

## Cloud basierte IEC 61131 Steuerungsdienste auf Basis von Webtechnologien

Michael Stiller, Mike Heidrich, Reinhard Langmann

doi: 10.15771/ASW\_2016\_8

### Zusammenfassung

Industrie 4.0 bzw. IIoT stützt sich auf eine CPS zentrierten Automatisierungsstruktur. Damit ist nicht mehr ausgeschlossen, dass künftig zeit- und einsatzkritische Funktionen in eine Industrial Cloud ausgelagert werden. Grund dafür sind die Anforderungen aus Industrie 4.0, nach denen die Produktion der Zukunft auf selbstorganisierenden und wandelbaren Systemen basiert. Um auch in die prozessnahen Ebenen (Steuerung, Regelung) online und mit höchster Flexibilität eingreifen zu können, muss die IT-Kapselung der Steuerungsfunktionalität in einer Hardware aufgehoben werden, damit diese als Softwareinstanz in einer Cloud im Sinne einer Wandelbarkeit beeinflusst werden kann. Der Vortrag zeigt am Beispiel des Projekts CICS (Cloud-based Industrial Control Services), wie IEC61131-Steuerungsprogramme als Dienste in bzw. aus einer Cloud genutzt werden können. Steuerungsprogramm, Runtime-Maschine und E/A-Konfiguration werden dabei als separate und web-fähige Softwareinstanzen aus der klassischen SPS herausgelöst und flexibel in einer Cloud verteilt. Die Steuerungsausführung erfolgt je nach Bedarf client- und/oder server-basiert. Damit ergeben sich eine Reihe von Vorteilen für die Anwender wie Kosteneinsparungen bei Inbetriebnahme und Betrieb durch ortsunabhängigen und

Cloud-basierten Service, flexible Bereitstellung von Steuerungsfunktionen für wandlungsfähige Produktion, Produktionsoptimierung durch bedarfsgerechte Nutzung effizienter Algorithmen, Unterstützung von Simulation für bessere Planung und Prozessoptimierung, verbesserter Herstellerservice u. a.

### 1. Auf dem Weg zur Industrial Cloud

Seit mehreren Jahren ist Cloud Computing in Zusammenhang mit Industrie 4.0 eine stark im Fokus stehende Thematik. Mit Blick auf die hochautomatisierten Bereiche z. B. in der Automobilproduktion erwartet man, dass mit einer verstärkten informationstechnischen Durchdringung und sensorgestützten Vernetzung des Wertschöpfungsprozesses Cloud-Technologien erheblich an Bedeutung gewinnen werden.

In einem Cyber Physical Production System (CPPS) werden Daten, Dienste und Funktionen dort gehalten, abgerufen und ausgeführt, wo es im Sinne einer flexiblen, effizienten Produktion den größten Vorteil bringt. Das wird nicht länger notwendigerweise auf den klassischen Automatisierungsebenen sein. Zum Beispiel könnten Prozessdaten statt über Sensoren auf der Feldebene auch über Dienste in einer »Automatisierungcloud« gewonnen werden. Es ist anzunehmen, dass die heute

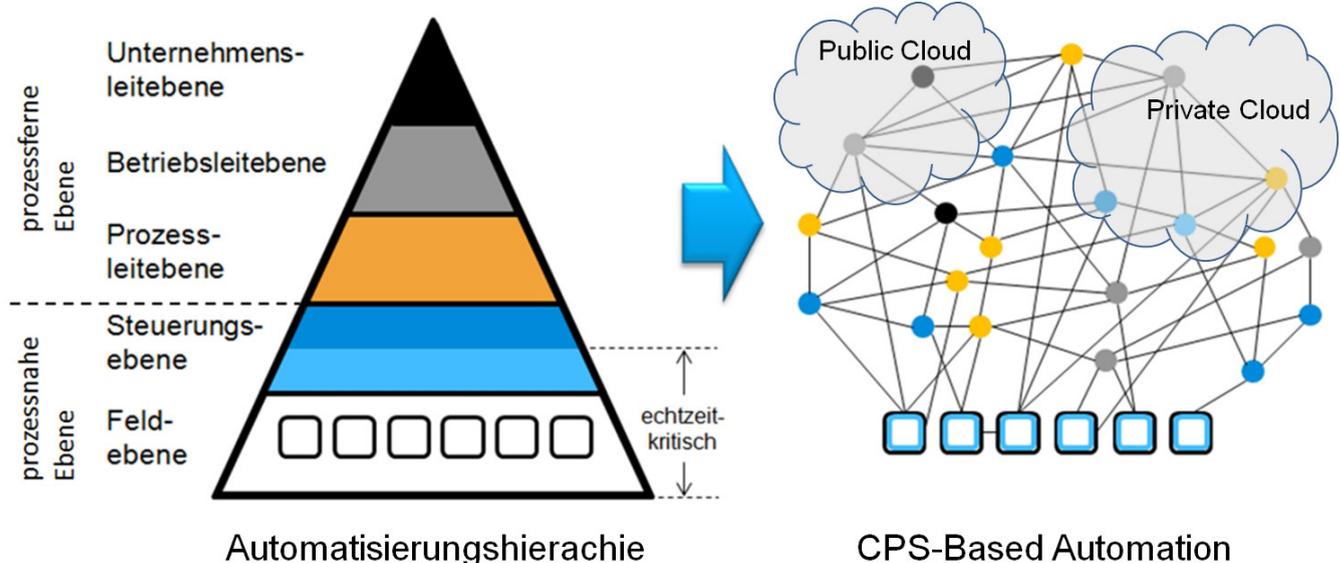


Abb. 1 Auflösung der klassischen Automatisierungspyramide und Verlagerung von Funktionen als Dienste in eine Cloud

noch überwiegend existierende Automatisierungspyramide durch die Einführung von vernetzten, dezentralen Systemen schrittweise aufgelöst wird und die verschiedenen Ebenen sowohl für die Struktur der Hardware und Vernetzung als auch für die Informationsverarbeitung und das Engineering nicht weiter existieren werden. Dienste, Daten und Hardwarekomponenten können auf beliebige Knoten des entstehenden Netzes verteilt werden und bilden somit abstrakte funktionale Module, aus denen sich das Automatisierungssystem aufbaut. Damit

forderlichen Datensicherheit. Durch CPPS werden diese Eigenschaften noch mehr an Bedeutung gewinnen. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass der Cloud-Anbieter mit CPPS eine wesentlich höhere Zahl an gleichzeitigen Kommunikationsverbindungen zu managen hat, die zudem schnell als auch latenzarm sein müssen. Für die industriellen Anwender bedeutet der Einsatz von CPPS vor allem eine Neugestaltung der internen Kommunikations- und Steuerungsinfrastruktur, um jedem Sensor und Aktor die Anbindung an die Cloud zu ermöglichen.

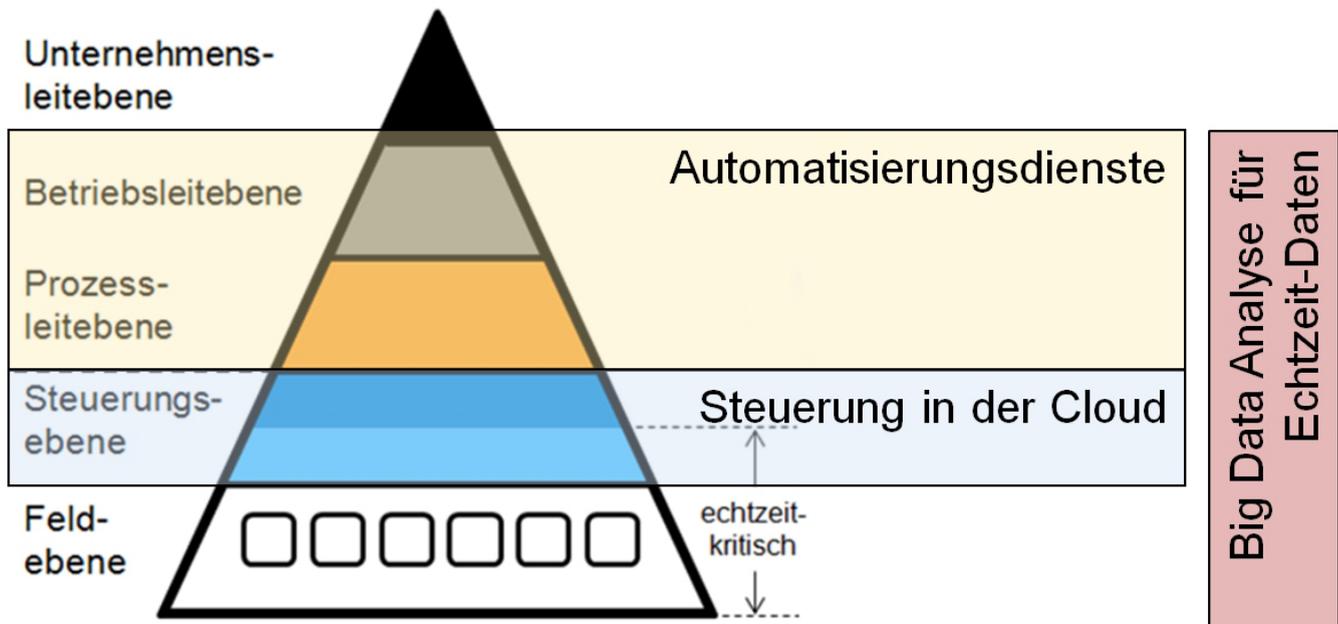


Abb.2 Künftige Dienste in drei Anwendungsbereichen

löst sich die klassische Automatisierungspyramide zu einer Automatisierungswolke auf, die dann als *CPS-based Automation* bezeichnet werden kann. Abb. 1 verdeutlicht diese Entwicklung.

Die Automatisierungsfunktionen, die in der neuen CPS-based Automation als im Netz verteilte Dienste vorliegen, können nun je nach Anforderung über eine Private oder Public Cloud realisiert werden. Dabei wird auch nicht ausgeschlossen, dass echtzeitrelevante Anforderungen durch eine derartige Architektur zukünftig erfüllt werden können. Nach einhelliger Auffassung werden serviceorientierte Architekturen (SOA) als neue Technologie eine besondere Rolle spielen. SOA bietet die Möglichkeit einheitliche Schnittstellen zu erstellen und eine Kollaboration von der Feldebene bis in die Enterprise-Ebene zuzulassen. Damit lässt sich bei steigender Individualität, Komplexität und Qualität auch weiterhin ein hoher und kosteneffizienter Durchsatz generieren. Bei einer Gegenüberstellung der Herausforderungen und der Möglichkeiten des Cloud Computing kann festgestellt werden, dass der Zugriff auf praktisch unbegrenzte Rechner- und Speicherressourcen in einer Cloud dem jeweiligen Industrieunternehmen eine Vielzahl von Vorteilen bieten kann. Die heutigen Cloud-Anbieter haben ihren Fokus vor allem in der Verfügbarkeit der Infrastruktur bzw. der bereitgestellten Dienste und in der er-

Bezogen auf die klassischen Automatisierungsfunktionen können künftige Dienste in drei Anwendungsbereiche eingeteilt werden:

- **Automatisierungsdienste:** Zielstellung ist die Realisierung von Automatisierungsfunktionen der höheren Automatisierungsebenen als Automatisierungsdienste und deren Ausführung, Verteilung und Management unter Nutzung von Cloud Computing.
- **Steuerungen in der Cloud:** Zielstellung ist die Verlagerung von Industriesteuerungen in eine Cloud und die Ausführung der Steuerungen bzw der Steuerungsprogramme als Dienst.
- **BigData-Analyse von Echtzeitdaten:** In allen Automatisierungsebenen, aber insbesondere in den prozessnahen Ebenen fallen sehr große Mengen an Echtzeit-Prozessdaten an, deren Analyse zu einer Verbesserung der Effizienz eines gesamten Automatisierungssystems führen kann.

## 2. Auflösung der Kapselung von Steuerungsfunktionalität in einer Hardware

### 2.1 Auftrennung der Steuerungsarchitektur

Aufgrund heterogener Anlagentechnik mit Steuerungsarchitekturen unterschiedlichster Hersteller für die automatisierte Produktion bieten heutige Produktionssysteme nur eine eingeschränkte Anzahl von Schnittstellen an. Diese wiederum liefern eine noch geringere Anzahl informationstechnisch beeinflussbarer Optimierungskriterien für die Produktionsplanung. Zudem bringt die starke Informationskapselung auf den unterschiedlichen Ebenen der Produktion weitere Nachteile mit sich. Eine der wesentlichsten Zielstellungen des Projekts CICS (Cloud based industrial control service) ist es deshalb, diese Informationskapselung weitgehend aufzuheben, um eine maximale Rekonfigurierbarkeit und Wandelbarkeit in Echtzeit für eine Industriesteuerung zu erreichen. Die allgemeine Struktur einer CICS-Steuerung basiert auf folgender Struktur (Abb. 3).

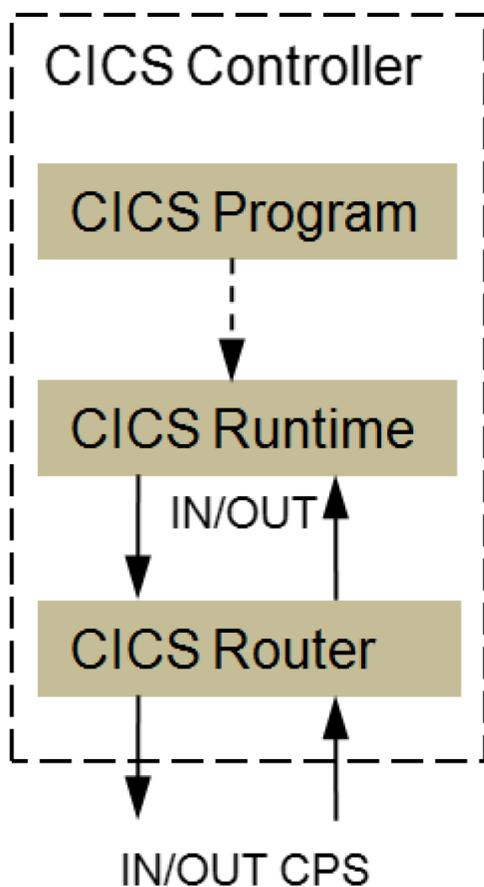


Abb. 3 Allgemeine Struktur einer CICS-Steuerung

**CICS-Programm (CICS-P):** Das CICS-P ist ein IEC61131-3-Steuerungsprogramm in der PCLopen XML-Notation. Es beinhaltet keine Steuerungskonfiguration sondern nur den Programm- und Variablenteil.

**CICS-Runtime (CICS-RT):** Die CICS-RT ist die Ausführungsumgebung für das CICS-Programm. Sie kann zyklusgesteuert oder event-basiert arbeiten. Prozessdateneingän-

ge werden grundsätzlich event-basiert und asynchron verarbeitet.

**CICS-Router (CICS-R):** Der CICS-R beinhaltet die Gerätekonfiguration für eine CICS-Steuerung, d.h. darüber wird festgelegt, welche CPS-Komponenten (welche Automatisierungsgeräte) an die Steuerung angeschlossen sind. Da in der Web-Welt über die CPS-Komponente (I40-Komponente) die realen Geräte bereits virtualisiert vorliegen, beinhaltet eine CICS-Konfiguration nur die Zuordnung zwischen den absoluten IN/OUT-Adressen im CICS-Programm und deren Routing zu den IN/OUTs der CPS-Komponenten. Eine CICS-Konfiguration wird deshalb auch als *CICS-Router* bezeichnet.

Durch die Separierung von CICS-P, CICS-RT und CICS-R in einer CICS-Steuerung und der prinzipiell beliebigen Verteilung der Einzelkomponenten in einem IP-Netzwerk unter Nutzung von Cloud-Technologien sind sowohl eine Änderung des Steuerungsprogramm-Codes (Steueralgorithmus) wie auch eine Änderung der Gerätekonfiguration mit z. B. Austausch von Baugruppen und Plug & Work in Echtzeit einfach möglich. CICS-R und CICS-P sind *on-the-fly* während eines Programmzyklusses austauschbar.

### 2.2 Auftrennung des Steuerungsprogramms

Betrachtet man eine SPS als eine CPS-Komponente, so könnte man das klassische IEC 61131-Steuerungsprogramm (Control Program – CP) in drei Teile zerlegen:

- grundlegender funktionaler Programmteil (*CP basic – CPb*),
- Programmteil, welcher übergeordnete, Verwaltungs- und/oder Nutzerschnittstellenfunktionen ausführt (*CP supervisory – CPs*),
- kritischer Programmteil hinsichtlich Echtzeit und Sicherheit (*CP critical – CPc*).

Um die I40-Fähigkeiten einer CICS-Steuerung zu beurteilen, wird u. a. diese dreiteilige Strukturierung des Steuerungsprogramms genutzt. Abb. 6 zeigt die Struktur einer solchen SPS.

Nimmt man die Steuerung nach Abb. 6 als Basis und modifiziert diese entsprechend der zunehmenden Verlagerung der Steuerungsprogramme in eine Cloud als Dienste, so ergibt sich die in Abb. 7 dargestellt Evolution der CPS-Komponente »Industriesteuerung«.

Entsprechend der oben eingeführten Zerlegung des SPS-Programms in drei Teile ergeben sich drei Typen von CPS-Komponenten (Abb. 7):

- a. Die Steuerung realisiert nur noch die Programmteile CPb und CPc. Die klassische Runtime-Umgebung einer SPS wird weiterhin benötigt.

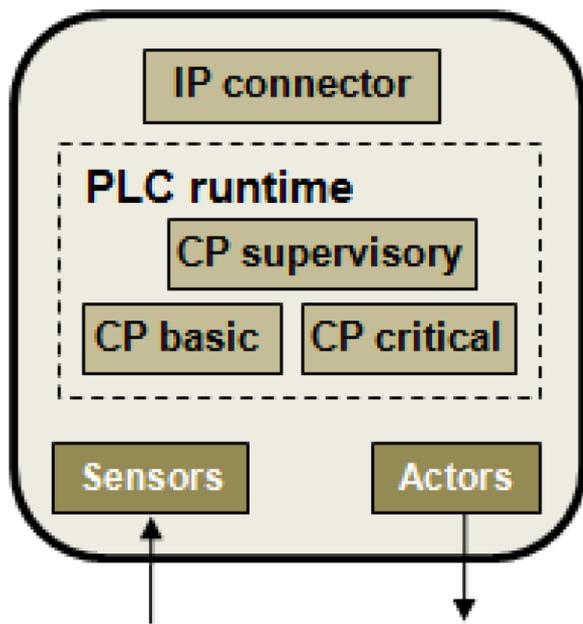


Abb. 4 Struktur einer SPS als CPS-Komponente

b. In der CPS-Komponente werden aus Sicherheitsgründen nur noch die CPc-Programmteile realisiert. Die klassische und herstellereigenspezifische SPS-RTM-Maschine wird nicht mehr unbedingt benötigt. Die Realisierung der CPc könnte auch durch spezifische embedded Programmteile (z. B. in C) realisiert werden. Aber auch die Nutzung von portierfähigen und »schlanken« SPS-RTM-Targets wäre hier möglich (z. B. CoDeSys-Target für embedded Controller).

schine und E/A-Konfiguration werden wie in Abschnitt 2 beschrieben als separate und webfähige Softwareinstanzen aus der klassischen SPS herausgelöst. Diese können dann flexibel in einer oder mit Unterstützung einer Cloud verteilt werden. Die Steuerungsausführung soll wahlweise client- und/oder server-basiert möglich sein. Für den Anschluss der Automatisierungsgeräte an die Steuerungsdienste ist ein schneller WebConnector vorgesehen, mit dem über schlanke Internetprotokolle (WEBSOCKET, http/2, WEB RTC) zu Industrieschnittstellen (OPC UA, Modbus TCP usw.) kommuniziert werden kann. CICS strukturiert die Steuerungen nach den beiden Eigenschaften *Control Locality* (wo befinden sich die Teile des Steuerungsprogramms) sowie *Service Ability* (Abstufung der Verfügbarkeit der Dienste) und untersucht die Anwendbarkeit der Dienstenutzung für unterschiedliche daraus abgeleitete Steuerungsklassen. Damit ergeben sich 3 verschiedene cloud-basierte Steuerungsvarianten: Server Mode, Client Mode und Mixed Mode.

### 3.1 Server-basierte Lösungen

Bei einer Server-basierten CICS-Lösung befinden sich Runtime-Maschine (CICS-RT) und Steuerungsprogramm (CICS-P) auf dem Server und das Steuerungsprogramm wird dann auch auf dem Server ausgeführt. Das Automatisierungsgerät als CPS-Komponente muss während der Ausführung des Steuerungsprogramms mit der Runtime-Maschine möglichst verzögerungsfrei und zuverlässig über das IP-Netz (Intranet/Internet) verbunden sein. Es ergeben sich dazu prinzipiell zwei Möglichkeiten:

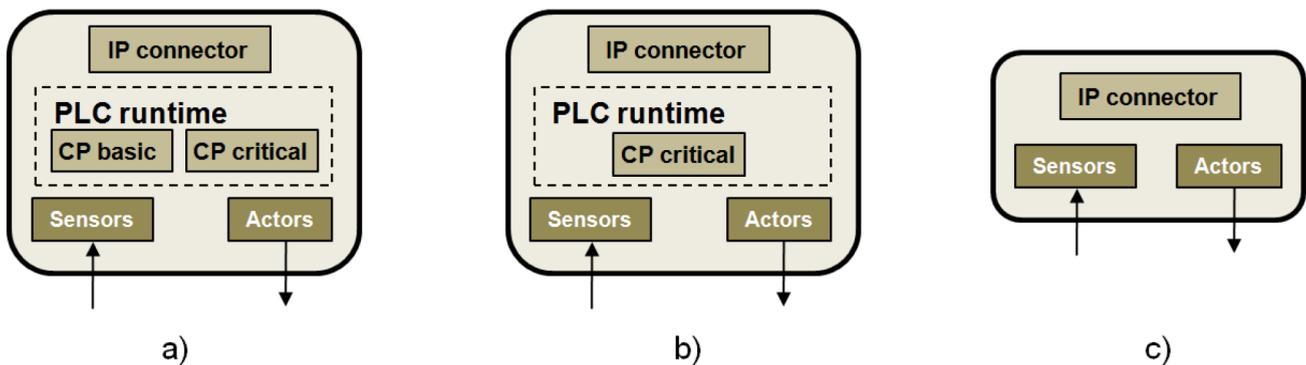


Abb. 5 Evolution einer Industriesteuerung (SPS) als CPS-Komponente

c. Die CPS-Komponente beinhaltet keinen Steuerungsanteil mehr, sondern nur noch Sensoren und Aktoren (und evtl. deren Vorverarbeitung bzw. Filterung). Die konsequente Weiterentwicklung einer SPS und Virtualisierung im Sinne von I40 führt zum Wegfall der klassischen hardware-basierten SPS (durch die erforderliche PC-Hardware trifft dies auch auf eine SoftSPS zu).

1. Die CICS-RTM wird in einem Projektierungsprozess statisch mit einer festgelegten CPS-Komponente verschaltet. CPS-RTM und CPS-Komponente bilden ein vorprojektiertes einheitliches Funktionssystem. Dies entspricht dem üblichen Konfigurationsprozess einer klassischen SPS, bei dem die Zuordnung der SPS-E/A's zu den Programmvariablen fest projektiert wird. Nach Start der CICS-Steuerung über den Client verbindet sich die CICS-Steuerung automatisch mit der zugehörigen CPS-Komponente über das IP-Netz und führt das Steuerungsprogramm aus.

### 3. Verteilung der Services in der Cloud

In CICS werden keine virtualisierten SPS-Steuerungen eingesetzt, sondern Steuerungsprogramm, Runtime-Ma-

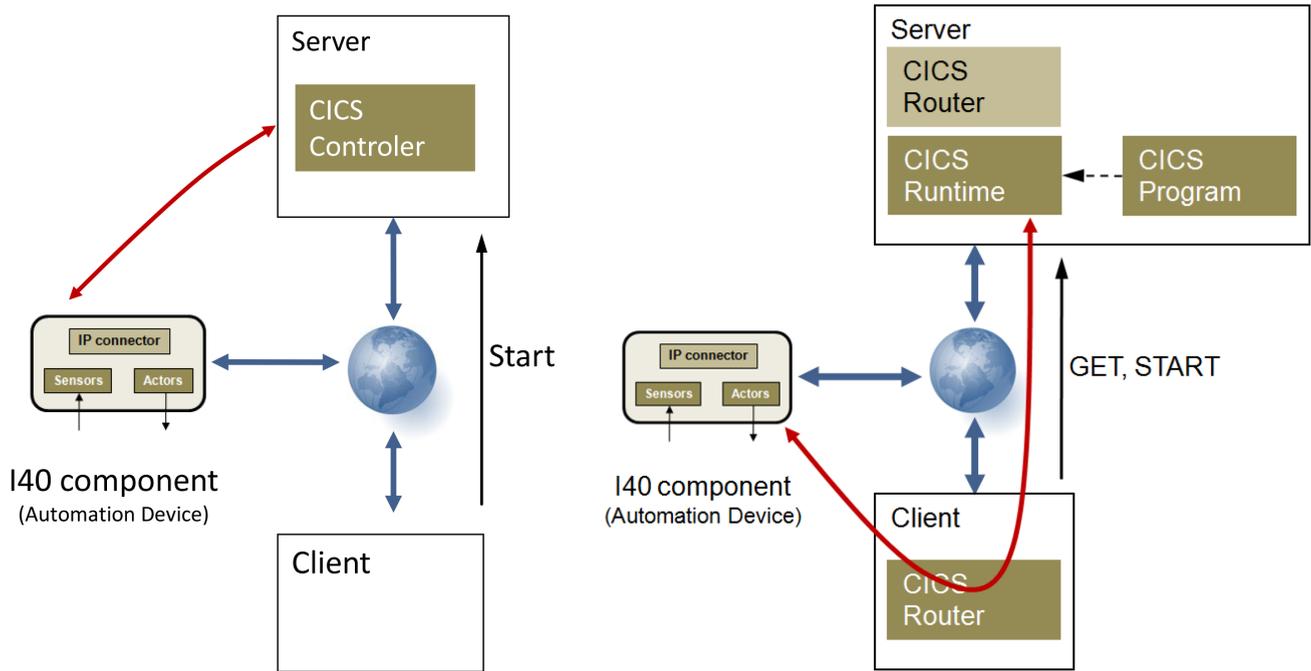


Abb. 6 Komponentenstruktur und Kommunikationswege für server-basierte CICS-Lösungen

2. Vor Start der CICS-Runtime wird zuerst auf den Client ein CICS-Router vom Server geladen. Nach Start der CICS-Runtime verbindet dieser Router dynamisch die CPS-Komponente mit der CICS-Runtime im Server.

### 3.2 2.4 Client-basierte Lösungen

Auch bei der client-basierten CICS-Lösung ergeben sich zwei prinzipielle Varianten:

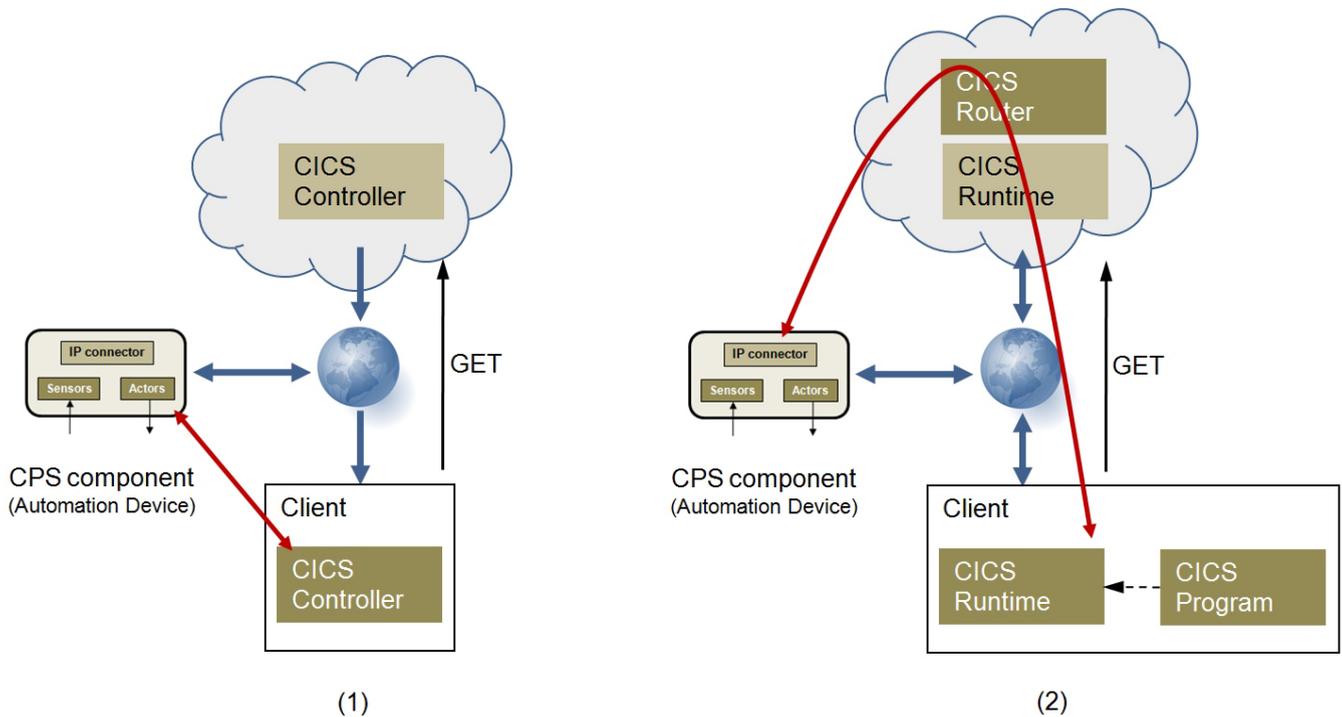


Abb. 7 Komponentenstruktur und Kommunikationswege für client-basierte CICS-Lösungen

Die Prozessdaten vom Automatisierungsgerät werden jetzt über den Client zum Server geleitet.

Abb. 6 zeigt die beiden Kommunikationswege für die Prozessdaten zwischen CPS-Komponente und CICS-Steuerung bzw. CICS-Runtime.

1. Das Steuerungsprogramm läuft zwar in der CICS-Runtime im Client, aber die Kommunikation zur CPS-Komponente läuft über einen dynamisch umkonfigurierbaren Router im Server. Hinsichtlich der Flexibilität und Online-Anpassbarkeit ergeben sich ähnliche Vorteile wie bei der server-basierten Mixed Mode-Lösung.

2. Die CICS-Runtime wird als Instanz im Client ausgeführt. Es muss eine offline-Projektierung der CICS-Runtime erfolgen, um diese mit den E/As der CPS-Komponente zur Laufzeit verbinden zu können. Es können aber beliebig viele CICS-Steuerungsprojekte erstellt und in einer Cloud abgelegt werden. Zur Laufzeit können diese dann dynamisch geladen und ohne Zeitverzug ausgeführt werden.

#### 4. Trennung von Runtime und Router

Der I/O-Konfigurationsteil eines CICS-Steuerungssystems (CICS-Router) ist von der CICS-Runtime aus folgenden Gründen separiert:

- Sicherung einer dynamischen Re-Konfigurierung, d. h. bei identischem Steuerungsprogramm kann die I/O-Konfiguration innerhalb eines Programmzyklus geändert werden.
- Identische Maschinen/Anlagen können trotz unterschiedlicher E/A-Baugruppen mit dem gleichen Steuerungsprogramm betrieben werden.
- Ein verteilter separater Konfigurationsteil (CICS-Router) bildet die Grundlage für eine zukünftige automatische IIoT3-basierte Gerätekonfiguration.

Abb. 8 veranschaulicht die Funktionsweise eines CICS-Routers.

Die über das Channel Interface angeschlossenen digitalen und analogen Ein- und Ausgänge eines Gerätes (I40-Komponente) werden auf absolute I/O-Programmadressen geroutet und über den CICS block channel mittels des CICS-RT-Protokolls an die CICS-RT übertragen. Die Routing-Regeln (Verschaltungsmatrix) werden über eine CICS-R-XML-Datei festgelegt. Die Anzahl der

I/O-Channels ist für die jeweilige CICS-R-Klasse fest vorgegeben und kann nicht dynamisch geändert werden. Werden weitere Channels bzw. andere Channels für einen konkreten Einsatzfall benötigt, muss eine neue CICS-R-Klasse erstellt werden. Vorgesehen ist aber eine Kaskadierung von CICS-Router, d. h. eine CICS-RT kann mit mehreren CICS-R zusammenarbeiten.

#### 5. Nicht funktionale Eigenschaften

Unter den nicht funktionalen Eigenschaften eines CICS-Steuerungssystems werden die für eine klassische SPS wichtigen Eigenschaften Zuverlässigkeit, Datensicherheit und Maschinensicherheit verstanden. Hier ergeben sich neue Herausforderungen, die für den praktischen Einsatz von CICS-Steuerungssystemen untersucht und gelöst werden müssen:

Ein CICS-Steuerungssystem nutzt unabhängig von der Lösungsvariante IP-Netze zur Datenübertragung. Diese Netze sind aus Sicht eines Automatisierungstechnikers a priori weder zuverlässig noch deterministisch und befinden sich auch nicht in der Hoheit der jeweiligen automatisierungstechnischen Lösung. Eine enge Zusammenarbeit mit IT- und Netzwerkspezialisten ist deshalb unumgänglich. Auch bei Anwendung moderner Methoden der Netzstabilisierung (Quality of Services, Bandbreitensicherung etc.) können Verzögerungen bzw. der Ausfall einzelner Datenpakete nicht ausgeschlossen werden. Dies betrifft insbesondere die Nutzung globaler Netze (Internet), da am Netz selbst viele Betreiber beteiligt sind, mit denen für den Einzelfall i. d. R. keine direkten Vereinbarungen abgeschlossen werden können. In die Datenübertragung muss deshalb ein Wahrscheinlichkeitsfaktor einbezogen werden. Dies bedeutet andererseits, dass die zu steuernden technischen Prozesse vor Einsatz einer CICS-Steuerung auf ihre Robustheit hin untersucht werden müssen. Beispielsweise muss gefragt

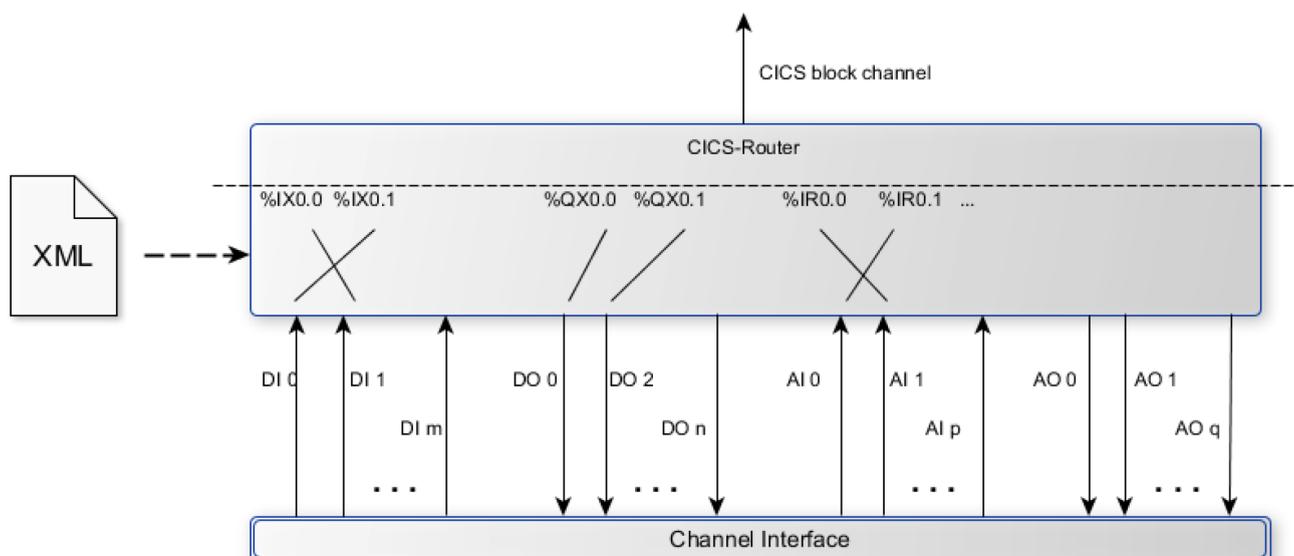


Abb. 8 CICS-Router

werden, ob der Prozess noch qualitätsgerecht gesteuert werden kann, wenn einzelne Steuerzyklen mit einer Wahrscheinlichkeit von X ausfallen oder wenn Prozessdaten erst verzögert (Wieviel Prozent dürfen im Durchschnitt wieviel verzögert sein?) bearbeitet werden können. Derartige Probleme standen bisher nicht im Fokus, müssen aber für zukünftige Cloud-basierte Steuerungen betrachtet werden.

### Probleme hinsichtlich Zuverlässigkeit

- Verbindungsverzögerung und/oder Verbindungsunterbrechung
- Externe Überlastung des Client-Rechners zur Runtime
- Überlasteter Cloud-Server zur Runtime

### Probleme hinsichtlich Datensicherheit

- Störung der Prozessdatenkommunikation
- Einbruch in die Cloud und Modifizierung der Dateien für CICS-RT und CICS-R
- Einbruch in den Client und Störung des CICS-RT-Betriebs
- Einbruch in die Cloud und Störung des CICS-R-Betriebs

### Probleme hinsichtlich Maschinensicherheit

- Verbindungsverzögerung und/oder Verbindungsunterbrechung
- Runtime-Fehler in der CICS-RT und/oder CICS-R
- Verbindungsabbruch

## 6. Anwendernutzen

Ein cloudbasiertes-Steuerungssystem erfüllt nachweislich typische I40-Anforderungen wie Dezentralität und Autonomie, Rekonfigurierbarkeit und Agilität, Interoperabilität zwischen heterogenen Systemen, dynamische Änderungen zur Laufzeit, Dienstparadigma, Orchestrierung heterogener Systeme. Bei Einschränkung der I40-Möglichkeiten und Eingrenzung auf bestimmte Anwendungsgebiete, z. B. nur für mittlere und lange Reaktionszeiten, gewährleistet eine cloudbasierte-Steuerung auch die Sicherung der notwendigen klassischen SPS-Anforderungen.

## 7. Ausblick: Web Protokolle für den prozessnahen Bereich

CICS setzt im Wesentlichen auf den verfügbaren Webtechnologien auf. So wird auf Client Seite ein Browser verwendet, in dem im Client Betrieb die Javascript basierte Runtime und das davon interpretierte Steuerungsprogramm abläuft. Im Server Betrieb ist die gleiche Runtime über node.js lauffähig. Auf diese Weise kann eine Trennung der Steuerungsarchitektur und des zugehörigen Steuerungsprogramms einfach und flexibel realisiert werden. Auch die Kommunikation der verteilten Dienste untereinander und mit Automatisierungsgeräten (CPS) erfolgt mit Hilfe von Webtechnologien. Dazu bieten sich aktuell mehrere Protokolle mit unterschiedlichen Eigenschaften an: http/2, WEBSOCKET und WEB RTC. Aktuell werden im Rahmen des Projekts CICS diese Protokolle entsprechend den Anforderungen (u. a. eventgetrieben, bidirektional) im industriellen Einsatz verglichen und bewertet. Eine wesentliche Rolle spielen dabei Robustheit, Latenz und Sicherheit. Darauf aufbauend wird ein Vorschlag für ein »industrial web based protocoll« (IWBP) und entsprechenden Connectoren für die Integration in Automatisierungsgeräte erarbeitet und prototypisch umgesetzt.

### Autoren

Michael Stiller  
Fraunhofer-Institut für Eingebettete Systeme und Kommunikationstechnik ESK  
Email: michael.stiller@esk.fraunhofer.de

Dr. Mike Heidrich  
Fraunhofer-Institut für Eingebettete Systeme und Kommunikationstechnik ESK  
Email: mike.heidrich@esk.fraunhofer.de

Prof. Dr. Ing. Reinhard Langmann  
Hochschule Düsseldorf  
Competence Center Automation Düsseldorf (CCAD)  
Email: langmann@ccad.eu



Dieser Beitrag ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-ND lizenziert.