachsener, der das erworbene Wissen nutzt, sind seine Handlungen immer noch in vordefinierten Richtlinien und nicht in einer unabhängigen Entscheidungsfindung verwurzelt. Diese Phase markiert einen bedeutenden Sprung nach vorne, aber wahre Autonomie liegt noch vor uns.

3.3 Phase 3: Der Schritt ins Erwachsenenalter – Der

autonome Avatar übernimmt die Verantwortung



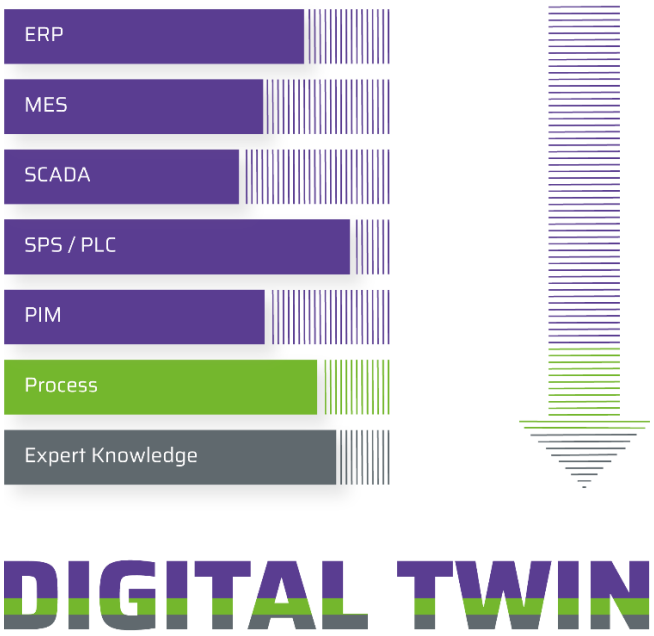
Nach der Etablierung standardisierter digitaler Zwillinge, die bisher von einer übergeordneten Logik gesteuert wurden, verlagert sich nun ein Teil dieser Steuerung in den produkteigenen digitalen Zwilling. Das bedeutet, dass Funktionalitäten, die traditionell von Systemen wie MES und SCADA übernommen werden, wie z. B. Maschinenparameter und Sollwerte, nach und nach in die Verantwortung des zunehmend interoperablen digitalen Zwillings des Produkts übergehen. Diese Verschiebung ermöglicht es dem Zwilling, autonome Entscheidungen zu treffen, wie z. B. die Auswahl aus alternativen Produktionssequenzen oder die Wahl zwischen verfügbaren Maschinen auf der Grundlage des Arbeitsplans und seiner definierten Freiheitsgrade. In Phase 3 entwickelt sich der digitale Zwilling zu einem autonomen Avatar, ähnlich wie ein Erwachsener, der über die bloße Anwendung von erlerntem Wissen hinaus gereift ist. Jetzt beginnt sie, unabhängige Entscheidungen zu treffen, indem sie ihre eigene Logik und Argumentationsfähigkeit einsetzt. Der Avatar folgt nicht mehr nur vordefinierten Anweisungen, sondern ist in der Lage, neue Erkenntnisse zu analysieren und abzuleiten und ein tieferes Verständnis anzuwenden, um sich in seiner Umgebung zurechtzufinden.

In dieser Phase kann der Avatar des Produkts gemäß seinem Workflow-Plan autonom bestimmen, mit welchen Maschinen oder Prozessen er sich als nächstes beschäftigen soll. Wenn alternative Wege oder Maschinen für die Bearbeitung zur Verfügung stehen, bewertet der Avatar seine Optionen innerhalb der vorgegebenen Parameter und wählt die optimale Route aus. Menschlicher Input, wie z. B. Erkenntnisse von Produktionsplanern, sind jedoch nach wie vor von entscheidender Bedeutung. Diese von Menschen bereitgestellten Erfahrungen und Kenntnisse

Fördern Sie die Fähigkeit des Avatars, autonome Entscheidungen zu treffen, ähnlich wie ein Erwachsener, der sich sowohl auf erlernte Fähigkeiten als auch auf externe Ratschläge stützt. Die Transformation vom digitalen Zwilling zum autonomen Avatar umfasst nun:

- Semantisch strukturierte Daten, klar beschrieben für eine präzise Interpretation.
- Eine Regel-Engine, die in der Lage ist, Regeln zu verarbeiten und Entscheidungen zu treffen.
- Eine Workflow-Engine, die Prozessketten verwaltet und ausführt.
- Die Möglichkeit, mit verschiedenen Maschinenprotokollen zu kommunizieren und Konfigurationsparameter bei Bedarf direkt an die Maschinensteuerung zu senden.

Der autonome Avatar aktualisiert sein Wissen kontinuierlich im Laufe der Produktion. Abgeschlossene Verarbeitungsschritte werden innerhalb des Avatars als abgeschlossen markiert und mit relevanten Daten, wie z.B. Messungen oder Ergebnissen, verknüpft. Ein Teil der Logik und Inhalte verlagert sich so von den Systemen auf den digitalen Zwilling – oder in diesem Fall, da er autonome Entscheidungen trifft – auf den Avatar. Der einzigartige Vorteil besteht nun in der Möglichkeit, Entscheidungen am Produktionsort auf der Grundlage von Entscheidungskriterien zu treffen, einschließlich aller Regeln und zugrunde liegenden Grundlagen.



Dadurch wird sichergestellt, dass das Produkt weiß, welcher Schritt als nächstes ansteht, und der Avatar erhält die Fähigkeit, seinen eigenen Status zu erkennen und sogar zu ändern. Zu diesem Zeitpunkt trägt der Avatar alle relevanten Informationen in sich. Früher war das Sammeln dieser Daten aus verschiedenen komplexen Systemen eine herausfordernde Aufgabe, die oft einen erheblichen Aufwand erforderte. Informationen waren in der Regel verstreut oder tief in bestimmten Systemen vergraben, und nur

menschliche Bediener wussten, wo sie zu finden waren. Der autonome Avatar beseitigt nun diese Komplexität, indem er alle notwendigen Daten strukturiert und zugänglich speichert. Diese Verschiebung reduziert den manuellen Aufwand, der mit dem Auffinden wichtiger Produktionsinformationen verbunden ist, erheblich **– der Avatar stellt sicher, dass sich die menschlichen Bemühungen auf das konzentrieren, was wirklich wichtig ist.**

3.4 Phase 4: Zusammenarbeit im Erwachsenenalter – Autonome Avatare arbeiten zusammen



In Phase 4 hat der autonome Avatar, der nun einem Erwachsenen ähnelt, das Stadium erreicht, in dem er mit anderen zusammenarbeitet, um Aufgaben zu erledigen. Es arbeitet nicht mehr isoliert, sondern interagiert nahtlos mit anderen autonomen Avataren in der Produktionsumgebung, koordiniert die Bemühungen und passt Pläne auf der Grundlage von Echtzeitinformationen an. Diese Phase repräsentiert die wachsende Unabhängigkeit und Fähigkeit des autonomen Avatars, Entscheidungen in Zusammenarbeit mit anderen zu treffen.
Um zum nächsten Produktionsschritt zu gelangen, muss der autonome Avatar nun mit dem Logistiksystem kommunizieren, um Transportanfragen abzuwickeln.

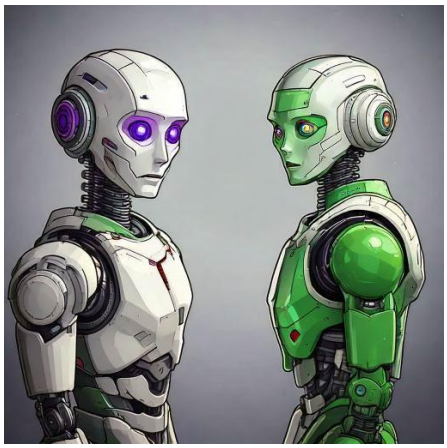
In dieser Phase ist der autonome Avatar in der Lage, auf logistische Ereignisse zu reagieren und seine internen Pläne durch ein eingebautes Regelsystem anzupassen. Steht beispielsweise kein automatisiertes Transportfahrzeug zur Verfügung, kann ein Alarm stattdessen einen von Menschen unterstützten Transport auslösen. Noch bevor der Transportprozess abgeschlossen ist, können die produkt- und maschinenautonomen Avatare über Schnittstellen ihre Bedürfnisse (z.B. Konfigurationsparameter) austauschen. Auf diese Weise kann die Maschine im Voraus vorbereiten, ihr Setup anpassen und das entsprechende Programm laden – sie konfiguriert sich im Wesentlichen selbst. Dadurch werden weniger Prozessexperten in der Produktion benötigt, da die autonomen Avatare einen Großteil der Vorbereitungsarbeit selbstständig erledigen.

Die autonomen Avatare prüfen auch die Kompatibilität: Der Avatar des Produkts kommuniziert mit dem Avatar des Greifers eines Produktionsroboters, um dessen Einsatzbereitschaft zu bestätigen. Der Avatar dieses Greifers wiederum konsultiert den Avatar des Werkzeugwechslers, um zu überprüfen, ob und wann sie innerhalb des vorgesehenen Arbeitsbereichs zusammenarbeiten können, und gibt dann Feedback. Die internen Informationen der autonomen Avatare über ihre Fähigkeiten

ermöglichen es ihnen, die optimale Vorgehensweise für die anstehende Aufgabe zu bestimmen.

In dieser Phase kommunizieren alle autonomen Avatare miteinander, um das bestmögliche Produktionsergebnis zu gewährleisten. Flexible Produktionsansätze, die häufige Umplanungen erfordern, werden nun durch die standardisierte Selbstbeschreibung unterstützt. Das System erkennt automatisch die "perfekte Übereinstimmung" zwischen den Anforderungen des Produkts und den Fähigkeiten der Maschinen und Werkzeuge und ermöglicht sogar die automatische Auswahl des geeigneten Fertigungsverfahrens. Während die Avatare einen Großteil der Entscheidungsfindung autonom treffen, kümmert sich ein übergreifendes Planungssystem immer noch um übergeordnete Entscheidungen oder Konflikte zwischen diesen Avataren. Die Komplexität zukünftiger Planungssysteme ist jedoch geringer, dank der Fähigkeit der Avatare, Ad-hoc-Entscheidungen am Produktionsort zu treffen. Je nach Verfügbarkeit können automatisch alternative Maschinen oder Ressourcen ausgewählt und in den Workflow integriert werden, was dynamische und effiziente Produktionsprozesse ermöglicht.

3.5 Phase 5: Herausforderungen annehmen – Autonome Avatare im Wettbewerb



In Phase 5 begegnen die autonomen Avatare realen Herausforderungen, ähnlich wie Erwachsene, die im Leben Konflikte bewältigen und Probleme lösen müssen. Die Zusammenarbeit verläuft nicht immer reibungslos, und manchmal entsteht Konkurrenz. Die Avatare müssen, ähnlich wie Menschen, Konflikte bewältigen und lösen, um die Effizienz aufrechtzuerhalten. In dieser Phase agiert ein autonomer Avatar nie isoliert – es gibt Konkurrenz. Mehrere autonome Avatare benötigen möglicherweise gleichzeitig Zugriff auf eine Engpassressource, z. B. eine Maschine. Das Autonome Avatare besitzen jetzt die Fähigkeit, mit diesen Wettbewerbssituationen umzugehen, indem sie die Reihenfolge, in der Aufgaben ausgeführt werden, aushandeln und verwalten.

Wenn mehrere Produkte gleichzeitig die gleiche Maschine benötigen oder wenn ein dringender Auftrag auftaucht, wird die Abarbeitungsreihenfolge dynamisch festgelegt. Konfigurierbare Parameter für jeden autonomen Avatar, die je nach Situation eingestellt werden, helfen bei der Entscheidungsfindung, die von einer übergeordneten Planungsintelligenz überwacht wird. Kommt es beispielsweise zu einer Störung mit dem

Produkt mit der höchsten Priorität, bewerten leichtgewichtige Zukunftsplanungssysteme die Situation in Echtzeit neu. Sie werden die Dringlichkeit aller konkurrierenden Produkte anhand der aktuellen Bedürfnisse ihrer autonomen Avatare bewerten und die Prioritäten entsprechend anpassen. Die autonomen Avatare werden dann aktualisiert, was eine schnellere Verarbeitung und reaktionsschnellere Produktionsabläufe ermöglicht.

Wie der Mensch, der aus Erfahrungen lernt, sind auch diese autonomen Avatare in der Lage, aus historischen Daten und Mustern zu lernen. KI-getriebene Intelligenz identifiziert ständig Verbesserungsmöglichkeiten und erkennt suboptimale Produktionsprozesse. Effiziente Abläufe werden anhand von Schlüsselfaktoren gemessen, wie z. B.:

- Geschwindigkeit und Qualität der Produktherstellung
- optimierte Maschinenauslastung
- Sicherstellen, dass die Tools just in time gewartet und verfügbar sind

Die autonomen Avatare, angetrieben von dieser Intelligenz, können ihre Entscheidungen innerhalb ihrer vordefinierten Grenzen optimieren. Sie können auch potenzielle Probleme, wie z. B. Gerätedefekte, vorhersagen und sich darauf vorbereiten, um Ausfallzeiten und Ineffizienzen zu vermeiden.

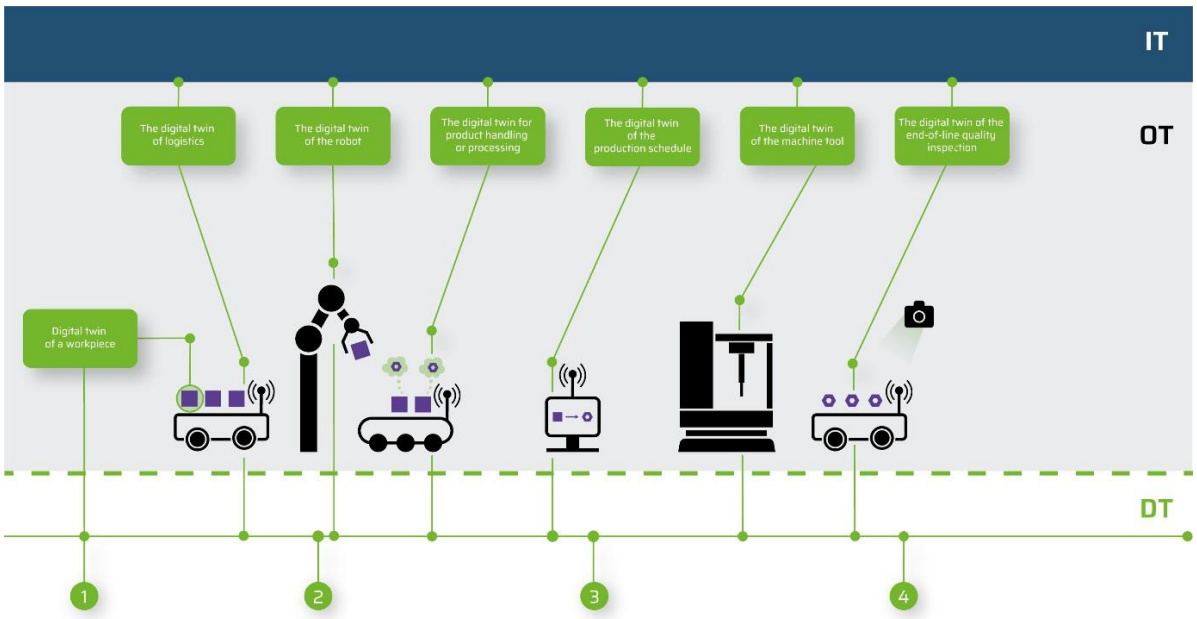
3.6 Phase 6: Netzwerke ausbauen – Autonome Avatare über Grenzen hinweg



In Phase 6 treten die autonomen Avatare in eine neue Ebene der Interaktion ein, ähnlich wie Erwachsene, die ihre sozialen und beruflichen Netzwerke über ihre bestehenden Kreise hinaus erweitern. In dieser Phase sind autonome Avatare nicht mehr darauf beschränkt, innerhalb eines einzigen Unternehmens zu arbeiten, sondern beginnen über Organisationsgrenzen hinweg zusammenzuarbeiten und mit Avataren aus anderen Unternehmen, wie z. B. Lieferanten und Kunden, zu interagieren.

In dieser Phase werden die autonomen Avatare und die zugehörigen Datencontainer von den Lieferanten an das produzierende Unternehmen weitergegeben, wo sie weiterhin mit zusätzlichen Informationen angereichert werden. Dieser nahtlose Datentransfer über Unternehmensgrenzen hinweg eröffnet völlig neue Möglichkeiten und trägt zu einer verbesserten Produktverfolgung und Qualitätsoptimierung bei. Durch den Austausch von Informationen über die Unternehmensgrenzen hinaus kann das Feedback von Kunden in der Produktionskette an die ursprünglichen Lieferanten zurückgesendet werden,

was eine kontinuierliche Verbesserung ermöglicht. Darüber hinaus bietet diese Phase den Kunden Transparenz, da Produktbenutzer jederzeit auf relevante Informationen über das Produkt zugreifen können.



Grundlagen

- Entlastet MES-, ERP- und SCADA-Systeme
- Erfasst alle wesentlichen Informationen und stellt sie zur Verfügung
- Dient als verlängerter Arm der zukünftigen KI
- Ermöglicht die autonome Kommunikation zwischen einzelnen digitalen Zwillingen (z. B. FTS, Roboter, Werkzeugmaschinen)

2 Arbeitsvorbereitung

- Kennt seinen eigenen Arbeitsplan, seine eigenen Parameter und Anforderungen für jede Aufgabe
- Kann auf der Grundlage seiner Regeln auf Ereignisse reagieren und selbstständig zwischen Optionen wählen
- Kann mit der Maschine überprüfen, ob ihre Fähigkeiten mit den Anforderungen des digitalen Zwillings übereinstimmen

3 Produktion

- Kann die Kommunikation mit Maschinen und Werkzeugen initiieren

- Versorgt das Planungssystem mit den neuesten Randbedingungen für sich selbst
- Klassifiziert sich selbst z. B. als zweite Wahl, wenn die Messungen nicht optimal sind
- Kann neue Entscheidungen aus dem Planungssystem anfordern

4 Unternehmensübergreifend

- Kann an ein Partnerunternehmen übertragen werden
- Bleibt auch nach der Auslieferung des Produkts verfügbar
- Dient als Grundlage für den Digital Product Passport (DPP)
- Behält die Verknüpfung mit dem Fertigungsauftrag bei
- Fungiert als beste Quelle für After-Service und Aftersales

Fazit: Der Weg in die Zukunft

Abschließend ist unsere Botschaft klar: Entscheidende Schritte in Richtung Innovation sind unerlässlich. Wir ermutigen die Führungskräfte, diese einzigartige Chance zu ergreifen und zuversichtlich in die Zukunft zu blicken. Für diejenigen, die sich bereits mit der digitalen Transformation auskennen, könnten einige der Konzepte vertraut sein . Das Ausmaß und die Bedeutung der bevorstehenden Veränderungen erfordern jedoch neue Ansätze und ein erneutes Engagement für den Fortschritt.

Während des Schreibprozesses haben wir als Autoren wertvolle Erkenntnisse gewonnen, und wir freuen uns, Ihnen mitteilen zu können, dass ein zweiter Teil dieses Whitepapers bald veröffentlicht wird. Darin werden wir genauer untersuchen, warum ein Paradigmenwechsel notwendig ist, die Dringlichkeit des Erhalts der Wettbewerbsfähigkeit hervorheben und tiefergehende technische Einblicke und praktische Empfehlungen für Unternehmen geben, die diesen Wandel bewältigen.

Die Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft der Industrie in Europa hängen von seiner Fähigkeit ab, neue Technologien rasch und strategisch zu übernehmen. Um in dieser sich wandelnden Landschaft führend zu bleiben, ist es unerlässlich, mutige, zukunftsorientierte Veränderungen umzusetzen, die die Grundlagen der Branche neu gestalten. Wenn Europa sich diesen Wandel zu eigen macht, kann es seine Rolle als wichtiger Akteur in der globalen Industriearena sichern und sowohl Wachstum als auch Innovation vorantreiben. Europa hat in der Vergangenheit in kritischen Momenten des digitalen Wandels gezögert und wichtige Chancen verpasst. Dabei bieten digitale Zwillinge jetzt eine einzigartige Chance, nicht nur verlorenes Terrain zurückzugewinnen, sondern auch die Zukunft der Industrie zu gestalten. Diese Technologien ermöglichen intelligentere, autonomere Systeme, die über Unternehmensgrenzen hinausgehen und eine widerstandsfähige und flexible Wertschöpfungskette schaffen können.

Wir als OI4 Alliance setzen uns nicht nur dafür ein, Unternehmen auf diesem Weg zu inspirieren und zu unterstützen , sondern als Umsetzungsallianz auch praktische Ansätze in

Zusammenarbeit mit Industriepartnern zu testen und zu verfeinern. Unsere Mission ist es, sicherzustellen, dass Unternehmen über die Werkzeuge und Strategien verfügen, die sie benötigen, um sich in diesem neuen Umfeld erfolgreich anzupassen und erfolgreich zu sein. Europas Erfolg im nächsten Industriezeitalter hängt von seiner Fähigkeit ab, diese Innovationen schnell zu nutzen und gemeinsam eine Zukunft der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit und Automatisierung aufzubauen. Die OI4 Alliance bekennt sich zu dieser Vision, und wir laden andere Experten, Vordenker und Praktiker ein, mit uns diese Zukunft zu gestalten. Gemeinsam können wir dafür sorgen, dass Europa an der nächsten globalen industriellen Revolution nicht nur teilnimmt, sondern sie anführt. Lassen Sie uns diese Vision in die Realität umsetzen und Europa als Vorreiter in den Industrien von morgen positionieren.