

# Künstliche Intelligenz verleiht Cyber-Physical Systems Flügel

Volker Gruhn, adesso AG / Universität Duisburg-Essen

Cyber-Physical Systems (CPS) sind ein Beispiel für die immer engere Verbindung von digitaler und realer Welt. Denn in CPS werden Abläufe und physische Gegenstände unmittelbar in digitale Prozesse integriert. Für IT-Experten bedeutet das mehr Komplexität in der Entwicklung von IT-Systemen. Denn die bisherige Modellbildung, mit der sie gearbeitet haben, stößt angesichts der Unordnung in der realen Welt an ihre Grenzen. Künstliche Intelligenz (KI) hilft dabei, diese Komplexität zu beherrschen und so den Einsatz von CPS zu erleichtern beziehungsweise zu ermöglichen. Die Stärke von CPS liegt insbesondere im Finden von Optimierungspotenzialen, im Erkennen von Mustern und in der engen Zusammenarbeit mit Menschen. Verfahren wie Machine Learning, das die Grundlage für beispielsweise Bilderkennung oder Spracherkennung liefert, erlauben einerseits engere Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und CPS. Andererseits erhöhen diese Techniken den Autonomiegrad, mit dem CPS arbeiten können. In Summe entstehen dank KI neue Einsatzszenarien. Die Kombination dieser Technologien stößt die Tür für die Fabrik der Zukunft auf. Diese Entwicklung muss sich auch in den zugrundeliegenden IT-Systemen niederschlagen, die Unternehmen aufbauen. Die Verantwortlichen müssen Strukturen schaffen, in denen klassische Informationssysteme, CPS und Cognitive Computing Systems integriert zusammenarbeiten können.

Software verändert die Welt auf so vielen Ebenen, dass die Auswirkungen kaum zu überblicken sind: Es entstehen neue Kommunikationsformen, neue Geschäftsmodelle, neue Plattformen. Deutlich zeigt sich diese Entwicklung beim Blick auf die Vernetzung von physischen Gegenständen. Denn jede Maschine, jedes Haushaltsgerät, jeder Pkw, der mit dem Internet verbunden ist, ist mehr als nur ein Gegenstand mit einer IP-Adresse. Für jeden dieser physischen Gegenstände tun sich neue Möglichkeiten auf, sind neue Prozesse denkbar, ergeben sich neue Geschäftsmodelle [1].

Das Digitale ist gerade dabei, das Reale mit einer Schicht zu überziehen. Die Daten, die hier fließen und die Informationen, die Unternehmen hier gewinnen, entscheiden immer häufiger über Erfolg und Misserfolg. In diesem Umfeld kommen die sogenannten CPS ins Spiel. CPS schließen die Lücke zwischen den Welten, indem sie physische Gegenstände und Abläufe unmittelbar in digitale Prozesse integrieren. Dies steigert einerseits die Effizienz existierender Prozesse sowie die Genauigkeit und Aktualität der darin verarbeiteten Daten. Dies eröffnet andererseits aber auch ganz

neue Möglichkeiten bei der Interpretation der physischen Welt und der Interaktion zwischen System und Realität. Typische Szenarien, in denen CPS ihre Stärke ausspielen, sind beispielsweise das Finden von Optimierungspotenzialen in Prozessen, das Erkennen von Mustern in komplexen Abläufen oder die enge Zusammenarbeit gemeinsam mit Menschen an gemeinsamen Aufgaben, beispielsweise in der Konstruktion oder im Maschinenbau.

CPS sind also eng mit den Abläufen in der realen Welt verwoben. Diese Nähe stellt Entwickler vor unbekannte Herausforderungen. Denn bisher bewegten sie sich häufig in Umgebungen, deren Parameter sie kannten und für die Modellbildung nutzen konnten. Entweder waren es gänzlich digitale Abläufe, beispielsweise in Banken oder Versicherungen. Oder die Experten arbeiteten in einem Umfeld, das sie nach Bedarf kontrollieren und manipulieren konnten, beispielsweise Produktionsstraßen oder Hochregallager. Außerhalb von Rechenzentren und Fabrikatoren sind Entwicklungen aber deutlich schwerer zu prognostizieren. Die Realität passt nicht in die Modelle der Informatiker.

## Artificial Intelligence gives wings Cyber-Physical Systems

Cyber-Physical Systems (CPS) are an example of the close connection between the digital and the real world. This connection makes the development of the systems more complex. Methods of Artificial Intelligence (AI) such as machine learning help companies to use these systems for new application scenarios. Image and speech recognition capabilities enable new, closer forms of cooperation between humans and CPS that previously did not work for occupational safety reasons. At the same time, machine learning enhances the cognitive abilities of CPS. They can work independently in situations which are difficult to plan.

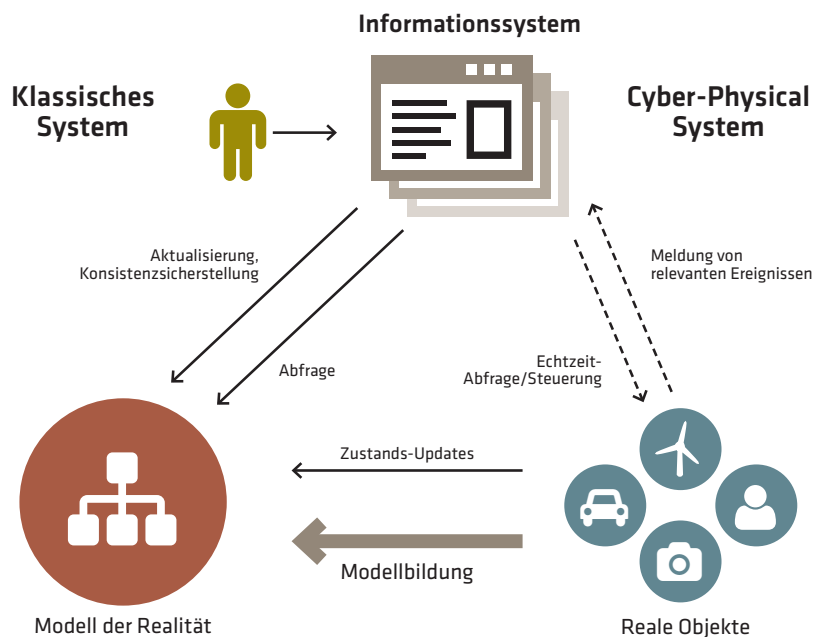
### Keywords:

Artificial Intelligence, Cyber-Physical System, Machine Learning, Image Recognition, Speech Recognition



Prof. Dr. Volker Gruhn gründete 1997 die adesso AG mit und ist heute Vorsitzender des Aufsichtsrats. Er ist Inhaber des Lehrstuhls für Software Engineering an der Universität Duisburg-Essen.

gruhn@adesso.de  
www.adesso.de



**Bild 1: Der Aufbau von klassischen Informationssystemen versus Cyber-Physical Systems.**

Von Natur aus vereinen CPS in sich also Anteile aus beiden Welten: In ihnen stößt die Ordnung des Digitalen und die Unordnung des Realen aufeinander. Um der Komplexität, die sich daraus ergibt, Herr zu werden, bieten sich Methoden der KI wie beispielsweise Muster-, Bilder oder Anomalieerkennung an. Denn diese erweitern das Spektrum der Möglichkeiten von CPS und machen so neue Anwendungsfälle und -felder denkbar.

Funktionieren wird dieses Zusammenspiel zwischen KI und CPS aber nur, wenn bereits die zugrundeliegenden IT-Systeme von Unternehmen diese Dualität zwischen digitaler und realer Welt beherrschen. Klassische IT-Strukturen sind in der digitalen Welt verfangen und stoßen hier an ihre Grenzen. Gefragt ist ein Konzept, das alle Aspekte integriert betrachtet.

## KI – der beste Freund des CPS

Gefühlt gibt es so viele Definitionen für KI, wie es Forscher gibt, die sich mit diesem Gebiet beschäftigen. Für die folgenden Ausführungen reicht eine kurze, pragmatische Definition: KI ist ein Teilgebiet der Informatik, das sich mit der Erforschung von Mechanismen des intelligenten menschlichen Verhaltens befasst [2]. Wissenschaftler unterscheiden zwischen zwei Ansätzen: Wichtig ist die Unterscheidung zwischen einer starken und schwachen KI: Ziel einer starken KI (Englisch „Strong AI“) ist es, die Vorgänge im menschlichen Gehirn abzubilden und zu imitieren. Allgemein zählen Experten auch Eigenschaften wie Bewusstsein oder Empathie zu den Merkmalen einer starken KI. Im Gegensatz dazu geht es bei der schwachen KI (Englisch „Weak AI“ oder „Narrow AI“) nicht darum, menschliche Denkprozesse, Abwägungen und Kreativität zu imitieren,

sondern gezielt Algorithmen für bestimmte, abgegrenzte Problemstellungen zu entwickeln. [3] Starke KI liegt außerhalb der aktuellen technischen Möglichkeiten und ist auf absehbare Zeit eher ein Gedankenspiel für Theoretiker. Schwache KI hingegen ist ein Ansatz, der heutzutage in vielen Anwendungen eine Rolle spielt. Wenn gesprochene Sprache in Text übertragen wird, wenn ein Chatbot auf einer Website eine Kundenanfrage beantwortet oder ein Bildererkennungssystem Gegenstände auf Fotos markiert, arbeiten im Hintergrund KI-Technologien.

Genau diese Technologien sind es auch, die sich für den Einsatz im Umfeld von CPS eignen. Denn die weiter oben beschriebenen typischen Szenarien, in denen CPS ihre Stärke ausspielen – das Finden von Optimierungspotenzialen, das Erkennen von Mustern, die enge Zusammenarbeit mit Menschen – sind typische Einsatzfelder für KI.

## Mensch und Maschine Hand in Hand

Bisher beschränkte sich der Einsatz von automatischen Fertigungssystemen, beispielsweise Robotern, auf das Ausführen fest vorgegebener Bewegungsmuster. CPS, die auf sogenannten Machine-Learning-Technologien (ML) setzen, ermöglichen in Zukunft einen deutlich flexibleren Einsatz im Produktionsprozess. Unter ML verstehen Experten die Fähigkeit eines Systems, das Durchführen von Aufgaben mittels vorhandener Erfahrung selbstständig zu verbessern. Dieser Lernprozess basiert auf bereits vorhandenen Daten.

In den letzten Jahren haben Forscher dank ML noch vor kurzem kaum vorstellbare Durchbrüche im Bereich des maschinellen Sehens, also dem automatischen Erkennen von Objekten und Situationen aus Bildern, sowie im Bereich der Sprach- und Gestenerkennung erzielt. So ist es für CPS möglich, Anweisungen von Menschen durch natürliche Sprache und Gesten zu erkennen. Dies erweitert das Spektrum der Kommunikationsmöglichkeiten deutlich: Im laufenden Produktionsbetrieb können Mitarbeiter dem System auf Zuruf oder mit einfachen Gesten Anweisungen geben, ohne ihre eigene Arbeit unterbrechen zu müssen.

Aber ML hat noch eine weitere, mindestens genauso bedeutende Auswirkung auf das Einsatzspektrum von CPS: Die Technologie erlaubt die engere Zusammenarbeit und direktere Kooperation von Menschen und Maschinen. Bisher arbeiten beide Seiten, beispielsweise in der Produktion, aus Gründen der Unfallvermeidung oft getrennt voneinander. Um menschliche Mitarbeiter zu schützen, müssen Unternehmen

Schnittstellen der Zusammenarbeit aufwendig planen und umsetzen. Dank Möglichkeiten wie der automatischen Bilderkennung und -interpretation ist ein CPS nicht mehr blind für seine Umgebung. Es erkennt den Aufenthaltsort und die Bewegungsparameter seiner menschlichen Kollegen und kann die eigenen Bewegungsabläufe darauf abstimmen – Stichwort Arbeitssicherheit [4].

Das CPS kann sich aber auch, im wahrsten Sinne des Wortes, ein Bild von der Stimmung seines Gegenübers machen. Ist der Mensch abgelenkt? Lässt die Konzentration langsam nach? Übersieht er eine Gefahrensituation? Hier spielen die oben bereits erwähnten Möglichkeiten zur Bilderkennung eine Rolle: Aufnahmen des Gesichtes und die Analyse der Mimik sind die Grundlage für die Einschätzung der Situation. Aber auch Stimmanalysen und Blickmustersauswertungen helfen CPS dabei, ein „Gefühl“ für die Situation zu entwickeln. Im Laufe der Zusammenarbeit lernt das System, immer zutreffendere Prognosen über seinen menschlichen Kollegen zu treffen.

Die verbesserten Möglichkeiten zur Interpretation menschlichen Verhaltens bieten aber nicht nur mehr Sicherheit und einfachere Mensch-CPS-Kommunikationsformen. Sie erlauben es auch, dass Mitarbeiter den Systemen schneller neue Funktionen beibringen können beziehungsweise sie in vorhandene Abläufe einfacher integrieren können. Es bedarf dazu keiner dedizierten Entwickler mehr. CPS, beispielsweise in Gestalt von Produktionsrobotern, lernen durch das Beobachten und Imitieren menschlicher Bewegungen. Ohne großen Aufwand können sie so neue Fertigkeiten erlernen.

Je besser CPS und Menschen einander verstehen, desto näher am Menschen lassen sich solche Systeme einsetzen. Denkbar ist die Nutzung in den Bereichen der Medizin- oder Pflegebranche. Hier können Mediziner CPS beispielsweise als Assistenten bei Operationen einsetzen. Die Systeme sind in der Lage, Instrumente mit extrem hoher Präzision auch bei komplexen Behandlungen zu führen. Dies erlaubt die fortschreitende Miniaturisierung von Werkzeugen, die wiederum zu geringeren Beeinträchtigungen für den Patienten führt.

### Entscheidungsfreudige CPS

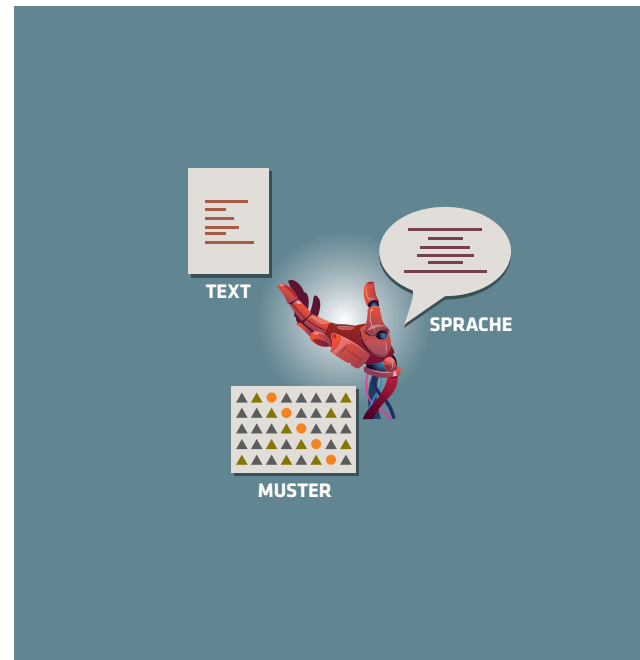
Aber KI erlaubt nicht nur, dass CPS und Menschen einander besser verstehen und enger zusammenarbeiten können. Sie hilft auch dabei, dass Systeme autonomer entscheiden und arbeiten können. So erlauben es die Techniken des bereits erwähnten ML einem CPS, automa-

tisch Regeln abzuleiten und so adaptives Verhalten zu entwickeln. ML ermöglicht es CPS, mithilfe spezieller Algorithmen automatisiert – auf der Grundlage vorhandener Daten – zu lernen. Dabei erkennen Systeme Zusammenhänge und Korrelationen und leiten daraus Regeln ab, ohne dass Experten diese im Vorfeld definieren müssen.

Das System erkennt selbstständig neue Begebenheiten und reagiert auf diese. Ein derart intelligentes und vollständig vernetztes CPS kann beispielsweise eigenständig die Auswirkungen der verspäteten Anlieferung von Bauteilen auf den Produktionsprozess abschätzen und entsprechend darauf reagieren. Es informiert nach- beziehungsweise vorgelagerte Produktionsstufen, priorisiert die Abläufe neu und vergibt neue Termine – unabhängig vom menschlichen Zutun. Dabei spult das CPS nicht nur starr eine vorgegebene Programmierung ab, sondern passt seine Planungen eigenständig an die veränderlichen Umweltparameter an.

Solche CPS mit hohem Autonomiegrad werden primär in den Bereichen der industriellen Fertigung eingesetzt. In der Automobilfertigung sind Roboter bereits heute weit verbreitet. Ihr Einsatz ist jedoch auf einzelne, sich oft wiederholende Aufgaben beschränkt. Wie oben gezeigt, können intelligente CPS ihre Arbeitsschritte hingegen der Umgebung anpassen und direkt mit Menschen zusammenarbeiten. Dies ermöglicht kürzere Entwicklungs- und auch Produktionszyklen, daraus erwächst ein Wettbewerbsvorteil bei der zügigen Umsetzung von Innovationen. Gerade in Logistikketten mit zahlreichen Beteiligten und vielfältigen Zusammenhängen spielen autonome Systeme ihre Stärken aus. In anderen Branchen, zum Beispiel in der chemischen Industrie, verbessern CPS die Arbeitssicherheit der Mitarbeiter. In Zukunft wird die Produktion in Fabriken also gänzlich anders aussehen.

In der Fertigung und Logistik führen KI-Technologien zu einer verbesserten Adaptivität der Systeme: Bei auftretenden Problemen oder Engpässen können kommunizierende CPS selbstständig



**Bild 2: Verfahren der Künstlichen Intelligenz erweitern die Fähigkeiten von Cyber-Physical Systems.**

neue Lösungswege finden und umsetzen. Darüber hinaus eröffnet KI aber auch das Feld des sogenannten Predictive Maintenance, verstanden als das frühzeitige Erkennen beziehungsweise Vorhersagen von auftretenden Problemen und den daraus resultierenden vorausschauenden Wartungsarbeiten. Grundlage dafür bilden die Konzepte der Mustererkennung (Interpretation wiederkehrender Muster) und der Anomalieerkennung. KI bietet die Chance, Ausfallzeiten zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren. So können Unternehmen Kosten sparen und verlässlichere Services bereitstellen. Bei kritischen Systemen führt dies nicht nur zu finanziellen Einsparungen, sondern auch zu mehr Sicherheit [5].

Möglich sind all diese Entwicklungen, da CPS-Sensoren alle Arbeitsschritte, Prozesse und Ereignisse erfassen und sammeln. Aber die Entwicklung geht über die reine Produktion hinaus. Die Integration von Sensortechnologien in das Endprodukt ermöglicht das Erfassen von Daten über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes hinweg. KI-Analyseverfahren erlauben gänzlich neue Einblicke in Nutzung, Verschleiß und Servicebedarf von Geräten und Maschinen. Diese Einblicke tragen wesentlich zur Optimierung von Produktionsprozessen und Endprodukten bei.

So eine Fabrik der Zukunft ist also ein Netzwerk aus kommunizierenden CPS, die Daten erfassen, auswerten und kooperativ planen. Entlang der gesamten Produktionskette ergeben sich so Möglichkeiten, vorhandene Abläufe anders zu denken: Das fängt an bei der initialen Planung eines Produktes, geht über die Konstruktion und Fertigung und reicht bis zu Auslieferung und Betrieb. Beispielsweise können Verfahren der KI dabei helfen, individuelle Kundenbedürfnisse zu identifizieren. Auch in diesem Zusammenhang spielen Methoden wie Muster- oder Anomalieerkennung eine große Rolle. Die Datengrundlage dafür bilden historische Daten, die von den mit Sensoren ausgestatteten Produkten selbst kommen. CPS in der Produktion sorgen dann dafür, dass Unternehmen individualisierte Produkte auch in geringer Auflage – Stichwort Losgröße 1 – mit geringem zusätzlichem Aufwand produzieren können. In der Konstruktion können Algorithmen einzelne Bauteile, ganze Maschinen oder auch ergänzende Servicepakete wie Wartungsverträge optimieren – und das in einem durch den Menschen nicht mehr nachvollziehbaren Grad der Detaillierung.

All die oben beschriebenen Möglichkeiten werden Unternehmen aber kaum mit vorhandenen IT-Systemen realisieren können. Denn diese sind zu sehr im traditionellen Ansatz der Modellbil-

dung verfangen. Die IT-Verantwortlichen in Unternehmen werden umdenken müssen.

## IT-Systeme für alle Fälle

In Zukunft werden es Experten immer häufiger mit Systemen zu tun haben, in denen die reale Welt von Menschen, Maschinen und Gegenständen – Atome – mit der Abbildung der realen Welt in Form von Software, Daten und Algorithmen – Bytes – bis zur Ununterscheidbarkeit miteinander verschmelzen. Es sind Systeme, bei denen Unternehmen die gesammelten Daten mit jetzt noch ungeahnten Möglichkeiten kognitiver Anwendungen analysieren und daraus Rückschlüsse ziehen können. Und weil das auf Englisch einfach besser zusammenpasst, bezeichnen wir diese Systeme als „Systems of Atoms, Bits, Cognition and Data“ (ABCD-Systeme).

Das wird die kommende IT-Struktur sein: Im Kern besteht sie aus den klassischen Informationssystemen, die Experten schon seit Jahrzehnten kennen und optimieren. Auf dieser Grundlage arbeiten integrierte Lösungen aus CPS und Cognitive Computing Systems – je nach Branche und Unternehmen in unterschiedlichen Gewichtungen und Ausprägungen. In dieser Konstellation aus A, B, C und D verändern sich Geschäftsmodelle, hier wird über Erfolg oder Misserfolg entschieden. Auch für diese Systeme gilt: Das Beherrschen von Technologien ist nur eine Voraussetzung für den Unternehmenserfolg. Alles Technologiewissen ist aber nichts wert ohne die Fähigkeit, es in die Alltagswelt der eigenen Mitarbeiter und Kunden zu übersetzen. Neue Prozesse, Angebote und Services kann nur der entwickeln, der Branche und Mitarbeiter versteht.

Die Integration von Algorithmen in physikalische Produkte und Anlagen ermöglicht also neue Nutzungsszenarien und Services. Maschinen, Anlagen und Objekte können mit der Hilfe von Sensorik eine Vielzahl an Eigenschaften der Umgebung messen und diese angeschlossenen digitalen Services zur Verfügung stellen, welche diese weiterverarbeiten. KI ist eine zentrale Technologie dieser neuen Generation von Produkten und ermöglicht smarte Entscheidungen aufgrund intelligenter Vorhersagen und Einschätzungen, welche zum Beispiel zu einer umfangreicheren Automatisierung führen können und vorausdenkendes Handeln ermöglichen. Voraussetzung dafür sind IT-Systeme, die von Grund auf in der digitalen und realen Welt zu Hause sind.

## Schlüsselwörter:

Künstliche Intelligenz, Cyber-Physical System, Maschinelles Lernen, Bilderkennung, Spracherkennung

## Literatur

- [1] Kelly, K.: The Inevitable: Understanding the 12 Technological Forces That Will Shape Our Future. London 2017.
- [2] Wichert, A.: Künstliche Intelligenz. In: Spektrum.de. <https://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/kuenstliche-intelligenz/6810> Abrufdatum 15.06.2018.
- [3] Buxmann, Peter; Schmidt, Holger: Grundlagen der Künstlichen Intelligenz und des Maschinellen Lernens. Erschienen in: Buxmann, Peter; Schmidt, Holger (Hrsg.): Künstliche Intelligenz: Mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg. Springer (Berlin Heidelberg), 2018
- [4] Brynjolfsson, E.; McAfee, A.: Race against the Machine. Lexington (Massachusetts) 2011.
- [5] Brynjolfsson, E.; McAfee, A.: The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. New York London 2014.