

Industrie 4.0 und Cyber-physische Systeme – Einordnung und Praxisbeispiel

Formatumrüstung im Maschinenbau

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (TU) Jens Amberg, Geschäftsführer halstrup-walcher GmbH

1. Einordnung der CPS im Kontext der „Industrie 4.0“

Kaum ein Begriff aus der vielfältigen Nomenklatur der „Industrie 4.0“ erzeugt bei der ersten Lektüre ein solches Erstaunen und Unverständnis wie derjenige des „Cyber-physischen Systems“, kurz CPS genannt. Bevor wir uns diesen Begriff und seine Bedeutung näher ansehen, betrachten wir zuerst dessen Einbettung im Kontext der Industrie 4.0.

Im Kern zielt Industrie 4.0 darauf ab, Deutschland als Produktionsstandort im Allgemeinen und die jeweiligen Produktionsstätten in Deutschland im Besonderen so anpassungsfähig wie möglich werden zu lassen. In letzter Konsequenz soll hierdurch die internationale Wettbewerbsfähigkeit aufrechterhalten werden, die angesichts von Billiglohnländern und aufstrebenden Schwellenländern in Frage gestellt ist. Die Grundidee ist einfach: Innerhalb kürzester Zeit soll eine Fertigungseinheit in der Lage sein, sich auf geänderte Kundenwünsche einzustellen. Diese effiziente Anpassung erbringt dann zugleich Ressourceneffizienz, indem alle vor- und nachgelagerten Produktionsstufen integriert und immer nur konkret benötigte Vorprodukte gefertigt werden. Und da nur eine optimale Einbindung des Menschen mit seinen (jeweiligen) Fähigkeiten das gewünschte anpassungsfähige Fertigungssystem ermöglicht, soll zugleich eine weitere Humanisierung der Arbeitswelt erfolgen.

Wodurch soll nun diese Individualisierung und Flexibilisierung erreicht werden? Ein zentraler Ansatz besteht darin, dass die Maschinen, Betriebsmittel, Werkzeuge, Lagersysteme und auch die entstehenden Produkte miteinander vernetzt werden. Gerne wird diese Vernetzung auch als das „Internet der Dinge“ beschrieben, und eine solchermaßen vernetzte Fabrik erhält die Bezeichnung „Smart Factory“.

Wie aber können Objekte vernetzt werden? Zum besseren Verständnis muss hierfür das Konzept des „virtuellen Abbilds“ erläutert werden. Alle nicht-humanen Fertigungsteilnehmer, also zum Beispiel die Maschinen, existieren nicht nur in der realen Fertigungswelt, wie sie mit unseren fünf Sinnen erfassbar ist. Sie existieren darüber hinaus bei Industrie 4.0 in einem „virtuellen Abbild“, das die reale Welt spiegelt und um Informationen ergänzt. Dieses virtuelle Abbild findet sich in der Welt der Informationstechnologie (IT) und bildet alle Möglichkeiten und Fähigkeiten der Fertigungsteilnehmer ebenso ab wie deren aktuelle Zustände.

Auf Basis der Informationen des virtuellen Abbilds ist es dem einzelnen, dezentralen Fertigungsteilnehmer möglich, eigenständig Entscheidungen zu treffen und diese auch direkt an die benachbarten Fertigungsteilnehmer zu kommunizieren. So fordert der intelligente Transportbehälter bei der betreffenden Maschine Nachschub an Werkstücken an, wenn er das entsprechende Lagerfach leer vorfindet.

Jeder Fertigungsteilnehmer, der über ein solches virtuelles Abbild verfügt und zur Interaktion mit anderen Fertigungsteilnehmern vernetzt werden kann, wird „Cyber-physisches System“ genannt. Der Teilbegriff „cyber“ deutet dabei auf das virtuelle Abbild hin, der Teilbegriff „physisch“ dagegen auf das Objekt in der Fertigungsrealität, wie es mit unseren fünf Sinnen erfassbar ist. Wie in der Abbildung 1 dargestellt, ist nicht nur die Interaktion der Cyber-physischen Systeme untereinander vorgesehen, sondern auch die Informationsbereitstellung und Einbindung übergeordneter Adressaten und Entscheider, vom örtlichen Werker über das Leitsystem oder Manufacturing Execution System (MES) bis hin zu externen Kunden und Lieferanten.

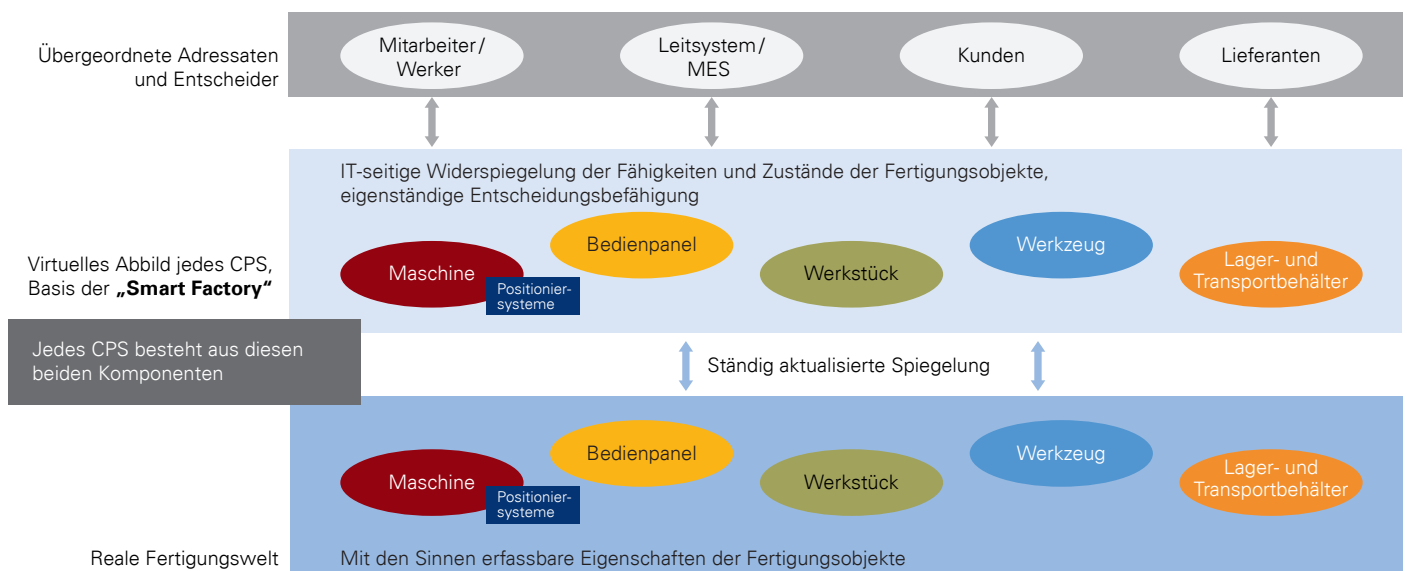


Abb. 1: Das Cyber-physische System ist eine reale Komponente der Fertigung und zugleich ein Abbild derselben in der „Smart Factory“

So bemerkt beispielsweise ein Werkzeug selbst erste Anzeichen von Verschleiß und ordert seinen eigenen Ersatz beim externen Werkzeuglieferanten.

2. Grundfunktionen und Nutzen der CPS

Der Ansatz ist revolutionär: Indem diese Cyber-physischen Systeme über die nötige dezentrale Intelligenz verfügen, sind sie selbst in der Lage, Situationen einzuschätzen, Entscheidungen zu treffen und die anderen Cyber-physischen Systeme bei Bedarf zu Aktionen zu veranlassen. Diese Verhaltensweisen wurden programmiert und sind idealerweise sogar in der Lage, sich zu verändern und anzupassen. Der hierarchische, vertikale Entscheidungsweg, wie er seit Jahrzehnten den Fabrikationsalltag kennzeichnete, wird damit aufgehoben oder zumindest weitgehend ergänzt.

Eine kurze Rückbesinnung: Wie funktionierte dieser hierarchische Entscheidungsweg? Komponenten (insbesondere Sensoren) erfassen den Ist-Zustand des Prozesses und melden alle relevanten Informationen an die zentrale Steuerung. Auf der Steuerungsebene oder auch auf der übergeordneten Leitsystemebene wurde dann der Ist-Zustand des Prozesses analysiert, es wurden Entscheidungen getroffen und mit Hilfe von Aktoren oder manuellen Handlungen in den Prozess eingegriffen.

Diese hierarchisch-vertikale Kommunikation soll nun mit Hilfe der CPS zwar nicht aufgehoben, aber sinnvoll ergänzt werden. Drei Subsysteme ermöglichen es dem Cyber-physischen System dabei, seine neue Rolle erfolgreich übernehmen zu können: Sensorik, Aktorik und Embedded Systems, eine Mikroprozessor-basierte, dezentrale Intelligenz. Mit Hilfe der integrierten Sensorik kann das CPS seine aktuelle Situation im Umfeld selbst erfassen. So können beispielsweise optische Sensoren einer Maschine umfassende Informationen über Art und Zustand der zu bearbeitenden Werkstücke liefern. Die Aktorik dient der Ausführung von Aktionen. Zum Beispiel wird ein Greifarm ausgefahren, der ausgewählte Werkstücke herausgreift. Die dezentrale Intelligenz wertet die Sensorinformationen dabei ebenso aus wie die von anderen

CPS zuströmenden Informationen. Auf dieser Basis trifft sie ihre Entscheidungen und gibt diese wiederum an die eigene Aktorik weiter. Parallel dazu kontaktiert sie andere CPS und fordert diese zu Handlungen auf.

Das virtuelle Abbild der Cyber-physischen Systeme ist nicht nur als Momentaufnahme des aktuellen Status und der aktuellen Verknüpfungen zu verstehen. Vielmehr beinhaltet das virtuelle Abbild auch Informationen zum gesamten Lebenszyklus des CPS. Schon in ihrer Designphase entstehen Daten, die Informationen zur Geometrie, zu mechanischen Eigenschaften, zu logischen Verknüpfungen sowie zu Parametersätzen umfassen. Alle weiteren Lebenszyklusphasen wie Engineering, Inbetriebnahme und Betrieb mit Wartung und Service fügen zusätzliche Informationen hinzu. Auf Grundlage all dieser Informationen ist es dem Cyber-physischen System möglich, selbstständig auf Situationen zu reagieren. Idealerweise kann es die ihm vorliegenden Vergangenheitsinformationen auch dazu verwenden, um Entscheidungsregeln der jeweils neuen Situation anpassen zu können.

Jedes CPS kann nun auf dieser Basis auch das Wissen über seine Integration in die gesamte Produktionsanlage besitzen. Das kann dazu genutzt werden, dass die CPS sich während der Inbetriebnahme selbst konfigurieren, dass sie automatisch die Kommunikation zu ihren Produktionspartnern (den anderen CPS) aufbauen und damit die kostspielige Inbetriebnahmezeit erheblich verkürzen. Anschließend folgt die Optimierungsphase im laufenden Produktionsbetrieb. Dabei können sich die CPS aufgrund ihrer Intelligenz selbst optimieren. Im einfachsten Fall kann das ein eigenständiges Auffinden des optimalen Arbeitspunkts sein. In komplexeren Fällen kann dies eine Wahl zwischen vordefinierten oder sogar neu ermittelten Ablaufszenarien sein. Sollte es einmal zu Problemen im Produktionsablauf kommen, etwa weil eine Maschine ausgefallen ist oder erforderliches Material fehlt, können Ausweichstrategien entwickelt werden, die den Prozess selbst „heilen“ und am Laufen halten. Idealerweise werden solche Probleme jedoch gänzlich vermieden oder zumindest mit guter Vorlaufzeit sichtbar,

indem die CPS Frühwarninformationen generieren und somit eine präventive Instandhaltung ermöglichen. Dadurch unterstützen sie optimal das sogenannte „Condition Monitoring“. Bei der dezentralen Kommunikation zwischen den verschiedenen CPS ist nicht unbedingt erforderlich, dass diese unmittelbar von einem CPS zu einem anderen CPS erfolgt. Vielmehr wird erwartet, dass schon in kurzer Zeit eine Vielzahl kommunikativer CPS-Plattformen entstehen wird. Diese Plattformen vernetzen dann mit ihren Diensten und Anwendungen

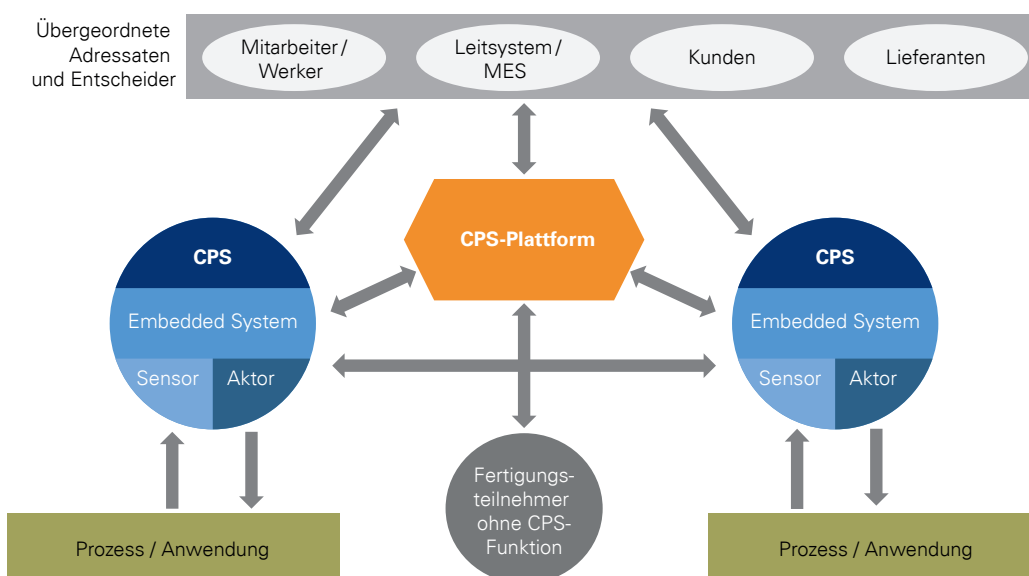


Abb. 2: CPS-Plattformen verknüpfen die einzelnen CPS, externe Systeme und den Bediener miteinander und ergänzen deren direkte Kommunikation.

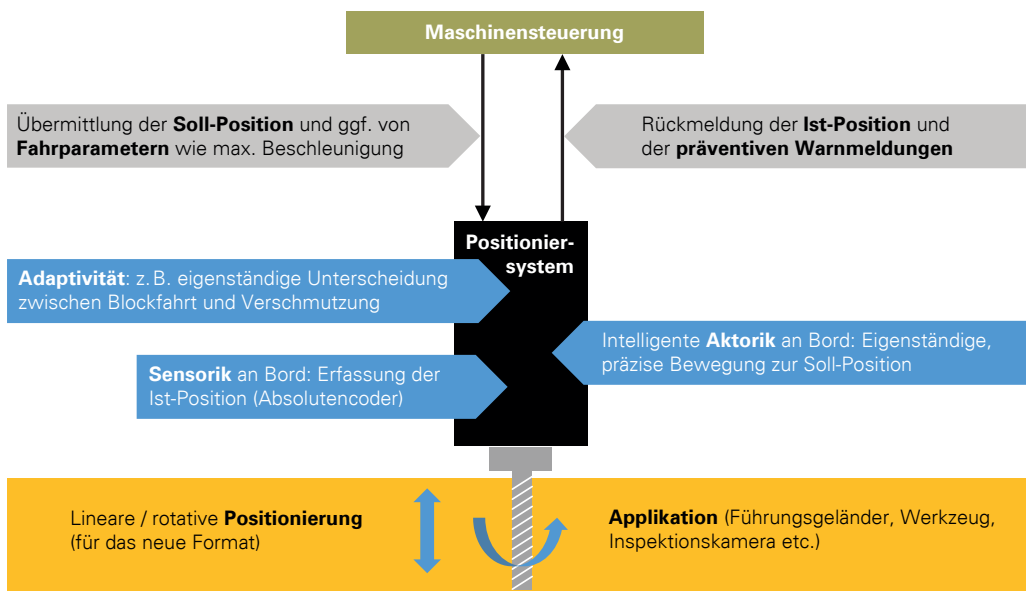


Abb. 3: Klassisch-hierarchische Einbindung eines Positioniersystems in die Maschine, die selbst als CPS fungiert.

Menschen, externe Systeme und CPS miteinander. Beide Kommunikationswege, der direkte CPS-Austausch wie der Weg über CPS-Plattformen, bestehen nebeneinander und ergänzen sich optimal. Ein Beispiel soll das verdeutlichen. Ein CPS-Transportbehälter kann bei manchen Fertigungsstationen unmittelbar in einen Kommunikationsaustausch eintreten, da diese technisch hierzu in der Lage sind. Andere Fertigungsstationen, die selbst über keine CPS-Funktionalität verfügen, werden dagegen über eine CPS-Plattform angesteuert. Dadurch kann der CPS-Transportbehälter in allen für ihn relevanten Fertigungsbereichen dezentral (also auch ohne den Umweg über die Leitebene) Lieferungen anfordern und Arbeitsgänge auslösen.

3. Praxisbeispiel eines Cyber-physischen Systems: die sich selbst umrüstende Maschine

Am Beispiel der Positioniersysteme soll nun verdeutlicht werden, dass die Maschinen der Zukunft, die ja selbst als Cyber-physische Systeme fungieren werden, im Idealfall eine Kombination aus Cyber-physischen Subsystemen sein können. Die Positioniersysteme zur Formatumrüstung verfügen mit ihren Sensoren (absolute Encoder zur Positionsbestimmung) und Aktoren (Getriebe, Motor, Motorsteuerung) zur Bewegung der Positionierobjekte über alle Komponenten, um gemeinsam mit der dezentralen Intelligenz an Bord (Embedded System) ein eigenständiges CPS darzustellen.

Das CPS-Positioniersystem kann natürlich auf klassische

und Schwerläufigkeit eine Beschleunigung der Positionierbewegung erfolgen muss, um die Verschmutzung zu überwinden. Die Positionieraufgabe wird auf diese Weise optimal ausgeführt – angefordert wird sie jedoch von oben, von der Maschinensteuerung. Diese sollte sich im Sinne der Industrie 4.0 in Zukunft stattdessen besser darauf konzentrieren, die Rolle der Maschine als CPS optimal zu unterstützen, indem sie mit den innerbetrieblichen Transportsystemen, den benachbarten Maschinen und dem Teilezulieferer Kontakt aufnimmt.

Wie in Abbildung 4 dargestellt, kann das Positioniersystem als CPS alternativ auch unter Durchbrechung der hierarchischen Strukturen der Maschinensteuerung eingebunden werden. Anstatt sich ausschließlich vertikal mit der Maschinensteuerung auszutauschen, tritt das CPS-Positioniersystem in direkten Austausch mit dezentralen Komponenten.

Als einfaches Beispiel ist hier dargestellt, dass ein neues Format durch einen Sensor erkannt wird. So kann

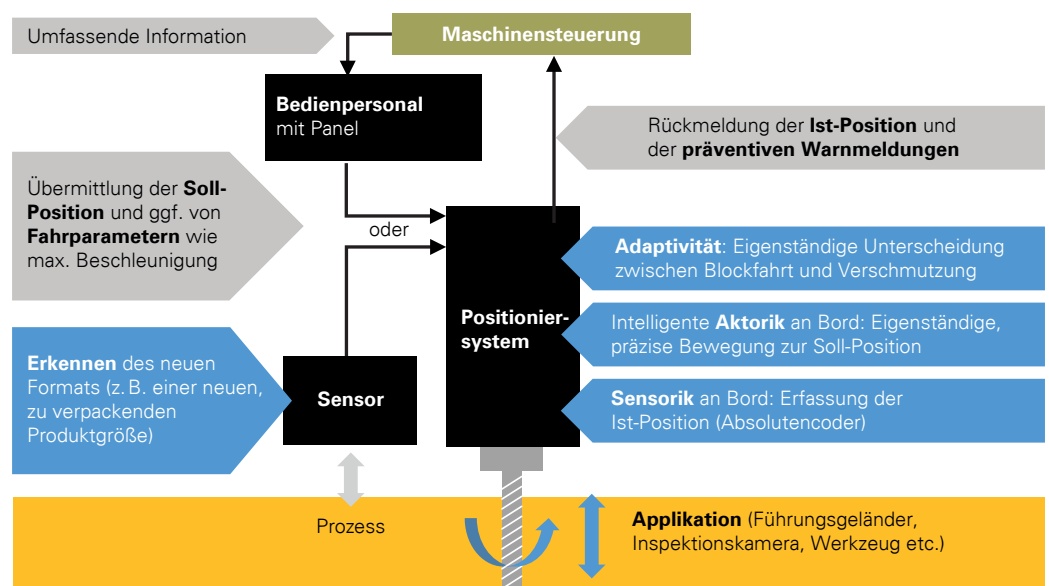


Abb. 4: Das Positioniersystem als eigenständiges CPS innerhalb der Maschine

Weise in die Maschinenabläufe eingebunden werden, wie dies in Abbildung 3 dargestellt ist. Hierbei fährt das Positioniersystem nach Vorgabe der nächsten Soll-Position (durch die Maschinensteuerung) selbsttätig an die neue Position und minimiert dabei eigenständig den sogenannten „Schleppfehler“ (Abweichung von der vorgesehenen Position während des Fahrprozesses). Bei zu großem Schleppfehler wird dabei durch hochwertige Positioniersysteme selbst situativ unterschieden, ob es sich um eine „Blockfahrt“ handelt und gebremst werden soll oder ob aufgrund einer detektierten Verschmutzung



Abb. 5: Die Baureihe der 3er PSx-Positioniersysteme unterstützt Maschinenbauer bei der Umsetzung von Industrie 4.0 durch ein modulares Konzept, das hohe Flexibilität bei der Maschinenkonzeption bietet.

beispielsweise in einer Verpackungsstraße ein optischer Sensor detektieren, dass aufgrund eines neuen Produktformats auf eine andere Verpackungsgröße umzustellen ist. Der Sensor gibt direkt dezentral den Positioniersystemen die neuen Soll-Positionen vor, woraufhin diese das Führungsgeländer, die Verpackungswerkzeuge und ggf. die Inspektionskamera an die neue Position fahren. Der übergeordneten Maschinensteuerung und auch dem bedienenden Menschen an seinem Panel werden dabei kontinuierlich die Ist-Positionen bzw. das Erreichen der Zielpositionen mitgeteilt, begleitet von Meldungen, die eine präventive Instandhaltung ermöglichen. Ein weiteres Beispiel ist die eigenständige Koordination zweier synchron laufender Positioniersysteme, ohne dafür die Steuerung einbinden zu müssen.

Durch diese dezentrale Einbettung des Positioniersystems als eigenständiges CPS wird die Adaptionfähigkeit und Reaktionsgeschwindigkeit erhöht. Die zentrale Maschinensteuerung kann auf eigene CPS-Aufgaben, auf die Integration der Maschine in den Gesamt-Fertigungs-

ablauf fokussieren. Der zuständige Mensch kann bei Bedarf über ein Bedienpanel eingreifen oder er kann sich auf die Optimierung des Produktionsprozesses konzentrieren, anstatt so einfache wie reguläre Abläufe wie die Umrüstung eines Formats auslösen zu müssen.

Die Fähigkeit, das Umrüsten auf den beiden oben beschriebenen Ebenen zu beherrschen, also das Umrüsten der Produktion des Maschinennutzers ebenso wie das Umrüsten im Zuge der Maschinenkonstruktion, wird in den nächsten Jahren ein entscheidender Faktor sein, der über die Wettbewerbsfähigkeit des Maschinenbauers entscheidet. Was gestern meist nur die großen Konzerne der Branche bewegte, rückt heute mit Nachdruck in den Fokus auch des mittelständischen Maschinenbaus. So hat die Zukunft der CPS nicht nur maschinenseitig, sondern auch komponentenseitig längst begonnen, und es gilt hier für alle Beteiligten, Schritt zu halten. Frei nach Albert Einstein: „Das Leben ist wie Fahrradfahren. Wer stehen bleibt, fällt um.“



Abb. 6: Beispiel eines halstrup-walcher Positioniersystems (hier: PSW mit IP 68)