atp magazin

SONDERDRUCK
Transforming Automation
Ausgabe 6-7/2026

Virtuelle Steuerungen

Evolution und Stand der Technik

#Virtuelle Steuerungen #IEC 61131 #PLCopen

Virtuelle Steuerungen (vSPSen) sind ein weiterer Schritt bei der Digitalisierung der Produktion sowie der damit verbundenen OT/IT-Integration. Die Steuerungsfunktionalität (IEC 61131, PLCopen Bibliotheken) wird dabei räumlich und organisatorisch von der Maschine/Anlage separiert. Diese aktuelle Entwicklung beruht auf einer Reihe von Technologien, z. B. der industriellen Kommunikation, die in den vergangenen Jahren erfolgreich etabliert wurden. Der Beitrag beschreibt die bisherige Entwicklung, den Stand der Technik sowie Herausforderungen für die zukünftige Weiterentwicklung von virtuellen Steuerungen.

Virtual Controllers (vPLCs) are a further step ahead in production digitalization and related OT/IT integration. The control functionality (IEC 61131, PLCopen libraries) will be locally and organisationally separated from the machine / technical system. This ongoing development is based on a set of technologies, e.g., industrial communication, which has been successfully established in the last years. The article describes the up-to-now developments, the state-of-the-art, and the challenges for future development of virtual controllers.

René Simon,
Hochschule Harz

▶ PEER-REVIEW:
09.02.2026

1. Evolution von Speicherprogrammierbaren Steuerungen

Die IEC 61131-1 (2003) [1] Programmable Controller stellt zuallererst den vorgesehenen Einsatz (Funktion) einer Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) in den Mittelpunkt der Betrachtungen: Die Signalverarbeitung als Basis für das Steuern und Leiten von Maschinen und Anlagen. Mit der Steuerung sind verschiedene Peripheriekomponenten wie z. B. Sensoren und Aktuatoren (I/Os), Mensch-Maschine-Schnittstellen (HMIs) und Programmier- und Debugging-Werkzeuge (PADTs) verbunden.

Die Ausführung der Steuerungs-Funktionalität kann sowohl auf einer spezifischen Hardware- und Software-Plattform, auf einem industrietauglichen Personalcomputer als auch auf einem Universalcomputer erfolgen. Es wird inhaltlich eindeutig zwischen einer Steuerung (Gerät) und dem Steuern (Funktion) getrennt. Das heißt, SPS-Funktionalität und SPS-Hardware/Software sind unterschiedliche Kategorien!

Klassische Steuerungen (Hardware SPSen) sind kompakte oder modulare Geräte mit spezifischer und herstellereigener Hardware, einem meist herstellerspezifischen internen Kommunikationssystem und eng integrierter Laufzeitumgebung (Runtime, RT) für die Signal-/Datenverarbeitung (s. Abbildung 1). Die Sensorik/Aktorik wird über Einheitssignale angebunden.

Klassische Steuerungen gewährleisten mit begrenzten Ressourcen (Kosten) die notwendige Verfügbarkeit und Echtzeitfähigkeit für industrielle Prozesse. Sie arbeiten primär in einem zyklischen Betriebsmodus, mit z. B. 1 ms Zykluszeit.

Moderne PADTs beinhalten einen SPS-Simulator ohne I/O-Verbindung und

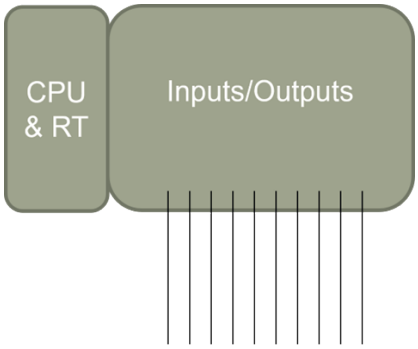

Abbildung 1: Klassische Steuerung.

ohne definiertes Zeitverhalten, der wenn erforderlich mit einem digitalen Zwilling der Maschine/Anlage verbunden werden kann. Das ist bereits ein erster Ansatz, die Laufzeitumgebung von der Hardware zu trennen. Dieser Simulator dient ausschließlich Test- und Demonstrationszwecken, aber nicht zur Steuerung von realen Maschinen/Anlagen.

In einem ersten Evolutionsschritt werden die Sensor-/Aktuator- Schnittstellen von der Steuerung separiert, d. h. in Remote-I/Os (RIOs, auch DP – Dezentrale Peripherie oder RTU – Remote Terminal Unit) oder auch direkt in komplexere Feldgeräte (FGe) ausgelagert und über externe industrielle Kommunikationssysteme (Feldbus oder industrielles Ethernet) angebunden. Damit können

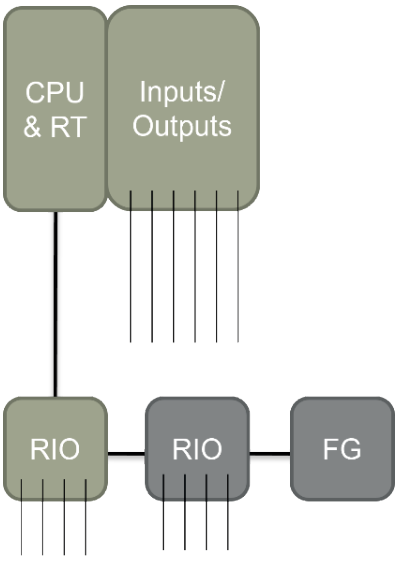

Abbildung 2: Remote I/Os (RIOs).

längere Distanzen überbrückt (Prozessindustrie), mehr Signale im gleichen Bauraum gehandhabt (Fertigungsindustrie) sowie Ressourcen (Material) eingespart werden (s. Abbildung 2).

Um die dadurch entstehenden Multivendor-Systeme mit verteilten Verantwortlichkeiten betreiben zu können, ist jetzt eine Standardisierung des Informationsaustausches sowohl hinsichtlich der Laufzeit als auch für die zu koppelnden Engineeringprozesse verschiedener Hersteller notwendig (Gerätebeschreibungen).

In einem weiteren (parallelen) Entwicklungsschritt wird auch die Laufzeitumgebung von der Hardware separiert (Soft-SPS). Damit kann sie in verschiedenen Produktlinien eines Herstellers (technische Entkopplung) oder auch verschiedener Hersteller (kommerzielle Entkopplung, neues Geschäftsmodell) eingesetzt werden. Erhöhte Entwicklungsanforderungen durch heterogene Hardware (Prozessor, Betriebssystem) und notwendige Skalierungen (z. B. nach Leistung, Funktionalität, Speicher, Schnittstellen) werden durch Wiederverwendung ausgeglichen. Geräte, die eine Soft-SPS integrieren, können sowohl mit lokalen Sensor-/Aktuator-Schnittstellen ausgestattet sein als auch diese über RIOs einbinden (s. Abbildung 3).

Die Standardisierung der Programmierung nach IEC 61131-3 [2] ist dabei unumgänglich, da auch die PADTs mit keinen, kleinen oder größeren Anpassungen von verschiedenen Herstellern für ihre Hardware genutzt werden.

Diese Soft-SPSen können zudem in andere (bereits vorhandene) Automatisierungsgeräte integriert werden, die dann ebenfalls Steuerungsfunktionen ausführen (Industrie-PCs (IPCs)), Bediengeräte, RIOs, Antriebe, Robo-

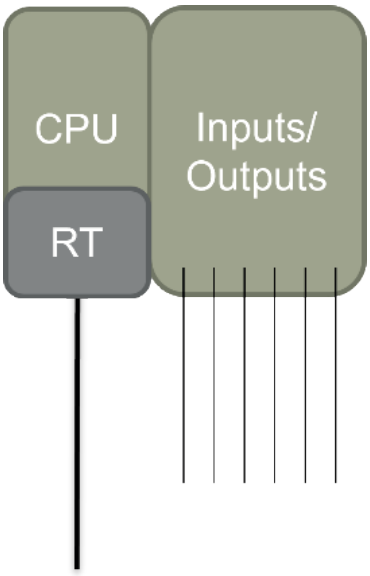

Abbildung 3: Soft-SPS.

ter, CNCs, …). Diese Geräte besitzen gewöhnlich keine lokal angebundenen Sensoren/Aktoren mehr (s. Abbildung 4).

2. Virtuelle Steuerungen

Virtuelle Steuerungen setzen die aufgeführten Entwicklungen konsequent fort. Die Laufzeitumgebung wird in einem schrittweisen Prozess von der Maschine/Anlage örtlich separiert und auf einem IT-Server betrieben. Dieser kann sich in der Nähe befinden (lokaler Server, on-site) oder auch Teil einer firmeneigenen (privaten) bzw. öffentlichen Cloud sein (off-site). Die physischen Inputs/Outputs bleiben an der Maschine/Anlage (s. Abbildung 5).



Abbildung 4: Bedienpanel mit integrierter Steuerungsfunktionalität.

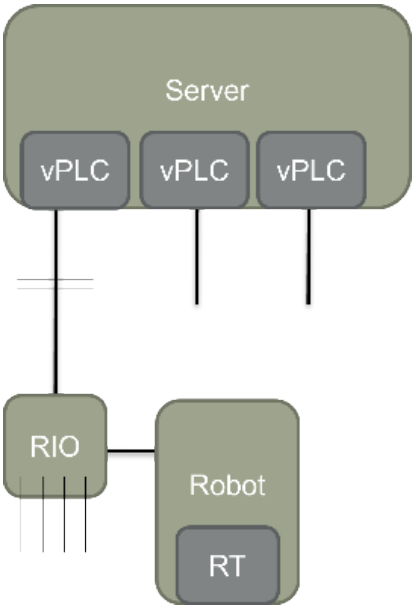

Abbildung 5: Virtuelle SPS.

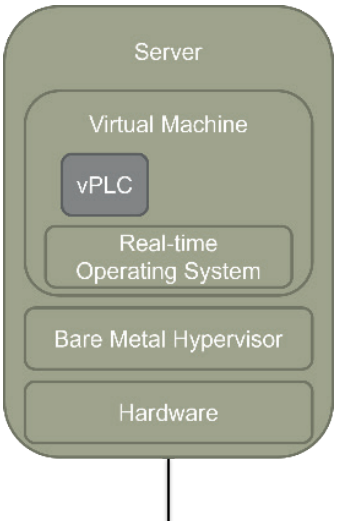

Abbildung 6: Implementierung einer virtuellen SPS.

Optional werden harte und weiche Echtzeitfunktionalitäten separiert, d. h. beispielsweise Motion Control bleibt an der Maschine.

Durch die räumliche Trennung der virtuellen Steuerung von der Maschine/Anlage ist es auch möglich, dass der Besitz und Betrieb dieser virtuellen Steuerung durch einen externen Dienstleister erfolgt und somit auch eine kommerzielle Trennung erfolgt. So entstehen wie schon bei der Soft-SPS neue Geschäftsmodelle, in diesem Fall das Anbieten eines Dienstes/einer Funktionalität „Steuern“. Das wird z. B. als „PLC-as-a-Service“, „Control-as-a-Service“ oder „Industrial Control as a Service“ bezeichnet [3].

Virtuelle Steuerungen werden implementiert, indem ihre Laufzeitumgebung in Containern oder virtuellen Maschinen ausgeführt wird. Damit werden definierte Umgebungsbedingungen, Portabilität und Isolation erreicht. Ein Container bringt alle für die Ausführung seiner speziellen Applikation notwendigen Komponenten mit und nutzt die Funktionen eines unterlagerten Host-Betriebssystems, dessen Kern mit anderen Containern geteilt wird. Eine virtuelle Maschine emuliert eine Computer-Hardware vollständig (Speicher, Rechenleistung, Schnittstellen, …) und besitzt ein eigenes Betriebssystem. Die virtuelle Maschine wird von einem Hypervisor verwaltet, der die physischen Ressourcen der unterlagerten Hardware virtualisiert und an verschiedene virtuelle Maschinen verteilt. Ein Bare-Metal Hypervisor (Typ 1) wird direkt auf der Hardware ausgeführt (s. Abbildung 6). Damit können, im Vergleich zu einer Installation auf einem weiteren Host-Betriebssystem (Typ 2), kürzere Durchlaufzeiten innerhalb des Gesamtsystems erreicht werden.

Virtuelle Steuerungen bringen eine Reihe von Vorteilen mit sich, die sowohl technische als auch organisatorische Prozesse nachhaltig verbessern. Zuallererst wird durch ihren Einsatz die Flexibilität in der Anwendungsentwicklung über den gesamten Lebenszyklus erhöht – die durch Änderungen oder Erweiterungen ggf. notwendigen Ressourcenanpassungen lassen sich jetzt einfacher und schneller durch Softwareupgrades der vSPS realisieren, ohne dass umfangreiche Hardware-Modifikationen bzw. Umbauten an einer physischen Steuerung (Sensor-/Aktuator-Schnittstellen, Speicher, Prozessor) nötig sind. Diese später immer noch möglichen Upgrades der vSPSen verhindern auch, die Steuerung zum Zeitpunkt der Erstinbetriebnahme zur Sicherheit überdimensionieren zu müssen.

Ein weiterer zentraler Nutzen liegt in der Reduktion von Hardware in Anzahl (und Vielfalt). Da Funktionen künftig in virtuellen Umgebungen konsolidiert werden, sinkt der Bedarf an physischen Komponenten. Das wirkt sich insofern positiv auf den Einkauf aus, weil weniger unterschiedliche Geräte beschafft werden müssen. Die Verschiebung der Kosten aus den Investitionen in den laufenden Betrieb durch Abonnement-Modelle kann die finanzielle Belastung besser planbar machen und die Liquidität verbessern. Der Aufwand und die Kosten für Maintenance, Updates und Security werden reduziert. Auch der Energieverbrauch kann möglicherweise durch die geringere Zahl an aktiven Geräten gesenkt werden.

Das digitalisierte Management von virtuellen Steuerungen ermöglicht eine zentrale, oft remote zugängliche Administration. Betreiber können Bedien-, Überwachungs- und Wartungsaufgaben von einem einzigen Dashboard aus steuern, was die Transparenz erhöht und Reaktionszeiten verkürzt.

Schließlich fügt sich die Virtualisierung von Steuerungen aktuell nahtlos in den übergeordneten Virtualisierungstrend der industriellen Automation ein. Diese cloudbasierten Architekturen, die auch für die PADTs nutzbar sind, bilden die Grundlage für Software Defined Automation (SDA). Damit wird die gesamte Automatisierungslandschaft flexibler, skalierbarer und zukunftsfähiger.

Diesen potenziellen Vorteilen steht eine Reihe von Herausforderungen entgegen. Ein zentrales Problem ist die Verfügbarkeit geeigneter industrieller Kommunikationssysteme außerhalb der existierenden firmeninternen OT-Netzwerke. Diese Kommunikationssysteme müssen nicht nur extrem zuverlässig und latenzarm sein, sondern auch mit den bestehenden Standards kompatibel bleiben. Gleichzeitig rücken zusätzliche Security-Aspekte in den Vordergrund, die durch die Exposition der Echtzeitdaten in externen Systemen entstehen. Anforderungen, die in der OT-Welt notwendig und üblich sind, müssen dann zukünftig für das gesamte Unternehmen – inklusive des IT-Netzes – umgesetzt werden.

Die zunehmend weiter verteilten Verantwortlichkeiten erschweren die Inbetriebnahme und den zuverlässigen Betrieb des heterogenen Gesamtsystems zusätzlich. Hinzu kommen jetzt Netzwerkausrüster, Telekommunikationsanbieter, Container- und Hypervisor-Hersteller sowie Cloud-Anbieter. Ein weiteres Spannungsfeld entsteht durch Firmen außerhalb der industriellen Automation. Ob diese bereit sind, harte Anforderungen nur für einen relativ kleinen Markt zu garantieren, ist zumindest unsicher. Zudem zeichnen sich diese Unternehmen durch eine höhere Dynamik in Technologie- und Produktentwicklung sowie flexiblere Unternehmensstrukturen aus – Faktoren, die zwar Innovationen fördern, aber gleichzeitig die Stabilität und langfristige Verfügbarkeit traditioneller Industrieumgebungen beeinträchtigen können. Prinzipiell ist das aber keine neue Herausforderung für die Industrieautomation.

Schließlich bleibt das IT-Wissen für die OT/IT-Konvergenz eine kritische Lücke. Ohne tiefgehendes Verständnis beider Welten lässt sich eine virtuelle Steuerung, die als unvollständiges Produkt geliefert wird, nicht realisieren. Auch ist ein (weiterer) Teil der für die Fertigung erforderlichen Prozesse nicht mehr ausschließlich den dafür zuständigen Fachabteilungen vorbehalten, sondern wird von den IT-Abteilungen übernommen.

Für virtuelle Steuerungen ergeben sich eine Reihe von potenziellen Anwendungsfällen. Beispielsweise besitzt eine moderne Chemieanlage gewöhnlich bereits eine modulare Struktur einschließlich Anlieferung, Lagerung, Vorbehandlung, Hauptreaktion, usw. Hier können eine oder mehrere vSPSen pro Modul in einem zentralen Serverraum am Standort zum Einsatz kommen. Ein anderer Anwendungsfall: Ein Serien-Maschinenbauer entwickelt, baut und nimmt Maschinen am eigenen Standort in Betrieb. Für jede Maschine wird eine vSPS in seiner eigenen Cloud vorgehalten. Nach Auslieferung der Maschine und finaler Inbetriebnahme am Kundenstandort erfolgt die Wartung der Steuerungsapplikation am Standort des Maschinenbauers ohne Personaleinsatz beim Kunden. Ein weiterer Anwendungsfall ist die Steuerung aller HLK-Systeme in einer Betriebsstätte als Dienstleistung durch einen externen Provider. Durch die räumliche Trennung der vSPS kann der Steuerungsprozess von Maschinen und Anlagen an externe Partner delegiert werden.

Es sind bereits eine Reihe von kommerziellen Produkten verfügbar (s. Tabelle 1) und weitere befinden sich in der Entwicklung. Eine Marktstudie ist ebenfalls erhältlich, in dieser werden die Begriffe virtuelle Steuerung bzw. Produkt allerdings sehr weit gefasst [4].

Neben diesen kommerziellen Produkten entstehen auch erste Realisierungen in kleinen Produktionsanlagen. Bei Volkswagen (Audi) wurde bereits 2019 ein Projekt zur Implementierung einer vollständig cloudbasierten Produktion gestartet. Parallel dazu liefen Produktentwicklungen in Siemens und Vortests in einem Labor. Seit Januar 2024 laufen zwei virtuelle SPSen SIMATIC S7-1500V an einer Achsen-Fertigungslinie in einer Fabrik in Neckarsulm im Regelbetrieb [5]. Bei einer Entfernung von ca. 10 km zwischen den Maschinen und der virtu-

Tabelle 1: Verfügbare kommerzielle Produkte.

Hersteller	Produkt
Beckhoff	TwinCAT for Linux
Bosch Rexroth	ctrlX OS
Codesys	CODESYS Virtual (Safe) Control SL
Logiccloud	logiccloud 365
Otee	IIoT platform
Phoenix	Virtual PLCnext Control
Siemens	SIMATIC S7-1500V
Toshiba	PLC Package Type N1
HollySys	HiaVDCS

ellen Steuerung werden hier Zykluszeiten unter 8ms eingehalten. Ein weiteres laufendes Projekt findet ebenfalls bei Volkswagen (Audi) statt [6]. Hier handelt es sich um Machbarkeitsstudien, initiale praktische Demos sowie Prototypen in Pilot-Produktionszellen. Zum Einsatz kommen mit CODESYS Virtual Control SL sowohl funktionale als auch sichere virtuelle Steuerungen.

Relevante Standardisierungsaktivitäten finden insbesondere hinsichtlich der industriellen Kommunikation statt. Das IEC/IEEE 60802 TSN-Profile for Industrial Automation [7] hat in der IEC den Status CDV und in der IEEE den Status SA Ballot. Daneben liegt in China der erste Entwurf eines nationalen Standards GB/T Programmable Controller – Virtualization Reference Architecture und Technical requirements for trusted computing vor.

Es ergibt sich die Notwendigkeit, die industriellen Kommunikationssysteme für die Nutzung über größere Ausdehnungen weiterzuentwickeln. Dabei ist innerhalb eines Cloud-Servers, zwischen verschiedenen Cloud-Servern und zu den Remote I/Os über öffentliche Netzwerke (kein Greenfield) zu kommunizieren, eine zeitliche Pufferung ist nicht möglich. Es sind zumindest die QoS-Anforderungen, wie sie von den heutigen industriellen Kommunikationssystemen hinsichtlich Latenzzeit, Jitter, Paketverlustrate und Datendurchsatz erreicht werden, zu erfüllen. Eine begleitende Standardisierung ist hier essenziell, um nicht neue Feldbuskriege anzuzetteln. Auch das Engineering ist entsprechend aktueller industrieller Kommunikationssysteme zu gestalten.

Für jede Industriesteuerung ist die unbedingte Einhaltung der projektierten maximalen Zykluszeit notwendig (nicht hinreichend). Wird die Zykluszeit überschritten, ist das Echtzeitverhalten der Steuerketten und Regelkreise bzw. die Prozessstabilität nicht mehr gewährleistet und es muss in einen sicheren Zustand geschaltet werden (Produktionsstillstand). Bei einer klassischen Steuerung umfasst die Zykluszeit den gesamten Durchlauf vom Einlesen aller Eingänge über die Programmausführung bis hin zum Schreiben aller Ausgangswerte. Werden RIOs oder Feldgeräte über industrielle Kommunikationssysteme eingebunden, kommen die Abarbeitungszeiten der Protokollstacks und die Laufzeiten in den Verbindungsleitungen (Latenz und Jitter) hinzu. Bei einer Virtuellen Steuerung sind zusätzlich die Durchlaufzeiten des Softwarestacks auf dem Server sowie die höheren Verzögerungen des Kommunikationsnetzwerkes infolgedessen größerer Ausdehnung und u. U. zwischengeschalteter Komponenten zu berücksichtigen. Einen Überblick über aktuell erreichbare Zykluszeiten gibt Tabelle 2, beruhend auf Herstellerangaben und Laboruntersuchungen mit allerdings unterschiedlichen Aufbauten und Messzielen, z. B. [8], [9], [10], [11], [12].

Tabelle 2: Aktuell erreichbare Zykluszeiten verschiedener Steuerungen.

Zykluszeit [ms]	Klassische / Soft-SPS	Virtuelle SPS		
		Lokaler Server	Private Cloud	Öffentliche Cloud
150	✓	✓	✓	
10	✓	✓	✓	
1	✓			
<1	✓			

Gibt es eine trennscharfe Unterscheidung zwischen den verschiedenen SPS-Typen? Eine Einteilung kann wie folgt vorgenommen werden:

- **Klassische SPS**
  - Gerät ausschließlich für SPS-Funktionalität
- **Soft-SPS**
  - Software integriert in verschiedene Gerätekategorien, z. B. einen IPC
- **Virtuelle SPS**
  - Software, kein Gerät und fertiggestellt (installiert, in Betrieb genommen) durch Systemintegrator/Endanwender auf seiner eigenen Hardware (Server)
  - Dienst bzw. Dienstleistung Steuern

Die Evolution der Ausführung von SPS-Funktionalität vollzieht sich in sich überlappenden Schritten.

3. Ausblick

Im Hinblick auf virtuelle Steuerungen müssen industrielle Kommunikationssysteme weiter- statt neuentwickelt werden, um sie auch außerhalb firmeninterner OT-Netzwerke einsetzen zu können. Dazu ist eine geeignete virtuelle „Physikalische“ bzw. Transport-Schicht zu standardisieren, die in den allgemeinen IT-Netzen der Firmen und in öffentlichen Netzen implementiert werden kann, um zumindest ein deterministisches Zeitverhalten zu erreichen. Es darf dabei keine wesentlichen Änderungen des Engineerings bzgl. der Konfiguration der Kommunikation (Gerätebeschreibungen) sowie der Anwendungsentwicklung (Prozessabbild) im Vergleich zu den heutigen Standard-Kommunikationssystemen geben.

Hinsichtlich der Nutzung von Container/Hypervisor-Technologien besteht mit Sicherheit Vereinheitlichungsbedarf [13]. Eine vSPS sollte keine herstellerspezifischen Anforderungen (technisch und organisatorisch) an einen IT-Server stellen.

Eine Zentralisierung der Anwendungsfunktionalität auf der Steuerung (Programmable Automation Controller, PAC), wie sie z. B. durch die PLCopen-Bibliotheken für Motion, Safety und Process Control unterstützt wird [14], erleichtert die vollständige Virtualisierung des Anwendungsprogrammes, da dann „nur“ ein Gerät, die Steuerung, virtualisiert werden muss. Ein PLCopen-Motion-Funktionsbaustein (Proxy), der auf der Steuerung abläuft, ist bereits eine Virtualisierung. Die Antriebssteuerung muss dann nicht zusätzlich virtualisiert werden. Bzgl. Safety ist ggf. zuerst der Übergang von einer hart-verdrahteten Lösung auf Basis von Sicherheitsrelais zu einer Softwarelösung auf Basis einer sicheren Steuerung unabdingbar, um letztere dann zu virtualisieren.

Es ist vorstellbar, dass durch die Einführung virtueller Steuerungen in Zukunft weitere, sowieso vorhandene, Geräteklassen mit einer Steuerungsfunktionalität aufgerüstet werden. Eine virtuelle SPS kann potenziell auf einem Switch oder einer Funk-Basisstation ablaufen, ähnlich den heute programmierbaren RIOs, und dort direkt alle bereits anliegenden Prozesssignale verarbeiten. Und wäre es nicht auch denkbar, dass in Zukunft eine virtuelle SPS einschließlich Applikationsprogramm als binärer „Blob“ direkt an die Maschine/Anlage geliefert wird?

Klassische, Soft- und virtuelle SPSen werden in der Zukunft koexistieren und Branchen-, Anforderungsfall-, Endanwender- sowie projektspezifisch entsprechend der jeweiligen Anforderungen und Ressourcen eingesetzt werden. Dabei können zusätzliche innovative Anwendungsfelder für Industriesteuerungen außerhalb der klassischen Fertigungs- und Prozessindustrie erschlossen werden.

Virtuelle Steuerungen werden inzwischen von verschiedenen Herstellern als eigenständige Produkte angeboten und lassen sich gut in Produktionsumgebungen integrieren. Für die Einführung eignen sich neben Green-Field-Projekten insbesondere bestehende Maschinen und Anlagen, deren Steuerungstechnik ohnehin regelmäßig erneuert wird. Die Nutzung einer eigenen bzw. angemieteten optischen Übertragungsstrecke ist empfehlenswert.

Dabei müssen zunächst die Echtzeitanforderungen präzise definiert werden. Anschließend muss die gesamte Kette – von der Sensorik über die Kommunikations-, Hardware- und Software-Komponenten bis hin zur Aktorik – dimensioniert werden. Abschließend sind Ergebnisse sowohl rechnerisch zu prüfen als auch in einem Labor bzw. Prototypen praktisch zu verifizieren.

Ein Early-Adopter zu sein, bringt zwar Herausforderungen mit sich, doch die Hersteller von virtuellen Steuerungen zeigen derzeit eine große Bereitschaft, gezielte Unterstützung zu bieten, um Referenzkunden für die neue Technologie zu gewinnen!

4. Referenzen

[1] IEC 61131-1. (2003). PROGRAMMABLE CONTROLLERS – Part 1: General information. IEC: http://www.iec.ch

[2] IEC 61131-3. (2025). PROGRAMMABLE CONTROLLERS – Part 3: Programming languages. IEC: http://www.iec.ch

[3] Land, J. (2024). Virtual PLC and Software-as-a-Service: The Next Big Change? Abgerufen von: https://www.otee.com/post/virtual-plc-and-software-as-a-service-the-next-big-change

[4] IoT Analytics. (2024). Market Report Virtual PLC and Soft PLC Market 2024–2030. Abgerufen von: https://iot-analytics.com/product/virtual-plc-and-soft-plc-market-2024-2030

[5] Siemens AG. (2025). Audi is virtualizing the shop floor with the virtual PLC from Siemens. Abgerufen von: https://www.siemens.com/global/en/company/stories/industry/factory-automation/virtual-plc-audi.html

[6] CODESYS Group. (2024). Audi uses virtual CODESYS. Abgerufen von: https://www.codesys.com/the-company/news-center/press-releases/audi-uses-virtual-codesys-control/

[7] IEC/IEEE 60802. (2025). TSN Profile for Industrial Automation. Abgerufen von: https://1.ieee802.org/tsn/iec-ieee-60802

[8] Givehchi, O., Imtiaz, J., Trsek, H., Jasperneite, J. Control-as-a-Service from the Cloud: A Case Study for using Virtualized PLCs. Abgerufen von: https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/0db95abd-b90a-4a11-87fc-449d592e7d36/content

[9] Langmann, R., Stiller, M. (2019). The PLC as a Smart Service in Industry 4.0 Production Systems. Abgerufen von: https://doi.org/10.3390/app9183815

[10] Perez, D. J., Waltl, J, Prenzel, L., Steinhorst, S. (2022). How Real (Time) Are Virtual PLCs? Abgerufen von: https://tum-esi.github.io/publications-list/PDF/2022-ETFA-How_Real_Time_Are_Virtual_PLCs.pdf

[11] Kampa, Th. (2025). Architekturkonzept deterministischer Kommunikationsnetzwerke für die IT/OT-Konvergenz. Dissertation Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

[12] ISA Blog. (2024). Abgerufen von: https://blog.isa.org/taking-a-look-at-the-virtual-plc-technology-stack

[13] Margo Initiative. Abgerufen von: https://margo.org

[14] PLCopen. Abgerufen von: https://www.plcopen.org

Prof. Dr.-Ing. René Simon (geb. 1966) ist seit 2004 Professor für Steuerungstechnik an der Hochschule Harz. Sein Forschungsschwerpunkt ist das Engineering von Automatisierungssystemen, insbesondere von industriellen Steuerungen. Prof. Simon ist zudem Chairman PLCopen, Convenor IEC TC65/SC65B/WG7 - Programmable control systems und Stellvertretender Obmann DKE K962 – SPS.

Prof. Dr.-Ing. René Simon
Hochschule Harz
Fachbereich Automatisierung und Informatik
38855 Wernigerode
+49 3943 659 373
rsimon@hs-harz.de