

Whitepaper

Cloud-/Fog-Technologien im industriellen Umfeld

Welche Nutzen und Risiken bringen Cloud- und Fog-Technologien mit sich?





Cloud-/Fog-Technologien im industriellen Umfeld

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.

Fachverband Automation

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Verantwortlich: Meik Billmann

Telefon: +49 69 6302-440

E-Mail: meik.billmann@zvei.org

Dezember 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig.

Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzung, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Ein Whitepaper des Arbeitskreises Systemaspekte im Fachverband Automation



Innerhalb des Zentralverbands Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) bearbeitet der Fachverband Automation Themen und Herausforderungen aus der Sicht der Hersteller und Anwender von Automatisierungsgeräten. Das in diesem Zusammenhang mit Abstand am meisten diskutierte Thema ist Industrie 4.0 und die damit verbundenen Potenziale, Architekturen, Standards und Technologien. Der Arbeitskreis Systemaspekte ist sich der großen Bedeutung dieses Themenfelds bewusst und hat sich zum Ziel gesetzt, die spezifischen potenziellen Auswirkungen auf Basistechnologien in unseren Domänen zu untersuchen und zu identifizieren. Dies wird im Rahmen einer Reihe von Whitepaper verfolgt, und das vorliegende Dokument zum Thema Cloud-, Fog- und Edge-Computing-Technologien ist der fünfte Teil dieser Reihe. Industrie 4.0 ist ohne die Verfügbarkeit und den Zugriff auf Daten nicht umsetzbar. Gerade im industriellen Umfeld werden die größten Potenziale den aus Daten entstehenden Analyseerkenntnissen zugeschrieben. Das vorliegende Whitepaper setzt sich deshalb mit der Fragestellung auseinander, welchen Nutzen die Technologien Cloud, Fog und Edge Computing in den Bereichen Datenerfassung und -verarbeitung haben und welche Gesichtspunkte beim Einsatz in der Industrieautomation berücksichtigt werden müssen.

Frankfurt am Main, November 2020

Günter Feldmeier
Vorsitzender Arbeitskreis Systemaspekte

Die Autoren aus dem Arbeitskreis Systemaspekte

- | | |
|------------------------------|--------------------|
| • Thomas Debes | CodeWrights |
| • Günter Feldmeier | TE Connectivity |
| • Johannes Kalhoff | Phoenix Contact |
| • Thomas Schoch | Siemens Energy |
| • Holger Dietz | Janitza |
| • Thomas Pierschke | Schneider Electric |
| • Jens Wickinger | Schneider Electric |
| • Prof. Martin Wollschlaeger | TU Dresden |
| • Meik Billmann | ZVEI |

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Begriffserläuterung	5
2.1	Cloud Computing	6
2.2	Edge Computing	6
2.3	Fog Computing	6
2.4	Dew Computing	6
2.5	Einordnung der verschiedenen Konzepte	7
3	Erwarteter Anwendernutzen durch Cloud- und Fog-Technologien	10
3.1	Allgemein	10
3.1.1	Additiver Ansatz: Einsatz in bestehenden Anlagen mit Erweiterung der vorhandenen Infrastruktur	11
3.1.2	Migrationsansatz: Einsatz in bestehenden Anlagen durch Austausch von Anlagenteilen oder der gesamten Anlage	11
3.1.3	Integrierter Ansatz: Einsatz in neu geplanten Anlagen	11
3.2	Use Cases	12
3.2.1	Cloudbasierte Datenanalyse	12
3.2.2	Cloud-Anbindung von Feldgeräten (z. B. Sensor)	12
3.2.3	Cloudbasierte Auftragssteuerung	13
3.2.4	Einsatz von Cloud-Technologien in der Leittechnik	14
3.3	Ableitung der Anforderungen	15
4	Technologieübersicht	16
4.1	Cloud-Technologien	16
4.2	Physische Konnektivität	18
5	Chancen und Risiken	18
5.1	Ressourcenaspekte	18
5.2	Zeitaspekte	19
5.3	Plug & Work-Aspekte	19
5.4	Lifecycle- und Maintenance-Aspekte	19
5.5	Security-Aspekte	19
5.6	Erstellungs- und Nutzungsaspekte	19
5.7	Systemaspekte	19
6	Handlungsempfehlung für den Einsatz von Cloud-/Fog-Technologien	20
7	Zukunftsaussichten	22
8	Fazit	22

1 Einleitung

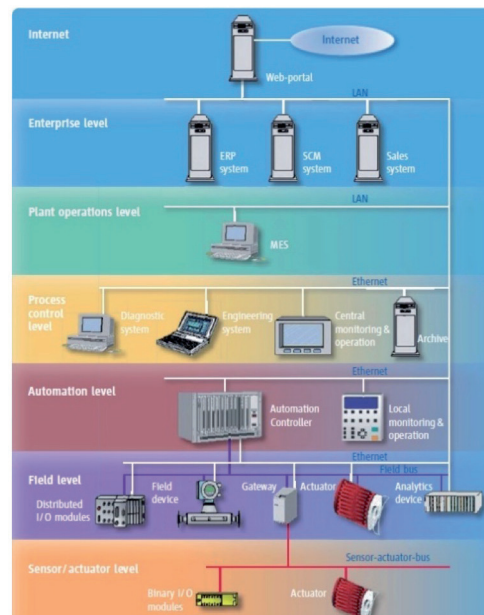
Digitalisierung als allgemeiner Megatrend ist mittlerweile in fast jedem Bereich der Gesellschaft angekommen. Die Verfügbarkeit neuer Technologien und die schnelle Verbreitung befeuern weltweit eine Entwicklung, die auch auf nationaler Ebene in verschiedenen Standardisierungsinitiativen vorangetrieben wird. „Industrie 4.0“ als maßgeblich durch Deutschland getriebenes Projekt findet mittlerweile auch im europäischen Ausland und sogar in China entsprechende Akzeptanz. Im Sprachgebrauch hat sich zusätzlich der Begriff Industrial Internet of Things (engl. IIoT) eingebürgert, der weniger eine konkrete Vorgehensweise beschreibt, sondern vielmehr das ausdrückt, was viele Applikationen gemeinsam haben – die einfache Vernetzung Tausender Geräte und Komponenten über das Internet im industriellen Umfeld. Dahinter stehen verschiedenste Technologien, die vor allem die Bereiche Kommunikation, Datenanalyse und Nutzerinteraktion abdecken. Mit der hohen Verbreitung mobiler Endgeräte haben sich neue Chancen und Herausforderungen ergeben (siehe [1]). Drahtlose Kommunikation in Verbindung mit standortbezogenen Diensten fungiert als Enabler für zahlreiche neue Geschäftsmodelle. Im Alltag verwendete und zur Gewohnheit gewordene Technologien werden im industriellen Umfeld adaptiert, da die verwendeten Plattformen in der Lage sind, die technologische Basis für unterschiedlichste Geschäftsprozesse bereitzustellen.

Ein weiterer Aspekt ergibt sich aus dem Zugriff und der Verfügbarkeit von Daten (siehe auch [2]), die von vielen Beteiligten als Voraussetzung für die Entwicklung neuer Applikationen gesehen werden. Gerade im industriellen Umfeld wird der größte Wert den aus den Daten zu gewinnenden Analysekenntnissen zugeschrieben, die für die Optimierung von Produktionsprozessen genutzt werden können (Einsparung von Ressourcen, Steigerung des Durchsatzes, Flexibilisierung von Produkten, bedarfsgesteuerte Wartung mit Erhöhung der Verfügbarkeit). Das vorliegende Whitepaper setzt sich deshalb mit der Fragestellung auseinander, welchen Nutzen die Technologien Cloud, Edge und Fog in den Bereichen Datenerfassung und -verarbeitung haben und welche Gesichtspunkte beim Einsatz in der Industrieautomation berücksichtigt werden müssen. Der Schwerpunkt liegt dabei vor allem auf der Differenzierung hinsichtlich des Ortes, an dem die Verarbeitung und Auswertung von Daten stattfindet. Dadurch ergeben sich neue Geschäftsmodelle zum Beispiel in den Bereichen Service und Remote-Monitoring. Grundlage für die Betrachtung ist die Kategorisierung und Beschreibung gängiger Begriffe in diesem Umfeld.

2 Begriffserläuterung

Die prinzipielle Vorgehensweise zur Erfassung von Sensor- und Aktordaten und deren Weiterverarbeitung zur Generierung von Steuersignalen innerhalb einer Automatisierungsanlage hat sich in den letzten Jahrzehnten nicht grundlegend verändert. Dennoch hat die technologische Weiterentwicklung einen maßgeblichen Einfluss auf verschiedene Aspekte dieser Vorgehensweise. Dazu gehören zum Beispiel höhere Übertragungsgeschwindigkeiten bei den verwendeten Kommunikationsmitteln, flexiblere Möglichkeiten zum Aufbau dezentraler Infrastrukturen durch Netzwerkkomponenten, höhere Rechenleistungen durch leistungsfähigere CPUs und Speicher sowie flexiblere Nutzungskonzepte durch Virtualisierung einzelner Systeme oder ganzer Infrastrukturen. Verändert hat sich durch diese Möglichkeiten auch das Produkt- und Dienstleistungsangebot. Aufgrund einer heute möglichen durchgängigen und ortsungebundenen Kommunikation haben sich neue Varianten speziell im Bereich der Datenerfassung und -verarbeitung entwickelt, die in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden.

Bild 1: Automatisierungspyramide



Quelle: Prof. Martin Wollschlaeger, TU Dresden

2.1 Cloud Computing

Mit dem Begriff „Cloud“ wurde lange Zeit ein ausgelagerter Datenspeicher bezeichnet, von dem man zunächst nicht wusste, wo er sich physikalisch befindet. Mit der Verfügbarkeit breitbandiger Kommunikationsanbindungen hat sich die Attraktivität für Datenspeicher außerhalb der eigenen Unternehmens-IT erhöht. In Verbindung mit zusätzlichen Services, wie beispielsweise Back-up- und Redundanz-Systemen sowie der Maintenance dieser Systeme, konnten die Betriebskosten für das Bereitstellen lokaler Infrastruktur gesenkt werden. Durch leistungsfähige Hardware und die Unterstützung für Virtualisierung konnten neue Konzepte zur Nutzung der bereitgestellten Ressourcen umgesetzt werden. Die darauf basierenden Plattformen haben sich dahingehend weiterentwickelt, dass neben dem Speichern von Daten auch zusätzliche Services zu Analyse und Auswertung bereitgestellt werden. Diese werden auch unter dem Begriff „Cloud Computing“ zusammengefasst. Die Spannweite der Daten reicht dabei von einfachen Sensordaten bis hin zu kaufmännischen oder prozessbezogenen Informationen. Die Intelligenz der Datenauswertung liegt in den zur Anwendung kommenden Algorithmen, die diese Daten aggregieren und korrelieren. Der Zugriff auf die Daten der Cloud wird je nach Anwendungsfall über entsprechende Zugangsberechtigungen geregelt.

2.2 Edge Computing

In der Prozessindustrie besteht die Notwendigkeit, auch größere Datenmengen, die in kurzen Zeitabständen erfasst und verarbeitet werden, sicher zu speichern. Für diesen Anwendungsfall werden die Dienste, die sonst in der Cloud angeboten werden, auf einem prozessnahen System zur Ausführung gebracht. Das Ausführen dieser Dienste wird deshalb „Edge Computing“ genannt. Entscheidungskriterien für dieses Einsatzszenario sind die Echtzeitfähigkeit und das hohe Datenaufkommen, das in lokalen Umgebungen generiert wird. Zur Optimierung der verfügbaren Bandbreite können Daten verdichtet oder vorverarbeitet werden. Üblicherweise erfolgt diese Daten-Vorverarbeitung in einer Automatisierungseinheit (z. B. SPS), in einem Leitsystem oder auf einem Sensor direkt. Geräte mit einer derartigen Funktionalität werden dann auch Edge Devices genannt.

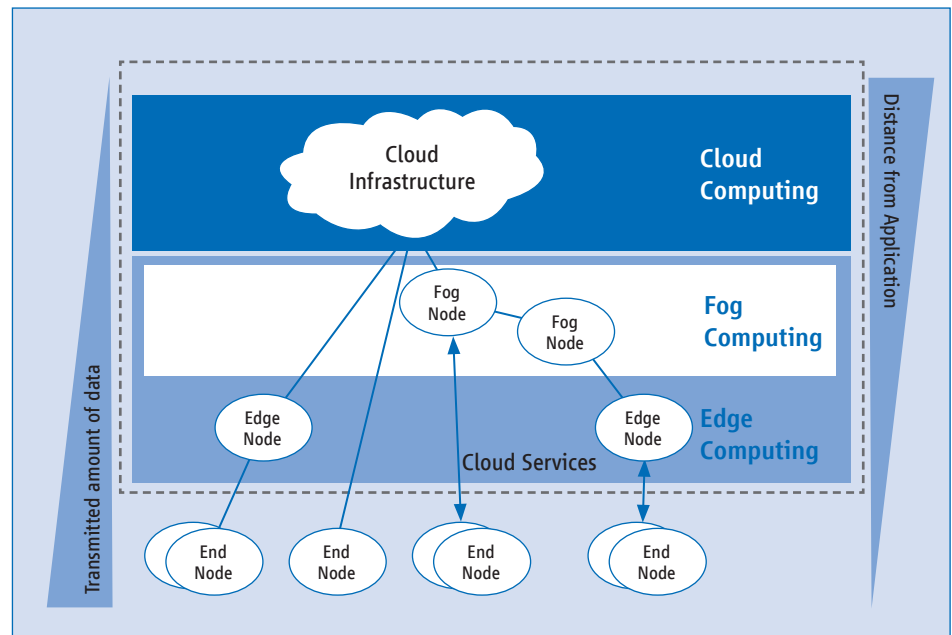
2.3 Fog Computing

Fog Computing vereint ausgewählte Merkmale von Edge und Cloud Computing. Eine mittlere Architektur zwischen Edge und Cloud ist die sogenannte Fog-Ebene. Hierbei ist die Prozessnähe noch gegeben, aber die Komponenten können in virtuellen Systemen arbeiten. Insbesondere mit Hinblick auf die Dezentralisierung von Automations- und Feldgeräten wird Fog in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

2.4 Dew Computing

Unter dem Begriff Dew Computing wird neuerdings die unscharfe Grenze zwischen Fog und Edge bezeichnet. In der Analogie zum Wasserdampf ist damit die Umgebung gemeint, wo der Nebel sich als Tau niederschlägt. Sie ist durch temporär verfügbare Komponenten gekennzeichnet, die dynamisch miteinander interagieren. Dabei kommt auch hier der Virtualisierungsgedanke zum Einsatz. Es bleibt abzuwarten, ob sich dieser Begriff durchsetzen wird. Falls ja, wird diese Ebene für die flexible Automation sicher nicht uninteressant sein.

Bild 2: Beziehungen zwischen Cloud, Edge und Fog Computing



Quelle: nach Prof. Jürgen Jasperneite, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe

2.5 Einordnung der verschiedenen Konzepte

Für eine Übersicht und die Bewertung der einzelnen Technologien bzw. Technologiekombinationen (= Implementierungsvariante) werden Merkmale benutzt, die mit qualitativen bzw. quantitativen Ausprägungen in einer Bewertungstabelle zusammengestellt sind. Die Bewertung der Technologiekombinationen erfolgt auf Basis eines Kriterienkatalogs, der unter anderem die folgenden Aspekte umfasst:

- Ressourcenaspekte
- Zeitaspekte
- Plug & Work-Aspekte
- Maintenance-Aspekte
- Security-Aspekte
- Erstellungs- und Nutzungsaspekte
- Systemaspekte
- Skalierbarkeitsaspekte

Die nachfolgende Tabelle 1 beinhaltet für die genannten Aspekte die detaillierten Merkmale mit Definitionen und Fragestellungen. Die Bewertung setzt dabei voraus, dass der technologische Einstiegsaufwand bereits erbracht ist.

Tabelle 1: Merkmale zur Bewertung von Fog- und Cloud-Technologien

Merkmal	Erläuterung	Bewertung	Grad der Eignung
Ressourcenaspekte			
Rechenleistung	Welche Anforderungen stellt die Implementierung an die Ausführungsgeschwindigkeit und die Befehlsarchitektur des Prozessors?	qualitativ	Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Datenpersistenz	In welcher Form und über welchen Zeitraum müssen Daten über längere Zeit bereitgehalten werden?	qualitativ	Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Zeitaspekte			
Deterministik	Erfordert die Implementierung ein berechenbares und/oder nachweisbares Zeitverhalten, bezogen auf die Anforderungen des Umfelds (Prozess oder Mensch)? Können diese Anforderungen überhaupt erfüllt werden und wenn ja wie? Sind zusätzliche Maßnahmen für die Einhaltung erforderlich?	qualitativ	Edge: +++ Fog: ++ Cloud: +

Merkmal	Erläuterung	Bewertung	Grad der Eignung
Reaktionszeit	Welche Zeit ist maximal erforderlich, um einen Zustandswechsel herbeizuführen (z. B. die Zeit, die vom Drücken einer Taste in einem Visualisierungssystem bis zum Wirksamwerden im Prozess vergeht)? Wie erfüllt die Implementierung die Bedingungen hinsichtlich der durch das Szenario geforderten Reaktionszeit(en)?	qualitativ	Edge: +++ Fog: ++ Cloud: +
Aktualisierungszyklen	Welches Zeitintervall ist erforderlich, in dem von einer Variablen die aktuellen Werte oder Zustände übernommen werden müssen (z. B. fürs Automatisieren, Visualisieren, Archivieren)? Wie erfüllt die Implementierung die Bedingungen hinsichtlich eventuell geforderter Aktualisierungszyklen, die durch das Szenario gefordert werden? Sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich, um diese zu erreichen?	qualitativ	Edge: +++ Fog: ++ Cloud: +
Priorität(en)	Welche Vorrangigkeit von Bearbeitungsprozessen sowohl hinsichtlich Zeit als auch Bedeutung (Wichtigkeit) muss durch die Implementierung sichergestellt werden? Wie erfüllt die Implementierung die durch das Szenario geforderten Bedingungen hinsichtlich eventueller Priorisierungsanforderungen/-strategien?	qualitativ	Edge: +++ Fog: ++ Cloud: +
Plug & Work-Aspekte			
Einbringen neuer Komponenten, z. B. Software, Hardware oder Applikationen	Ist es möglich, die im Szenario beschriebene Konstellation zu erweitern? Mit welchen Mitteln kann sie erweitert werden? Kann die Erweiterung zur Laufzeit erfolgen? Erfolgen gegebenenfalls erforderliche Verknüpfungen der zusätzlichen Komponente mit den existierenden Komponenten automatisch? Welcher Aufwand ist für Erweiterung notwendig? Sind Spezialisten für die Erweiterung erforderlich? Entsteht ein hoher Vorbereitungsaufwand?	qualitativ (evtl. Einzelmerkmale)	Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Unterstützung bei Gerätetausch	Wie ist die Vorgehensweise, wenn eine Komponente der im Szenario beschriebenen Konstellation auszutauschen ist? Welche Mittel sind für den Austausch erforderlich? Kann der Tausch zur Laufzeit durchgeführt werden? Erfolgt die Verknüpfung der getauschten Komponente mit den existierenden Komponenten automatisch? Welcher Aufwand ist für den Tausch erforderlich? Sind Spezialisten für den Tausch erforderlich? Entsteht ein hoher Vorbereitungsaufwand?	qualitativ (evtl. Einzelmerkmale)	Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Verhalten bei Verbindungsabbruch	Wie reagieren die Technologien bei einem Verbindungsabbruch hinsichtlich: • Eigenständiger Re-Connect • Redundanz • Sicherer Zustand • Anzeige des Abbruchs • Störender Einfluss auf den Client • Störender Einfluss auf den Server	qualitativ (evtl. Einzelmerkmale)	Edge: +++ Fog: ++ Cloud: +
Wiederanlaufverhalten	Sind die implementierten Technologien im vorliegenden Szenario rückwirkungsfrei auf die bestehende Automatisierungstechnik? Verhalten sich die implementierten Technologien im vorliegenden Szenario analog zur Automatisierungstechnik?	qualitativ (evtl. Einzelmerkmale)	Edge: +++ Fog: ++ Cloud: +
Kooperationsfähigkeit	Wie kooperieren/kommunizieren unterschiedliche Komponenten miteinander?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Neue Geschäftsmodelle	Wie einfach können neue Geschäftsmodelle aufgrund der eingesetzten Technologie entstehen?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Lifecycle-/Maintenance-Aspekte			
Diagnose und Selbstüberwachung	Können sich die in diesem Szenario verwendeten Technologien selbst überwachen, d. h. erhält der Anwender im Störfall Informationen, aus denen ein „sinnvolles“ Handeln abgeleitet werden kann?	Ja/nein Einschränkungen	Edge: +++ Fog: ++ Cloud: +

Merkmal	Erläuterung	Bewertung	Grad der Eignung
Dokumentation, Unterstützung zur Navigation bei Fehlersuche etc.	Erlauben die in diesem Szenario eingesetzten Technologien den (einfachen) Zugriff auf und das einfache Nutzen von Dokumentation hinsichtlich installierter Gerätschaften, Wartungshandbuch, Hotline, Serien-/Bestellnummern?	Ja/nein Einschränkungen	Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Update, Upgrade-Handling	Können die eingesetzten (Software-)Komponenten in diesem Szenario im laufenden Betrieb aktualisiert werden?	Ja/nein Einschränkungen	Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Investitionsschutz	Ist der Schutz der Investition gewährleistet (Modernisierungsaspekte, Total Cost of Ownership)?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Security-Aspekte			
Authentifizierung	Bieten diese Technologien Mittel an, einen Nutzer eindeutig zu erkennen?	ja/nein Einschränkungen	Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Autorisierung	Bieten diese Technologien Mittel an, um funktionale Einschränkungen/Rechte zuweisen/verwalten zu können?	ja/nein Einschränkungen	Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Vertraulichkeit (Verschlüsselung etc.)	Bieten diese Technologien Mittel an, Informationen vor unberechtigtem Einsehen zu verbergen?	ja/nein Einschränkungen	Edge: +++ Fog: +++ Cloud: +++
Integrität	Bieten diese Technologien Mittel an, die vor unzulässigen Manipulationen und Beeinträchtigungen bzw. Verlust von Daten schützen?	ja/nein Einschränkungen	Edge: +++ Fog: ++ Cloud: +
Verfügbarkeit	Bieten diese Technologien Mittel an, die ständige Verfügbarkeit von Daten auch bei laufenden Security-Maßnahmen (Verschlüsselungsverfahren, Virens Scanner etc.) sicherzustellen?	ja/nein Einschränkungen	Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Logging	Bieten diese Technologien Mittel an, Eingriffe und Zugriffe zu dokumentieren?	ja/nein Einschränkungen	Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Erstellungs- und Nutzungsaspekte			
Entwicklung	Welche spezifischen Leistungen erfordern die in dieser Implementierung eingesetzten Technologien? Sind spezifische Kenntnisse über die in der Implementierung eingesetzten Technologien erforderlich?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Engineering (Systemintegration, -konfiguration und -pflege)	Welche spezifischen Leistungen erfordern die in dieser Implementierung eingesetzten Technologien? Sind spezifische Kenntnisse über die in der Implementierung eingesetzten Technologien erforderlich?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Servicepersonal	Welche spezifischen Leistungen erfordern die in dieser Implementierung eingesetzten Technologien? Sind spezifische Kenntnisse über die in der Implementierung eingesetzten Technologien erforderlich?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Managementaufwand	Wie schwierig ist es, Komponenten zu verwalten?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Konfigurierbarkeit/Anpassbarkeit	Wie einfach lassen sich die Komponenten konfigurieren/parametrieren?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Systemaspekte			
Betriebssystemunterstützung	Erfordern die eingesetzten Technologien eine Betriebssystemunterstützung? Setzt die Technologie ein bestimmtes Betriebssystem voraus? Welche spezifischen Betriebssystemeigenschaften sind erforderlich?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Kommunikationsprotokolle	Erfordert/ermöglicht die Implementierung spezielle (unterlagerte) Netzwerkprotokolle?		Edge: +++ Fog: ++ Cloud: +

Merkmal	Erläuterung	Bewertung	Grad der Eignung
Laufzeitumgebung (Runtime Environment)	Welche Laufzeitumgebung und/oder Plug-ins benötigt die eingesetzte Implementierung?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Entwicklungsumgebung	Wie hoch sind die Aufwendungen für spezifische Werkzeuge zur Implementierung?		Edge: + Fog: + Cloud: +++
Aktualisierung	Wie und in welcher Art erfolgt die Aktualisierung bei der Implementierung?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Systemgrenzen (Constraints)	Welche Systemgrenzen (z. B. Adressraum, Zähler, Bezeichnerlängen) beeinflussen die Implementierung?		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++
Ownership	Geräte sind für den Betreiber/Anwender lokal zugreifbar und gehören diesem (Assetmanagement)		Edge: +++ Fog: ++ Cloud: +
Skalierbarkeit	Erweiterung von Komponenten (z. B. CPU, Speicher, HDD)		Edge: + Fog: ++ Cloud: +++

Selbstverständlich können für die Beurteilung eines konkreten Anwendungsfalls weitere Kriterien relevant sein, die analog zu der Merkmalstabelle festgelegt werden und diese damit erweitern.

3 Erwarteter Anwendernutzen durch Cloud- und Fog-Technologien

3.1 Allgemein

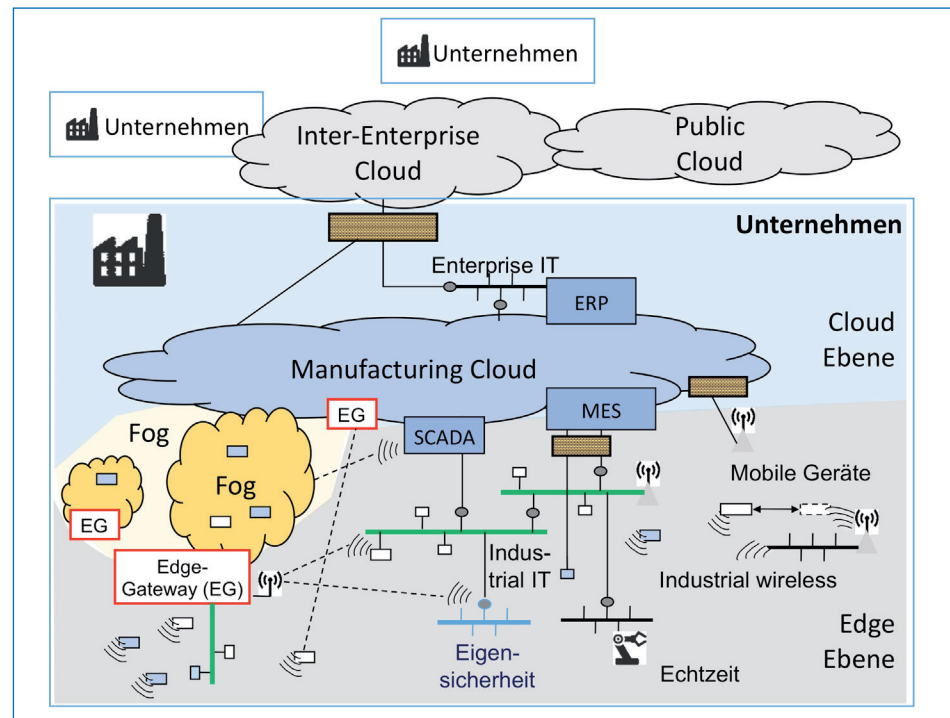
Szenarien und Use Cases können helfen, um Potenziale für alle Beteiligten der Wertschöpfungskette herauszuarbeiten. Im Kontext Industrie 4.0 wurden einige typische Szenarien definiert [5]. Dies sind:

- Auftragsgesteuerte Produktion (AGP)
- Wandlungsfähige Fabrik (WFF)
- Selbstorganisierende adaptive Logistik (SAL)
- Value Based Services (VBS)
- Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte (TWP)
- Anwenderunterstützung in der Produktion (AUP)
- Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion (SP2)
- Innovative Produktentwicklung (IPE)
- Kreislaufwirtschaft (KRW)

Die hier vorgestellten Technologien tragen grundsätzlich zu allen I4.0-Szenarien bei. So sind die Vernetzungsmöglichkeiten etwa bei „Selbstorganisierende adaptive Logistik“ und „Wandlungsfähige Fabrik“ interessant, die Verlagerung von Funktionen in Cloud und Fog bei „Auftragsgesteuerte Produktion“, „Wandlungsfähige Fabrik“ und „Kreislaufwirtschaft“, während die Nutzung der Cloud als Datenspeicher- und Auswertepattform insbesondere für „Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte“, „Auftragsgesteuerte Produktion“, „Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion“ und „Innovative Produktentwicklung“ bedeutsam ist. Geradezu prädestiniert sind Cloud- und Fog-Architekturen aber bei „Value Based Services“, ergibt sich doch hier das klassische Bild der Datengewinnung in der Produktion (Edge, Fog), der Vorverarbeitung und Verdichtung (Edge, Fog, Manufacturing Cloud) und der Bereitstellung von Funktionen zur Produktpflege (über die Public Cloud) und Anbieten von verschiedenen Dienstleistungen zur Integration und Optimierung eines Produkts im Anwendungskontext (Cloud). Dabei können auch neue Wertschöpfungsketten entstehen, die über Cloud-Dienste leichter vernetzbar sind (Inter-Enterprise Cloud).

Während Bild 2 die Beziehungen zwischen Cloud, Edge und Fog Computing strukturell darstellt, sind in Bild 3 Kommunikationswege in industriellen Anwendungen unter Berücksichtigung von Edge-, Fog- und Cloud-Architekturen ersichtlich.

Bild 3: Kommunikation in industriellen Anwendungen



Quelle: Prof. Martin Wollschläger, TU Dresden

Die beschriebenen Szenarien sind für die konkrete Bewertung jedoch meist zu grob. Daher müssen diese verfeinert und auf konkrete Use Cases heruntergebrochen werden. Nachfolgend sind exemplarische Use Cases aufgeführt, die jedoch nicht den Anspruch der Vollständigkeit erheben. Sie sollen den Leser vielmehr anregen, für seine spezifischen Anwendungen ein vergleichbares Vorgehen anzuwenden.

Das Nutzen der verschiedenen Technologien wird anhand von drei verschiedenen Szenarien, die als typische Ausgangssituationen in der Praxis vorhanden sind, betrachtet:

3.1.1 Additiver Ansatz: Einsatz in bestehenden Anlagen mit Erweiterung der vorhandenen Infrastruktur

Installierte Anlagen sind heute oft noch nach der klassischen Automationspyramide aufgebaut. Diese Anlagen lassen sich mithilfe von Cloud-, Fog- und Edge-Technologien erweitern, mit denen sich eine Vielzahl von Datenauswertungen vornehmen lassen, die zum Beispiel für vorbeugende Wartung genutzt werden können. Häufig haben Komponenten dieser Anlagen schon Ethernet-Schnittstellen oder sie können mittels Gateways verbunden werden. Für entsprechende Erweiterungen sollten Kosten-Nutzen-Analysen durchgeführt werden, da unter Umständen eine Erneuerung von Anlagenteilen kostengünstiger sein kann.

3.1.2 Migrationsansatz: Einsatz in bestehenden Anlagen durch Austausch von Anlagenteilen oder der gesamten Anlage

Müssen Anlagen oder Teile davon erneuert werden, ist es sinnvoll, diese mit Cloud-, Fog- und Edge-Technologien zu ergänzen oder gegebenenfalls zu ersetzen. Diese Technologien bieten eine Vielzahl von neuen Möglichkeiten zur Datenerfassung, Analyse und letztlich auch zur Kostenoptimierung: zum Beispiel durch den Einsatz von intelligenten Sensoren, die ihre Daten direkt an eine Auswerteeinheit übertragen.

3.1.3 Integrierter Ansatz: Einsatz in neu geplanten Anlagen

Bei neuen Anlagen sollten auf jeden Fall Cloud-, Fog- und Edge-Technologien zum Einsatz kommen, um Industrie 4.0-Applikationen zu realisieren. Viele Technologiekomponenten lassen sich durch ihre Ethernet-Schnittstellen in entsprechende Architekturen einbinden. Ebenfalls werden eine Vielzahl von Analyse-Algorithmen in den neuen Technologien angeboten, die erhebliches Optimierungspotenzial bieten und nicht separat entwickelt werden müssen.

Nachfolgend werden in verschiedenen Use Cases Beispiele zu den aufgeführten Szenarien geschildert.

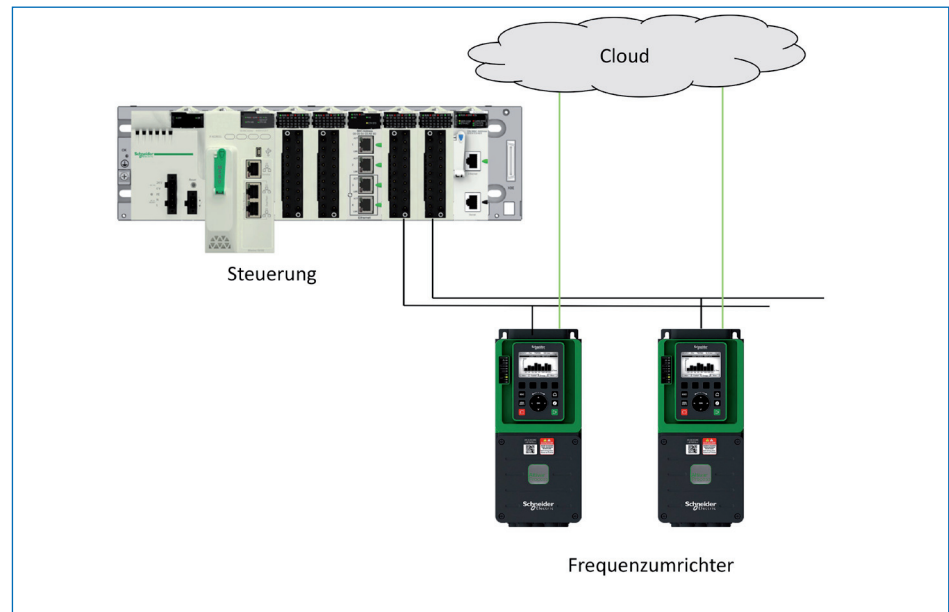
3.2 Use Cases

3.2.1 Cloudbasierte Datenanalyse

Motivation: Nutzung neuer Möglichkeiten und Ressourcen zur Bearbeitung von Daten

In diesem Use Case wird dem Szenario für den additiven Ansatz gemäß ein Peripheriegerät im Verbund mit einer Steuerung (SPS) betrachtet und durch Anbindung an ein Cloud-System erweitert. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten und Ressourcen zur Analyse und Bearbeitung von Daten.

Bild 4: Cloudbasierte Datenanalyse



Quelle: Schneider Electric Automatisierungsplattform Modicon M580

Das Peripheriegerät ist zum Beispiel ein Frequenzumrichter, der einen Motor steuert. Dazu erhält er von der SPS Sollvorgaben und meldet die Istzustände zurück. Diese Verbindung kann über klassische Verdrahtung, Feldbusse oder über Ethernet erfolgen, wobei wenige Daten deterministisch ausgetauscht werden. Die SPS ist ihrerseits mit einem SCADA-System verbunden, in dem die Zustände des Frequenzumrichters dargestellt und Historiendaten abgelegt werden. Diesen Aufbau der klassischen Automationspyramide findet man heute größtenteils in den Anlagen wieder. Die SPS und das SCADA-System sind derzeit meist der „Edge“-Ebene zugeordnet. Teilweise können Daten des Frequenzumrichters sowohl in der SPS als auch im SCADA-System aggregiert werden. Datensicherheit und Datenintegrität sind relativ hoch, da es sich um ein geschlossenes System handelt. Datenanalysen lassen sich in diesen Systemen aber nur mit Aufwand realisieren, da es sich meist um proprietäre Systeme handelt. SPS und SCADA-System können jeweils mit der Cloud verbunden sein, um dort Daten zu speichern. Bei Kommunikationsausfall zwischen den Geräten/Systemen und der Cloud werden die Daten vorgehalten und bei erneuter Verbindung wieder in die Cloud übermittelt. Moderne Frequenzumrichter sind schon mit Ethernet-Schnittstellen versehen, sodass diese ebenfalls mit der Cloud verbunden werden können. Damit lassen sich durch diese Datenausleitung für den Prozess nicht relevante Daten wie Energiemesswerte oder Daten zur vorbeugenden Wartung (Predictive Maintenance) in die Cloud leiten, wo Algorithmen diese Daten auswerten und sie wiederum dem Bediener des Prozesses oder dem Wartungspersonal zur Verfügung stellen. Diese Daten können umfangreich sein, wobei keine harten Echtzeitanforderungen gegeben sind. Durch die Verbindung mit Cloud-Systemen sind geeignete Maßnahmen zur Datensicherheit und Datenintegrität zu treffen.

3.2.2 Cloud-Anbindung von Feldgeräten (z. B. Sensor)

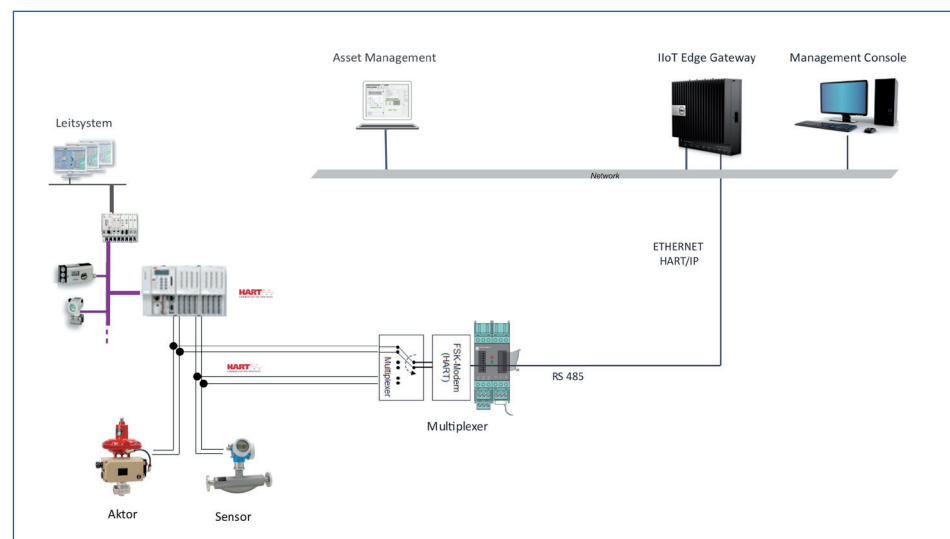
Motivation: Daten für eine Weiterverarbeitung bereitstellen / zugänglich machen

Ein typischer Anwendungsfall, in dem die derzeitige Entwicklung und die Verwendung von Cloud-/Fog-Technologien gut erkennbar ist, findet sich in der Prozessindustrie. Viele Anlagen sind seit Jahrzehnten in Betrieb und werden nur zu geplanten Wartungszeiträumen heruntergefahren. Das betrifft unter anderem die Chemieindustrie, bei der Produktionsprozesse im Gegensatz zur diskreten Ferti-

gungsindustrie oft nicht unterbrochen bzw. einfach heruntergefahren werden können. Es handelt sich dabei meist um sicherheitskritische Produktionsverfahren, die intensiv mit Sensorik (sogenannten Feldgeräten) überwacht werden. Die dabei verwendeten Technologien stammen zum Teil noch aus dem letzten Jahrhundert und sind häufig durch analoge Messwerterfassung in Kombination mit einem digitalen Feldbus geprägt. Das System zur Prozesssteuerung und die dafür notwendige Kommunikationsinfrastruktur orientieren sich an der bis heute weit verbreiteten Automatisierungspyramide und folgen damit einem eher zentralistisch geprägten Ansatz zur Prozesssteuerung in Verbindung mit einer vorwiegend dezentralen Datenerfassung und entsprechender Vorverarbeitung (Bild 5). In Verbindung mit speziellen Netzwerkinfrastrukturkomponenten wie zum Beispiel Gateways werden Daten über unterschiedliche Feldbusse und Protokolle hinweg übertragen und Verdrahtungsaufwände durch den Einsatz von Multiplexern reduziert. Diese Art der Datenübertragung hat zur Folge, dass Kompromisse beim Datenumfang und in der Abfragefrequenz gemacht werden müssen. Bei Protokollumsetzern lassen sich oft nicht alle Informationen transparent übertragen, bei Multiplexern teilen sich die daran angeschlossenen Sensoren die Bandbreite.

Dennoch bieten derartige Anlagen oft ein großes Potenzial zur Prozessoptimierung, da seit der Inbetriebnahme sich nicht nur die Verfahrenstechnik selbst, sondern auch die technologische Basis als solche weiterentwickelt hat. Grundvoraussetzung für die Umsetzung der Potenziale ist jedoch in vielen Fällen eine möglichst vollständige und transparente Sicht auf die zahlreichen verbauten Sensoren und Aktoren. Dafür müssen die strukturell vorhandenen Barrieren überwunden werden. Die dafür notwendigen Lösungen müssen jedoch für den Anlagenbetreiber weiterhin die Anforderungen an ein entsprechendes Kosten-Nutzen-Verhältnis erfüllen.

Bild 5: Typische Systemstruktur in der Prozessindustrie



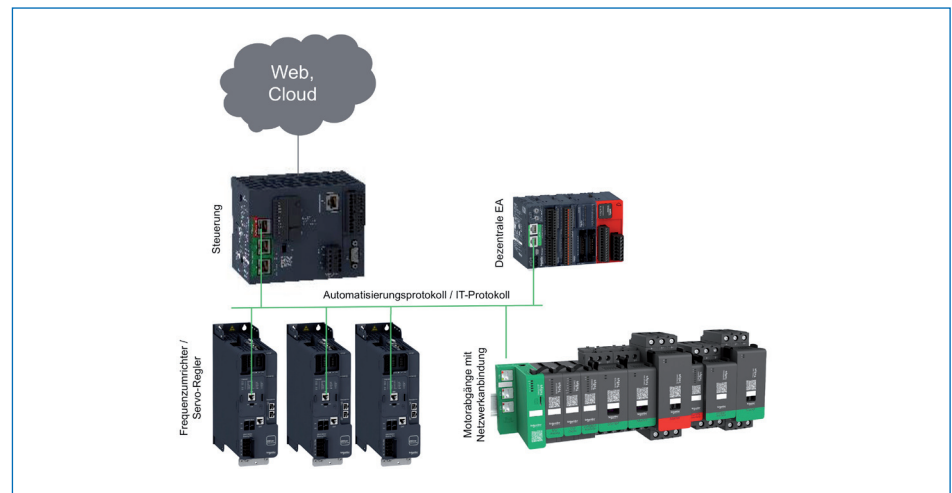
Quelle: CodeWrights

Ein heute oft gewählter Lösungsansatz ist die Installation sogenannter Edge-Gateways, die je nach Anlagengröße die Sensor- und Aktordaten vollständig oder teilweise für ausgewählte Anlagenteile erfassen. Vorteil dieses Ansatzes ist die Umgehung der strukturellen Barrieren, die sich aus Kommunikationsinfrastruktur und Systemdesign der Anlagensteuerung ergeben. Die Daten können entweder direkt oder vorverarbeitet in die gewählte Cloud-Plattform übertragen werden, wo sie gespeichert und für eine Weiterverarbeitung zur Verfügung stehen.

3.2.3 Cloudbasierte Auftragssteuerung Motivation: Flexibilitätssteigerung in der Produktion

Dieser Use Case zeigt die Möglichkeiten für eine verteilte Fertigung und die Fertigung kleiner Losgrößen auf, wie sie im Rahmen von Industrie 4.0 und Digitalisierung immer wieder diskutiert werden. Kernstück eines solchen Ansatzes ist eine Fertigungsmaschine, die durch einen neuen IIoT-fähigen Controller gesteuert wird. Dieser bietet neben den klassischen Steuerungsmethoden umfangreiche Möglichkeiten zur Kommunikation mit Cloud- oder Webdiensten.

Bild 6: Cloudbasierte Auftragssteuerung



Quelle: Schneider Electric – Catalog Modicon M262 Logic and Motion Controller

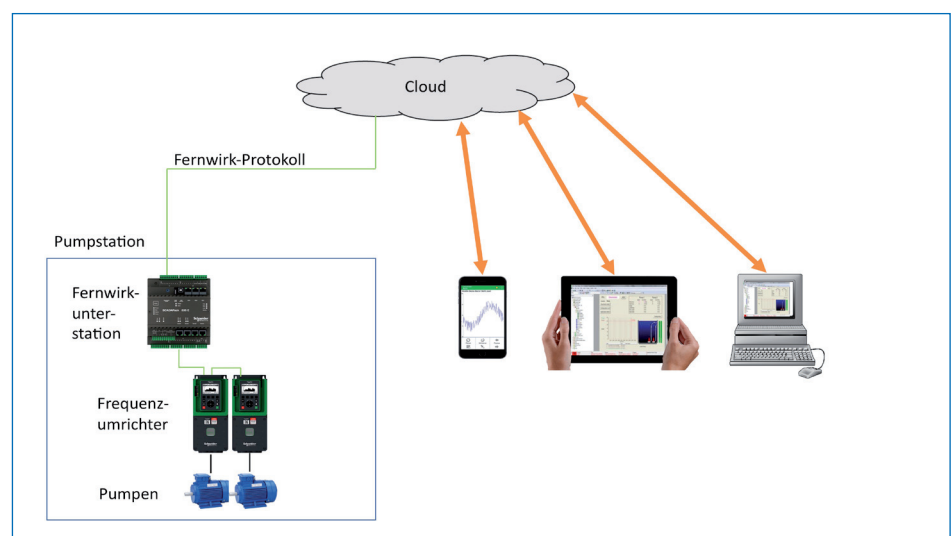
So kann die Steuerung direkt aus der Cloud oder dem Web (z. B. aus einem Webshop) über neue Fertigungsaufträge per E-Mail oder MQTT informiert werden. Die Steuerung holt dann per Webdienst die notwendigen Fertigungsdaten zur individuellen Fertigung des einzelnen Loses ab und steuert damit ganz klassisch den Fertigungsprozess. Möglichkeiten zur Datenübertragung bieten hier etwa JSON- oder XML-Formate. Während und nach Abschluss der Fertigung können die notwendigen Qualitäts- und Leistungsdaten wiederum direkt an die Cloud übergeben werden. Nachfolgeprozesse oder Besteller können im Anschluss über die Fertigstellung informiert werden. Eine solche Steuerung arbeitet kommunikationstechnisch zweigeteilt und steuert nach innen die notwendigen Werkzeuge zur Fertigung und betreibt gleichzeitig nach außen einen intensiven Datenaustausch zur Auftragsabwicklung. Vorteile ergeben sich dabei sowohl beim Besteller als auch beim Maschinenbetreiber. Der Besteller erhält eine durchgehende Transparenz über die Fertigung seiner Bestellung, während der Maschinenbetreiber durch die Cloudanbindung die Leistung seiner Maschine überwachen, auswerten und optimieren kann. Durch die direkte Auftragssteuerung über die Webanbindung kann zudem auf eine schwergewichtige Software zur Fertigungssteuerung verzichten werden.

3.2.4 Einsatz von Cloud-Technologien in der Leittechnik

Motivation: Kostenoptimierung durch Einsatz von Cloud-Technologien

Dieser Use Case befasst sich dem Migrationsszenario gemäß mit der Substitution eines SCADA-Systems in einem Wasserwerk mithilfe von Cloud-Technologien und dem damit verbundenen Optimierungspotenzial.

Bild 7: Einsatz von Cloud-Technologien in der Leittechnik



Quelle: Schneider Electric

Innerhalb eines Wasserwerks sind durch die Topologie die verschiedenen Gewerke wie zum Beispiel Brunnen häufig weit verteilt, was spezielle Anforderungen an die Kommunikation stellt. Innerhalb eines Gewerks arbeiten verschiedene Geräte zusammen, zum Beispiel Steuerung, Frequenzumrichter, Vor-Ort-Bedienpanels usw. Innerhalb dieser Gewerke werden die Daten entweder über klassische Verdrahtung, Feldbusse oder auch über Ethernet übertragen. Die Datenmengen sind gering, daher sind Deterministik, Datensicherheit und -integrität gegeben. Diese verschiedenen Gewerke sind mit einer Zentrale verbunden, in der die Bedienung stattfindet. Durch die räumliche Entfernung ist die Kommunikation (z. B. über serielle Leitung, GSM etc.) nicht immer sicher. Deswegen werden die Daten auf den Steuerungen vor Ort gespeichert und mit einem Zeitstempel versehen, damit sie bei erneuter Kommunikation richtig in die Historien- oder Ereignisdatenbanken eingeordnet werden können. Als Kommunikationsprotokoll werden spezielle Fernwirkprotokolle (z. B. IEC60870-5-104) genutzt, um eine sichere Datenübertragung zu gewährleisten; diese sind jedoch nicht für hohe Datenraten ausgelegt. Hierbei ist auf die Datensicherheit zu achten, da unter Umständen öffentliche Netze zur Datenübertragung genutzt werden. Nun lassen sich die Bediensysteme – in der Regel SCADA-Systeme, die für diese Art Anwendung ausgelegt sind – mit den Historien und Ereignisdatenbanken in die Cloud verlagern. In den Gewerken vor Ort können dazu Gateways installiert werden, welche die verschiedenen Gewerke direkt mit der Cloud verbinden. Der Vorteil dieser Konstellation ist, dass in der Bedienzentrale kein IT-Equipment mehr vorgehalten werden muss und dessen Wartung entfällt. Die Bediener können jederzeit auf das System in der Cloud zugreifen, nicht nur aus der Zentrale selbst, sondern auch über Tablets oder Smartphones. Alarmer werden aus der Cloud natürlich auch an das Bedienpersonal übermittelt. Somit lassen sich Investitions-, Wartungs- und gegebenenfalls Personalkosten senken.

3.3 Ableitung der Anforderungen

Die Gewinnung, Verarbeitung und Nutzung von Daten, die den technischen Prozess charakterisieren, stehen im Fokus der Automation. Die Eigenschaften solcher Daten bestimmen damit auch wesentlich die Anforderungen an die eingesetzten Technologien. Sie sind deshalb zusätzlich zum Kriterienkatalog (siehe Kap. 2.5) zu betrachten.

Die in einem Produktionssystem ausgetauschten Daten können unterschiedlichen Use Cases zugeordnet werden und haben sehr unterschiedliche Eigenschaften. Für die Auswahl von Cloud-/Fog-/Edge-Lösungen sowie für das Verwalten bzw. Verteilen (Deployment) von Funktionen des Produktionssystems zwischen Cloud, Fog und Edge sind diese Eigenschaften zu berücksichtigen. In Tabelle 2 sind Kriterien zur Klassifikation von Daten und eine qualitative Beschreibung der Eigenschaften dargestellt. Diese können als erste Anhaltspunkte dienen, sollten im konkreten Fall jedoch ergänzt und möglichst um quantitative Aussagen erweitert werden.

Tabelle 2: Klassifikation von Daten in Produktionssystemen

	Dynamik	Reaktionszeit	Relevanz	Umfang	Zugriffszeit	Persistenz	Ort
	Änderungshäufigkeit	Verarbeitung in der Anwendung	Bedeutung der Datenänderung	Größe der Daten	Zeit für den Zugriff auf die Daten	Speicherung der Daten	Typische Ressource, in der die Daten entstehen
Prozessdaten	Sehr hoch	Sehr klein	Mittel	Klein	Sehr klein	Selten	Feldgerät, SPS
Ereignisse/Alarmer	Hoch	Sehr klein	Sehr hoch	Sehr klein	Sehr klein	Häufig	Feldgerät, SPS
Parameterdaten	Einmalig oder keine gering	Mittel	Hoch	Mittel	Mittel	Sehr häufig	Engineering-System, SCADA, SPS, (Feldgerät)
Daten der Prozessführung	Mittel	Klein	Hoch	Klein	Klein	Häufig	Feldgerät, SPS, SCADA, Leitsystem, MES
Planungs- und Engineeringdaten	Einmalig oder keine gering	Groß	Hoch	Groß	Groß	Immer	Planungswerkzeug, Engineering-System
Lifecycle-Daten	Gering	Groß	Gering	Mittel	Groß	Immer	Alle

Quelle: AK Systemaspekte

In der Automation ist die Dynamik der Daten sicherlich die wichtigste Kenngröße. So sind Prozessdaten, die für Regelungen und Steuerungsaufgaben verwendet werden – abhängig von der Dynamik des technischen Prozesses –, typischerweise durch eine hohe Änderungshäufigkeit gekennzeichnet. In Echtzeitsystemen muss die Übertragung und Verarbeitung innerhalb vorgegebener (und meist kurzer) Zeitintervalle erfolgen, um die Reaktionszeiten einzuhalten. Insbesondere gilt dies für sicherheitsrelevante Anwendungen. Ähnliches gilt für Alarmer und Ereignisdaten, die durch eine hohe Relevanz gekennzeichnet sind. Während einzelne ausbleibende oder fehlerhafte Prozessdaten durch ausgeklügelte Ersatzwertstrategien ausgeglichen werden können, sind Alarmer zwingend und in kurzer Zeit zu übertragen und auszuwerten. Gleichzeitig sind diese Kategorien durch kleine Datenstrukturen gekennzeichnet. Hingegen sind die Daten der Parametrierung und der Prozessführung weit weniger zeitkritisch und werden seltener übertragen. Hier werden zum Teil größere Datenstrukturen verwendet. Eine Anforderung ist vielmehr die Persistenz dieser Daten, also deren dauerhafte Speicherung, unter Umständen auch zur Dokumentation des bestimmungsgerechten Betriebs der Anlage. Planungsdaten und Lifecycle-Daten sind ebenfalls relativ statisch und besitzen eher große bis mittlere Datenstrukturen, die immer persistent gehalten werden müssen. Ebenso ist der Ort der Entstehung der Daten wichtig, denn dieser ist ein Endpunkt, zu dem ein Kommunikationskanal aufgebaut werden muss, um auf die Daten zugreifen zu können.

All diese Aspekte beinhalten Anforderungen, die bei der Konzipierung von Cloud-/Fog-/Edge-Systemen und bei der Auswahl geeigneter Realisierungstechnologien beachtet werden müssen. Dies betrifft einzelne Aspekte wie Kommunikationsprotokoll und bereitgestellte Dienste, Übertragungsrate und Datendurchsatz, aber auch Speicher- und Verarbeitungsbedarf, Persistenz und Datensicherheit.

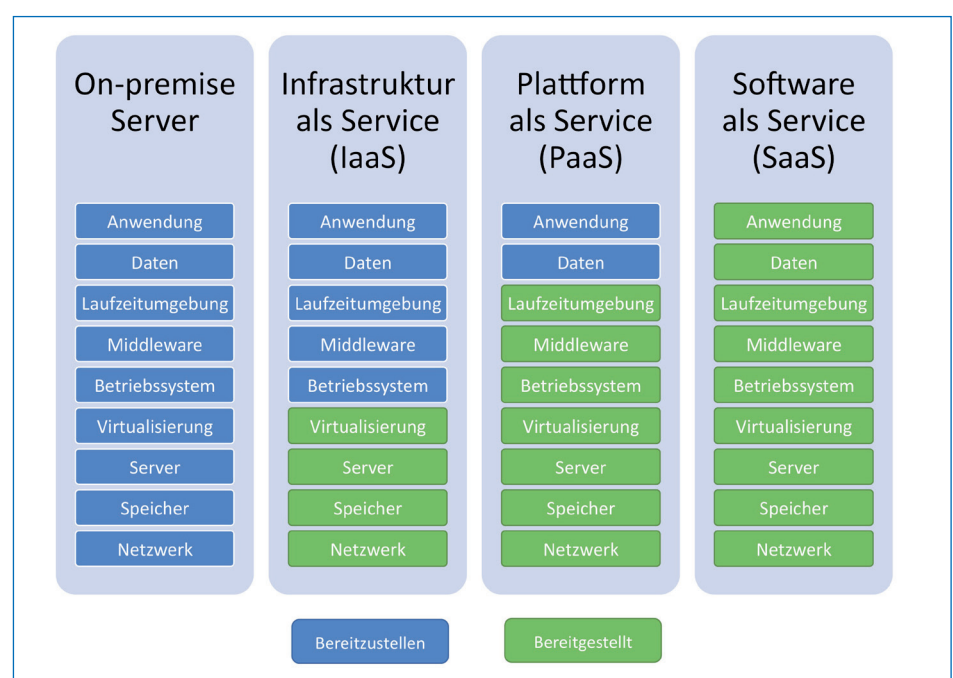
Es sei noch einmal betont, dass diese Kategorien und Eigenschaften keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben und als initialer Diskussionspunkt verstanden werden sollten.

4 Technologieübersicht

4.1 Cloud-Technologien

Cloud-Computing ist gekennzeichnet durch das Bereitstellen von verschiedenen Dienstleistungen, die klassische Computerleistungen virtualisieren. Es gibt die unterschiedlichsten Anbieter mit teilweise hoch spezialisierten Diensten. Allgemein werden vier große Dienstleistungen unterschieden (Bild 8):

Bild 8: Kategorien von Dienstleistungen in der IT



Quelle: Eigene Darstellung AK Systemaspekte

- IaaS – Infrastructure as a Service: Die Bereitstellung von (virtualisierter) Computer-Hardware ist die Basisdienstleistung des Cloud-Computing. Rechenleistung, Speicher oder Netzwerk, gekoppelt mit Verfügbarkeit, kann individuell gebucht werden und ersetzt die vor Ort vorgehaltene Hardware. Da Hardware einen erheblichen Kostenfaktor darstellt, bietet IaaS ein signifikantes Einsparpotenzial.
- PaaS – Platform as a Service: Als Bindeglied zwischen IaaS und SaaS stellt Platform as a Service unterschiedliche Laufzeitumgebungen bereit, die für die Applikationen genutzt werden können. Allgemein bekannt sind Webhosting-Dienste. Plattformen sind aber auch komplette Betriebssysteme oder Entwicklungsumgebungen für Software. Die Übergänge zwischen IaaS und PaaS bzw. PaaS und SaaS sind oft fließend.
- SaaS – Software as a Service: Software und Applikationen werden als Dienstleistung zur Verfügung gestellt. Der Zugriff erfolgt zumeist über ein Web-Interface. Auf der Nutzerseite entfallen die Lizenzgebühren für die eigene Installation und der Aufwand für die Wartung.

Darüber hinaus gibt es zahlreiche weitere Dienste, wie zum Beispiel SaaS – Storage as a Service für die Bereitstellung von Speicherplatz für Daten aller Art. Daten werden damit unabhängig vom einzelnen Gerät und sind universal verfügbar. Kritischer Faktor bei diesem Dienst ist die Datensicherheit, sowohl am Speicherort selber als auch bei der Übertragung. In beiden Fällen kommen vor allem Verschlüsselungstechnologien zum Einsatz.

Die Kostenersparnisse für eigene Hard- und Software sind eines der wichtigsten Argumente für das Cloud-Computing. Dabei werden nicht nur die Investitionskosten reduziert, sondern auch der Aufwand für die Wartung von Hard- und Software kann signifikant gesenkt werden. Flexible Erneuerung und Skalierbarkeit von Hard- und Software sind weitere Kriterien für den Einsatz von Cloud-Computing.

Cloud-Dienstleister nutzen unterschiedliche Geschäftsmodelle; in den vergangenen Jahren haben sich aber zwei typische Vertreter etabliert: die nutzungsbasierte Abrechnung (Pay per Use) und die zeitbasierte Abrechnung (Subscriptions). Bei ersterem Modell zahlt der Nutzer eines Dienstes oder einer Ressource für das Maß der Nutzung, etwa für den verbrauchten Speicher (SaaS), die genutzte Rechenleistung (IaaS) oder in Anspruch genommene Bandbreite. Subscription-Modelle basieren häufig auf monatlichen oder jährlichen Zeiträumen und stellen die Leistung unabhängig von der eigentlichen Nutzung für den Zeitraum der Zahlung zur Verfügung. Beide Modelle können auch gemeinsam genutzt werden, etwa eine Subscription als Basisleistung und optional hinzubuchbare Leistung für Leistungsspitzen. Beispielsweise werden Maschinendaten dauerhaft in der Cloud gespeichert, die Auswertung erfolgt aber als Pay per Use nur einmal die Woche.

Aus dem IT-Umfeld kommend, haben sich in den letzten Jahren eine Reihe von Cloud-Anbietern etabliert. Alle setzen auf Virtualisierungskonzepte und stellen zumeist ein ganzes Ökosystem von aufeinander abgestimmten Komponenten und Diensten bereit. Sie unterscheiden sich in technischen Details ebenso wie in den Geschäftsmodellen und den Abrechnungsstrategien. Bekannte Cloud-Computing-Lösungen sind etwa Microsoft Azure, Google Cloud Platform, Alibaba oder Amazon Web Services. Darüber hinaus werden zu den bereits heute verfügbaren Angeboten weitere Lösungen auf dem Markt erscheinen. Spezifische Lösungen sind zum Beispiel SAP HANA und Siemens Mindsphere.

Während der Kern der Dienste der verschiedenen Cloud-Anbieter aus dem – scheinbar unbegrenzten – Angebot an Speicherplatz, der Virtualisierung und dem Hosten von Applikationen besteht, haben sich um diesen Kern weitere Dienste etabliert, die auch für Anwendungen in der Automation interessant sind. Diese Dienste adressieren beispielsweise die Vernetzung, die Datenauswertung (Big Data) oder die Verteilung und das Management von Applikationen (Deployment). Dazu sind geeignete Systemstrukturen und Schnittstellen erforderlich, die durch die verschiedenen Anbieter aber auch verschieden realisiert werden. So sind etwa verschiedene Datenablagevarianten mit unterschiedlicher Zugriffszeit und Speicherdauer (Hot/Cold Storage), Ereignis- und Datenstromverarbeitung, Datenanalyse-Frameworks, Machine Learning und Laufzeitumgebungen für eigene Applikationen im Portfolio der Anbieter. Zudem stehen Dienste zum Nutzermanagement und für Visualisierung und Reporting zur Verfügung.

Viele Anbieter stellen Referenzarchitekturen mit einschlägiger Dokumentation bereit, in denen derartige Informationen ersichtlich sind. Im Einzelfall muss daher auf diese Dokumente zurückgegriffen werden, wenn die konkrete Einbindung von eigenen Applikationen festgelegt werden soll.

Ein Thema, dem sich wohl keiner der Anbieter verschließt, ist die Anbindung von IIoT-Komponenten. Hierfür stehen verschiedene Schnittstellen zur Verfügung, um die Daten der Geräte in die Cloud und zurück zu transferieren. Diese Schnittstellen setzen auf Standard-IT-Protokollen auf und werden durch

IT-Middleware-Lösungen wie MQTT oder AMQP ergänzt. Typischerweise wird hier eher das Protokoll unterstützt, die semantische Umsetzung bleibt jedoch dem Anwender überlassen. Echtzeitaspekte stehen bei den genannten Lösungen kaum im Fokus. Automatisierungsspezifische Technologien werden nur in Einzelfällen berücksichtigt, Ausnahme ist hier vielleicht OPC UA, dessen Akzeptanz im automatisierungsnahen IT-Umfeld zu einer zunehmend besseren Unterstützung durch die Anbieter führt.

Zusätzlich bieten die Hersteller Unterstützung beim Management von IIoT-Komponenten an. Dazu stellen sie Schnittstellen und Gerätemodelle bzw. -beschreibungen bereit, die jedoch nicht mit denen der klassischen Automatisierungstechnik vergleichbar oder gar kompatibel sind. Bei einigen Anbietern wird zwischen IIoT-Devices und IIoT-Gateways unterschieden, sodass der Übergang zwischen Edge und Fog/Cloud erleichtert wird.

4.2 Physische Konnektivität

Die Konnektivität für die Anbindung der eigentlichen Datenquelle ist ein wesentliches Entscheidungskriterium für den Einsatz von Cloud-/Fog-Technologien. Im industriellen Umfeld sind häufig zahlreiche I/Os vorhanden, die klassisch verkabelt sind. Ein vollständiger Austausch von Sensoren und Aktoren ist nicht immer sinnvoll. Je nach Szenario stehen dem Anwender verschiedene Möglichkeiten zur Anbindung vorhandener Datenquellen zur Verfügung:

1. Parallelverdrahtung/2. Kanal: Bei rein elektrischen Signalen oder busfähiger digitaler Kommunikation wird parallel zur bereits vorhandenen Sensor-/Aktoranbindung ein weiterer zusätzlicher Kommunikationskanal installiert.
2. Sniffer/Monitoring: Zum rückwirkungsfreien Erfassen von digitalen Daten kommen oft sogenannte Sniffer zum Einsatz. Diese werden direkt in den vorhandenen Kommunikationskanal integriert. Dieses Verfahren wird häufig bei ethernetbasierter Kommunikation verwendet. Der Sniffer ist jedoch kein aktiver Teilnehmer und kann deshalb nur den Datenverkehr zwischen anderen Teilnehmern erfassen, aber selbst nicht in dieses Netzwerk senden.
3. Gateways: Gateways werden oft als „Übersetzer“ zwischen verschiedenen Kommunikationsprotokollen verwendet. Geeignet für den Einsatz im Bereich der Cloud-/Fog-Technologien sind Modelle, welche die erfassten Daten über Ethernet weiterleiten. Für die typischen Feldbusse bietet der Markt verschiedenste Lösungen an.
4. Server/Datensammler: Die Verwendung von dedizierten Servern und Datensammlern stellt oft eine Kombination der zuvor genannten Möglichkeiten dar. Die Daten werden an einem zentralen Punkt zusammengeführt und können von dort von den verschiedenen Systemen abgerufen und weiterverarbeitet werden. Solche Systeme werden auch als Broker bezeichnet.

Die erfassten Daten sind häufig den folgenden Klassen zuzuordnen: Prozessdaten, Ereignisse und Alarmer, Daten der Prozessführung und Parameterdaten.

5 Chancen und Risiken

Die Chancen und Risiken beim Einsatz von Edge-, Fog- und Cloud-Technologien sind vielfältig. Damit die komplexen Auswirkungen besser abgeschätzt werden können, werden diese anhand der Merkmale aus Tabelle 1 diskutiert.

5.1 Ressourcenaspekte

Die verschiedenen Anforderungen zu Rechenleistung und Datenpersistenz lassen sich mit cloudbasierten Systemen am ehesten abdecken, da durch die gegebene Flexibilität und Skalierbarkeit eine einfache und schnelle Anpassung an sich ändernde Anforderungen erfolgen kann. Gerade bei der Verarbeitung und Speicherung großer Datenmengen (z. B. historische Daten) sind die Vorteile, die sich durch entsprechende Replikations- und Back-up-Mechanismen ergeben, enorm. Wichtig ist hier jedoch die genaue Prüfung der vom jeweiligen Anbieter zugesicherten Leistung. Neben der reinen Datenpersistenz sollte auch die Sicherstellung der Datenintegrität mitberücksichtigt werden.

5.2 Zeitaspekte

Mit den vorhandenen Edge-, Fog- und Cloud-Technologien lassen sich unterschiedliche zeitliche Anforderungen flexibel abdecken. Während auf Edge-Ebene strenge Deterministikanforderungen auch in Kombination mit hohen Datenraten sicher umgesetzt werden können, müssen bei Fog- und Cloud-

Diensten die Limitierungen durch die notwendige Datenübertragung und die Dienstverfügbarkeit in Betracht gezogen werden.

5.3 Plug & Work-Aspekte

Die konkrete Ressourcenstruktur muss für die Ausführung der Funktion im Cloud-/Fog-Bereich nicht bekannt sein, lediglich die Schnittstellen für die Nutzung der Funktion sind definiert. Dies erlaubt die Verwendung von allgemeingültigen Modellen und Spezifikationen, deren konkrete Implementierung für den Nutzer unerheblich ist. Dies erlaubt flexiblere Konzepte und Lösungen für das Deployment der Funktionen und erleichtert die Umsetzung von Konzepten von Industrie 4.0.

5.4 Lifecycle- und Maintenance-Aspekte

Die Nutzung von Applikationen über einen längeren Zeitraum, wie er in der Automation typisch ist, erfordert eine stetige Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft der Verarbeitungsressourcen (Feldgeräte, Steuerungen, Applikationsserver, Engineering-Werkzeuge etc.). Dies ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden und stößt insbesondere da an Grenzen, wo die kurzen Lebenszyklen von IT-Technologien und IT-Systemen auf Forderungen nach langer Nutzungszeit in der Automation stoßen. Hier ergeben sich mitunter erhebliche Aufwände für Strategien zum Lifecycle-Management (wie z. B. Migration) [4]. Mit der Nutzung von Cloud- und Fog-Strukturen wird diese Aufgabe zu einem großen Teil auf die Cloud- und Fog-Provider verschoben. Hierzu sind geeignete Vereinbarungen zwischen Anwendern und Providern zu treffen (Service Level Agreements), um die Verfügbarkeit der eigenen Dienste entsprechend sicherzustellen.

5.5 Security-Aspekte

Bei der Nutzung von Cloud-Angeboten haben die Themen Datenschutz und Datensicherheit eine hohe Bedeutung. Dabei kommt das Recht des Landes zum Tragen, in dem die Ressourcen (z. B. Server) physikalisch installiert sind. Deutschland und die EU haben eines der strengsten Datenschutzgesetze (EU-DSGVO) weltweit. Einige Anbieter von Cloud-Diensten garantieren deshalb einen Betrieb ihrer Rechenzentren und Dienste in Deutschland. Darüber hinaus ist es Aufgabe des Betreibers bzw. Diensteanbieters sicherzustellen, dass mindestens der Stand der Technik im Bereich Security zum Einsatz kommt. Nutzer sollten auf entsprechende Zertifizierungen und Nachweis der Einhaltung bestehen. Durch die technisch bedingten Kommunikationsverbindungen zwischen Edge-, Fog- und Cloud-Systemen hat ein unberechtigter Zugriff weitreichende Konsequenzen. Eine Risikoanalyse hilft, Schwachstellen zu identifizieren und Abhilfemaßnahmen im Vorfeld umzusetzen.

5.6 Erstellungs- und Nutzungsaspekte

Die technologische Entwicklung ermöglicht auch neue Geschäftsmodelle, die sich auf Anwenderseite auf die Investitions- und Betriebskosten auswirken. Zahlreiche Angebote setzen dabei auf verbrauchsorientierte und/oder abonnementbasierte Abrechnungsmodelle. Mussten in der Vergangenheit Hardware und Software angeschafft werden, können diese heute gemietet werden. Einmalig hohen Investitionskosten mit entsprechenden Abschreibungen stehen heute geringere, aber dafür regelmäßig anfallende Betriebskosten gegenüber. Letztere sind dabei oft vom Nutzungsverhalten abhängig, was die betriebswirtschaftliche Planbarkeit der zu erwartenden Kosten erschwert. Die Attraktivität dieser Modelle besteht jedoch in der schnellen Skalierbarkeit. Änderungen am Bedarf lassen sich durch flexibles Hinzubuchen zusätzlicher Dienste und Ressourcen schnell abdecken. Ebenso schnell ist auch die Kündigung möglich.

Dieser Aspekt unterstützt kollaborative Ansätze, wie zum Beispiel Value Based Services, und ermöglicht die einfache Umsetzung von zusätzlichen digitalen Diensten. Voraussetzung dafür ist eine durchgehende Kommunikation – standortunabhängig, mobil und jederzeit verfügbar. Cloud-, Fog- und auch Edge-Technologien ermöglichen in Kombination diese Art der Kommunikation durch die flexible Interaktion von Diensten mit Daten. Die Anzahl der Interaktionspartner steigt: Vom Plattform- über den Diensteanbieter bis zum Verbraucher sind zahlreiche Partner involviert. Menschliche Interaktion findet, wenn überhaupt, nur noch an den Endpunkten dieser Dienste statt. Beispielsweise können Datenauswertungen und Analysen durch Aggregation verschiedener Datenquellen wie zum Beispiel Datenbanken, Office-Anwendungen, SCADA- oder Historian-Systemen automatisiert zur Verfügung gestellt werden. Über entsprechende Apps auf den verschiedenen mobilen Plattformen können Auswertungen dann innerhalb kurzer Zeit zur Anzeige gebracht werden.

5.7 Systemaspekte

Die verschiedenen Systemaspekte müssen vor allem auf Edge-Ebene sorgfältig betrachtet werden. Da die Ownership oft direkt auch beim Anwender liegt, ist hier der Gestaltungsspielraum hoch. Unterschiedliche Hardwaretypen und Kommunikationsprotokolle können flexibel integriert und den Anfor-

derungen entsprechend angepasst werden. Eine Koexistenz von echtzeitfähigen und zeitunkritischen Diensten ist möglich. Dies erfordert zusätzliche Engineering-Werkzeuge, deren Lifecycle ebenfalls in die Betrachtung einbezogen werden muss.

Die einfache Skalierungsfähigkeit bei cloudbasierten Ressourcen ermöglicht schnelle Anpassungen bei sich verändernden oder neuen Anforderungen. Hierzu zählen insbesondere Arbeitsspeicher, Prozessorleistung, Anzahl der Kerne und persistenter Speicherplatz. Die Anbieter von Cloud-Lösungen erlauben die Auswahl verschiedener Konfigurationen, die bei Bedarf im laufenden Betrieb geändert werden können. So ist es in einigen Virtualisierungsumgebungen beispielsweise möglich, eine Applikation während ihrer Nutzung rückwirkungsfrei auf eine andere virtuelle Maschine umzuziehen. Dies gelingt durch Abstraktion der Ressourcenstruktur und durch leistungsfähige Mechanismen zu deren Management. In Kombination mit geeigneten Abrechnungsmodellen kann dies eine sehr gute Lösung für die Unterstützung der Flexibilisierung von Applikationen sein. Im Fog-Kontext ist dies mitunter etwas weniger ausgeprägt, die Flexibilisierung wird aber auch hier durch Bereitstellung von zusätzlichen Ressourcen bei Bedarf unterstützt. Neben der Flexibilität wird hier auch die Verfügbarkeit der Automatisierungssysteme verbessert.

6 Handlungsempfehlung für den Einsatz von Cloud-/Fog-Technologien

Durch den Einsatz von Edge-, Fog- und Cloud-Technologien lassen sich Automatisierungsapplikationen auf vielfältige Art und Weise realisieren. Für die Auswahl der am besten geeigneten Implementierungsvariante ist es erforderlich, die konkreten Anforderungen zu definieren, die eine Applikation an Funktionen, Daten und deren Ort stellt.

Applikationsspezifische Randbedingungen wie Funktionalität, Technologie, Aufwand, vorhandene Technik, Security, Kosten usw. sind zu betrachten und zu bewerten. Die Eignung einer bestimmten Technologie für Aufgaben im Automatisierungsbereich lässt sich jedoch nur dann konkret beantworten, wenn

- eine entsprechend klare Definition dieser Aufgabe vorliegt,
- das technische Umfeld, in dem die Technologie zum Einsatz kommt, abgegrenzt ist,
- die genauen technischen Abläufe bekannt sind und nicht zuletzt
- Merkmale vorgegeben sind, die eine genaue und nachvollziehbare Bewertung erlauben.

Aufbauend auf [3] wird daher eine Methodik empfohlen, die eine systematische Bewertung von cloud- und foggestützten Lösungen erlaubt und darüber hinaus Anstöße gibt, eine für den konkreten Einsatzfall aussagekräftige Bewertung durchführen zu können.

Dazu wird die Szenarientechnik angewandt. Es werden zunächst Funktionen innerhalb eines Szenarios bzw. Anwendungsfalls (Use Case) identifiziert und beschrieben. Daraus werden konkrete Anforderungen (wenn möglich quantitativ) formuliert. In einem zweiten Schritt werden diese Funktionen geeigneten Ressourcen bzw. Geräten zugeordnet (deployed), die in eine Edge-, Fog- und Cloud-Architektur eingebettet sind. Dabei sind verschiedene Zuordnungsvarianten möglich, die systematisch erfasst werden.

Zur Beschreibung der einzelnen Funktionen dienen die folgenden Kriterien:

- Die jeweilige Funktion, die durch den Einsatz einer Kombination verschiedener Technologien (= Implementierungsvariante) realisiert werden soll
- Die jeweilige Systemarchitektur (Edge, Fog, Cloud)

Für diese Kriterien ergeben sich jeweils unterschiedliche Merkmale bzw. Ausprägungen, sodass sich unter Berücksichtigung der jeweiligen Kombinationen eine Anwendungsmatrix für die zu implementierende Lösung ergibt. Auf Grundlage dieser Anwendungsmatrix können dann unterschiedliche Implementierungsvarianten (Lösungen auf Basis unterschiedlicher Architekturen und Technologien) bewertet werden.

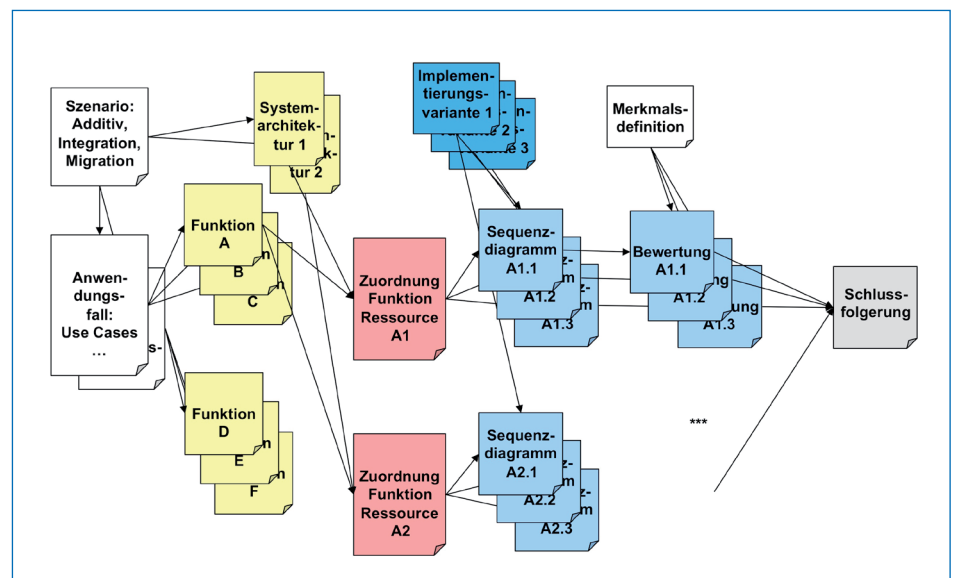
Die verschiedenen Implementierungsvarianten haben Einfluss auf die Kriterien und konkretisieren diese.

Die Methodik umfasst folgende Schritte:

- 1) Definition und Beschreibung der Anwendungsfälle (Use Cases, siehe 3.2) auf Basis des gewählten Szenarios (siehe 3.1) und Festlegung allgemeiner Randbedingungen (z. B. Kosten, Geschäftsmodelle, sonstige Richtlinien).
- 2) Ermittlung der für die Anwendungsfälle relevanten Funktionen und Festlegung der notwendigen quantitativen Anforderungen (Konkretisierung der Randbedingungen). Hierzu gehören beispielsweise Reaktionszeiten, Datenvolumen, und Archivierungszeiträume.
- 3) Definition und Beschreibung der Systemarchitektur, Ermittlung der Ressourcen bzw. Geräte.
- 4) Einordnung der Ressourcen bzw. Geräte in eine Architektur. Damit ergeben sich Konkretisierungen zu Distanzen und zur Durchsatzmenge von Daten.
- 5) Zuordnung der Funktionen zu den Ressourcen bzw. Geräten. Damit ergeben sich Konkretisierungen zu Ressourcen, möglichen Technologien und Security-Anforderungen.
- 6) Auswahl von prinzipiell geeigneten Implementierungsvarianten als Kombination von verschiedenen Technologien und Lösungen.
- 7) Detaillierung der Kommunikationsabläufe durch Erstellung von Sequenzdiagrammen. Ermittlung der konkreten Eigenschaften der Implementierung durch Ausprägung der Merkmale.
- 8) Bewertung der Implementierungsvariante durch Spiegelung der konkretisierten Anforderungen an den Merkmalen und ihren Ausprägungen.
- 9) Variation der Punkte 7) und 8) über andere mögliche Implementierungsvarianten.
- 10) Schlussfolgerung und Implementierungsentscheidung.

Bei der beschriebenen Vorgehensweise entstehen Dokumente, die eine strukturierte Beschreibung von Anforderungen und Eigenschaften beinhalten. Bild 9 zeigt die prinzipiellen Relationen zwischen diesen Dokumenten. Aufbauend auf der Dokumentstruktur, sind weitere Iterationen und Kombinationen von Funktionen in anderen Anwendungsfällen möglich. Die Gesamtentscheidung für eine oder gegebenenfalls mehrere Implementierungsvarianten ist im Hinblick auf das Szenario mit all seinen Anwendungsfällen zu treffen.

Bild 9: Anwendungsmatrix – Vorgehen zur Bewertung, basierend auf [2]



Quelle: Eigene Darstellung AK Systemaspekte

Es ist klar, dass ein derartiges Vorgehen einen erheblichen Aufwand erfordert. Ohne einen systematischen Vergleichsansatz lassen sich allerdings keine belastbaren Entscheidungen treffen.

Das nachfolgende Beispiel illustriert deshalb die Anwendung der Vorgehensweise in Verbindung mit dem Use Case aus Kap. 3.2.1. Das Szenario ist additiv, eine bestehende Applikation soll durch eine neue Funktion erweitert werden. Dabei soll die vorhandene klassische Verdrahtung weiter bestehen bleiben. Existierende Funktionen sind: Datenaustausch des Frequenzumrichters mit Sollvorgaben und Istzuständen, sowie Speicherung historischer Daten im SCADA-System. Neue Funktionen sind: Erfassung von Energiemesswerten und Daten zur vorbeugenden Wartung. Für diese Funktionen werden die verschiedenen Systemarchitekturen betrachtet. Dies kann unter Umständen auch eine komplett neue Verdrahtung auf Ethernet-Basis beinhalten. Obwohl dieses Vorgehen vorab ausgeschlossen wurde, kann

sie dennoch betrachtet werden, da eventuell interessante Kosten-Nutzen-Resultate in der Bewertung entstehen können. Nun werden die Funktionen den Ressourcen zugeordnet, wie zum Beispiel Energiedaten-Auswertung in der Steuerung oder im SCADA-System, obwohl dieses durch die Projektierung der proprietären Systeme aufwendig ist. Ordnet man die Funktion „Energiedaten-Auswertung“ den Cloud-Systemen (Public oder Private Cloud) zu, findet man unter Umständen schon fertige Auswertungs-Algorithmen bei Anbietern, die sich nutzen lassen. Die Zuordnung der Funktion „Datenaustausch des Frequenzumrichters mit Sollvorgaben und Istzuständen“ zu einem Cloud-System mag auf den ersten Blick wenig sinnvoll erscheinen, sie wird durch das Sequenz-Diagramm untermauert. Ist eine zeitkritische Funktion zu realisieren, schließt diese gegebenenfalls das Cloud-System aus. All diese Betrachtungen fließen in die Bewertung mit ein, aus der dann die Schlussfolgerung gezogen wird.

7 Zukunftsaussichten

Möglichkeiten wie Industrie 4.0 und KI (Digitalisierung) werden in Zukunft wesentlich größere Datenmengen flexibler, orts- und zeitunabhängig erfordern. Bereits heute sind Technologien wie zum Beispiel Docker verfügbar, mit denen Funktionalität einfach auf verschiedenste Hard- und Softwareplattformen verteilt werden kann. Aus der Kombination mit neuen leistungsfähigen Datenübertragungstechnologien wie beispielsweise 5G entsteht eine noch nie da gewesene Flexibilität für den Anwender, Datenerfassung, -verarbeitung und -auswertung räumlich und zeitlich an seine Bedürfnisse anzupassen. Die Wertschöpfung wird sich stärker in Richtung der Datenverwendung verschieben, da im Bereich der Datenerfassung die Möglichkeiten zur Differenzierung eher zurückgehen werden. Der Schwerpunkt wird allerdings deutlich über die Definition von Übertragungsprotokollen und Speicherformaten hinausgehen. Spezialisierte Dienste werden für konkrete Anwendungsszenarien entwickelt werden. Für die Interaktion werden definierte Semantiken erforderlich sein. Die Flexibilität im Deployment von Diensten und Funktionen stellt neue Anforderungen an die Kommunikation zwischen verschiedenen Edge-, Fog- und Cloud-Systemen. Die Festlegung der selektiven Verwendung von Daten und die garantierte Einhaltung definierter Richtlinien bezüglich Umgang und Weitergabe wird ein wesentlicher Entscheidungsfaktor für die Akzeptanz cloudbasierter Lösungen sein. Die Nutzung vieler verschiedener Cloud-/Fog-Angebote erhöht die Administrationsaufwände deutlich. Ein Lösungsansatz für das Deployment kann GAIA-X sein, das eine vernetzte und offene Dateninfrastruktur auf Basis europäischer Werte bereitstellt ([6]).

8 Fazit

IIoT (stärkere Vernetzung und durchgehende Digitalisierung) sowie Industrie 4.0 (höhere Interoperabilität) ermöglichen ein neues Potenzial an Möglichkeiten zur Wertschöpfung in den Bereichen Produktivität, Flexibilität und Geschäftsmodelle. Das Datenaufkommen und Anforderungen an einen flexiblen Umgang mit diesen Daten im industriellen Umfeld werden signifikant steigen. Die Nutzung von Edge-, Fog- und Cloud-Technologien in Automatisierungslösungen bietet heute schon echten Mehrwert und wird in Zukunft unumgänglich sein. Die Einfachheit in der Benutzung reduziert allerdings nicht die Komplexität, die zur Bereitstellung der Dienste erforderlich ist. Für den Einsatz und die Anwendung entsprechender Lösungen sind mögliche Szenarien zu definieren und diese auf Basis realer Implementierungsvarianten zu evaluieren. Die in diesem Dokument vorgeschlagene Methodik bietet auf Basis der vorgestellten Merkmale eine vergleichsweise einfache Vorgehensweise, um den Nutzen der jeweiligen Technologie für die eigenen Lösungen objektiv zu bewerten. Kriterien wie zum Beispiel Erweiterbarkeit und Wartbarkeit über den Lifecycle werden zunehmend an Bedeutung gewinnen, um das angestrebte Kosten-Nutzen-Verhältnis dauerhaft sicherzustellen. Unternehmen müssen sich auf diesen Aufwand einstellen und das dafür notwendige Know-how im industriellen Umfeld aufbauen.

Literaturverweise:

- [1] ZVEI, Arbeitskreis Systemaspekte (Hrsg.), Consumer-Geräte im Industrie-4.0-Umfeld, 2017
- [2] ZVEI, Arbeitskreis Systemaspekte (Hrsg.), Kommunikation im Industrie-4.0-Umfeld, 2018
- [3] ZVEI, Arbeitskreis Systemaspekte (Hrsg.), Einsatz von Web-Technologien in der Automation, 2006
- [4] ZVEI, Arbeitskreis Systemaspekte (Hrsg.), Life-Cycle Management für Produkte und Systeme der Automation, 2010, ISBN-13: 978-3939265009
- [5] Plattform Industrie 4.0, Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0, 2016
- [6] <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/das-projekt-gaia-x-executive-summary.html>
- [7] Jasperneite, J.; Sauter, T.; Wollschlaeger, M.: Why We Need Automation Models: Handling Complexity in Industry 4.0 and the Internet of Things. In: IEEE Industrial Electronics Magazine, IEEE Industrial Electronics Magazine 14 (2020), Nr. 1, S. 29–40

Weiterführende Literatur:

- ZVEI, Arbeitskreis Systemaspekte (Hrsg.), Ethernet in der Automation, 2003
- Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0 vom April 2013 S84-7 zu „Vertikale Integration und Horizontale Integration“
- Veröffentlichung BITKOM zu „Big Data im Praxiseinsatz- Szenarien, Beispiele, Effekte“
- Wallaschek, Jörg zu „Energy Harvesting - Grundlagen und Praxis energieautarker Systeme, Energy Harvesting“
- VDI/ VDE GMA Statusreport Industrie 4.0 Gegenstände, Entitäten, Komponenten, April 2014
- ZVEI, Arbeitskreis Modulare Automation (Hrsg.), Modulbasierte Produktion in der Prozessindustrie – Auswirkungen auf die Automation im Umfeld von Industrie 4.0, 2014
- Plattform Industrie 4.0, Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 (14.4.2015)
- ZVEI, Arbeitskreis Systemaspekte (Hrsg.), Whitepaper „Industrie-Software 4.0?“, 2015



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.

Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-0

Fax: +49 69 6302-317

E-Mail: zvei@zvei.org

www.zvei.org