



Designing Education  
Connecting People



## Lernfeld 7

---

Cyber-physische Systeme ergänzen

## Inhalt: (Tag 7)

- Cyber-physische Systeme
- Implementierung und systematische Funktionsprüfung
- Messverfahren / Messung relevanter physikalischer Betriebswerte
- Validierung des Energiebedarfs



## 7.8 Zusammenführung cyber-physischer Systeme

---



# Der siebte Tag

Cyber-physische Betriebe - Implementierung und systematische Funktionsprüfung

Cyber-physische  
Systeme

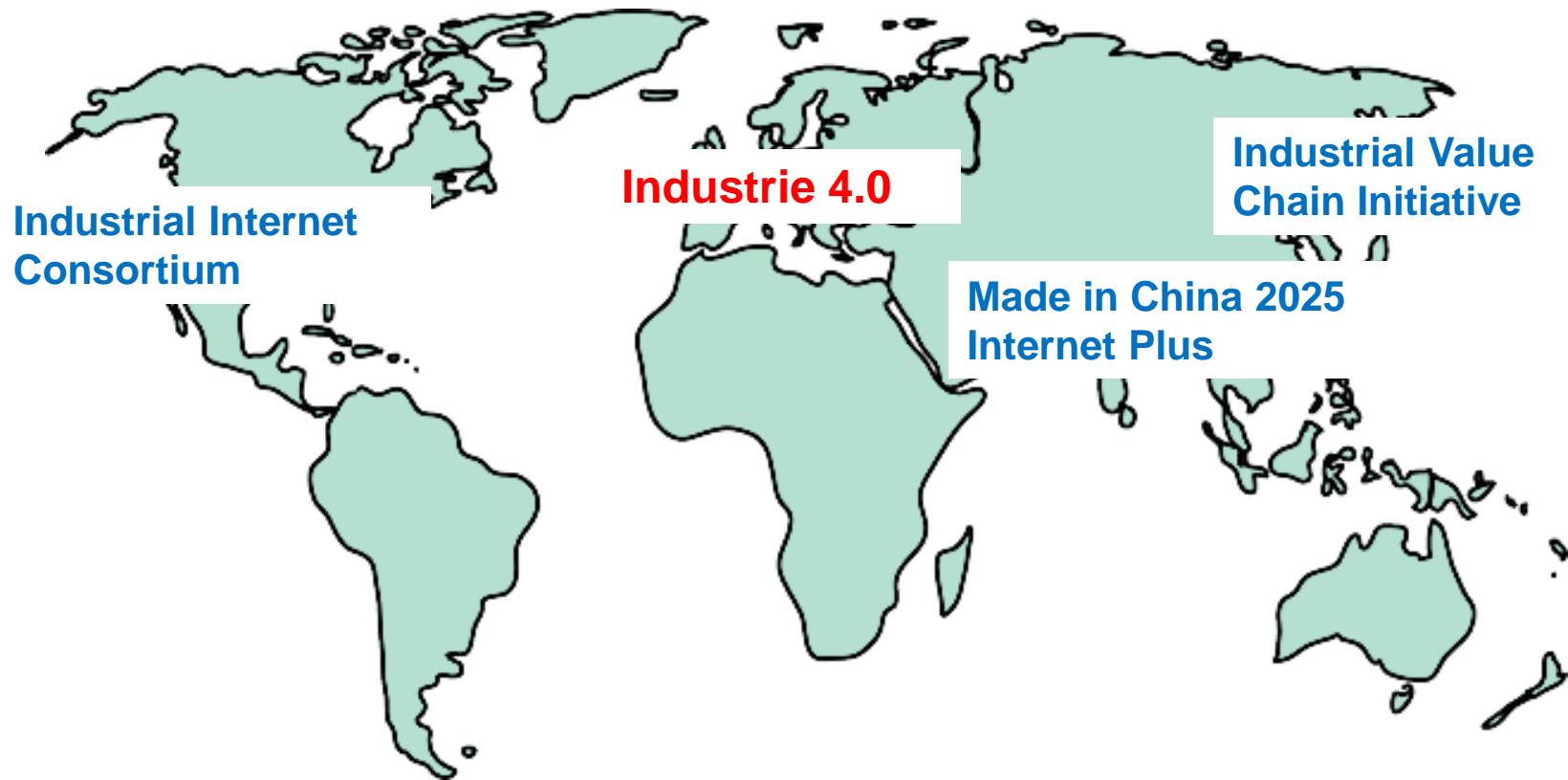
Implementierung  
und  
Funktionsprüfung

Messverfahren  
und relevante  
Betriebswerte



# Strömungen & Sektoren im globalen Industrial Internet

## Strömungen:

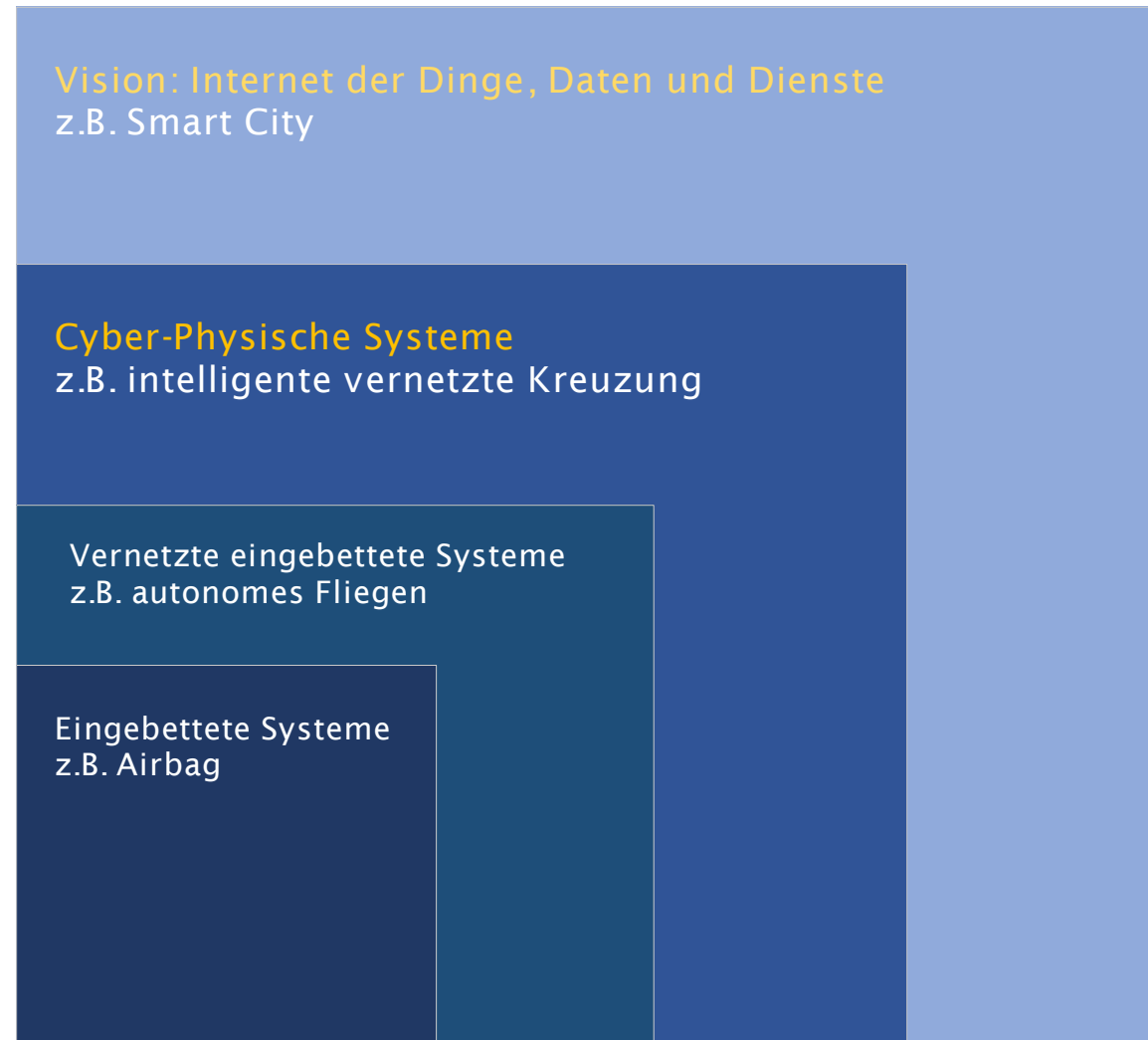


## Sektoren:

- Produktion
- Energie
- Transport
- Landwirtschaft
- Gesundheit

# Vom eingebetteten System zum Internet der Dinge

- Definition und Entwicklung  
**Cyber-physischer Systeme**
- Cyber-physische Systeme stehen für die **Verbindung** von **physikalischer** und **informationstechnischer** Welt
- Sie **entstehen** in Anwendungsprozessen, in komplexem Zusammenspiel von **eingebetteten Systemen**, Anwendungssystemen und Infrastruktur
- **Basis** ihrer Entstehung ist ihre **Vernetzung** und die **Mensch-Technik-Interaktion**



**Abb.** Evolution vom eingebetteten System zum Internet der Dinge, Daten und Dienste

# Eigenschaften von Cyber-physischen Systemen

- CPS erfassen physische Daten mittels **Sensoren, Aktoren** wirken unmittelbar auf physische Vorgänge ein
- Auf der Basis selbst ausgewerteter Daten speichern Sie die Ergebnisse und nutzen diese **aktiv** und **reaktiv** zur **Interaktion** mit ihrer **physikalischen** und **digitalen Umwelt**
- Sie **kommunizieren** mit **anderen Cyber-physischen Systemen** mittels digitaler Vernetzung, sowohl in drahtloser als auch in drahtgebundener Form, - **lokal** oder **global**
- Sie nutzen die ihnen **weltweit zur Verfügung** stehenden **Daten** und **Dienste**
- Sie verfügen über eine Reihe verschiedener **Mensch-Maschine-Schnittstellen**. Damit stellen Sie für die **Kommunikation** und die **Steuerung** multimodale Möglichkeiten bereit (z. B. Sprache und Gesten)
- Dabei sind sie weitestgehend **ortsunabhängig, kontextspezifisch, teilautonom, teilautomatisiert** und **vernetzt**

# Zwiebelschalenartige Struktur von CPS

- CPS stellen in vielfältiger Weise sogenannte **Systems of Systems** dar
- Es werden immer wieder **neue Systeme** geschaffen und zu **übergeordneten** Systemen zusammengefügt
- CPS stellen eine **wissenschaftliche, wirtschaftliche** und **technische** Herausforderung dar
- Sie können zu einem verschiedene Wissenschaften und Disziplinen zusammenführenden **Gesamtsystem** vernetzt werden

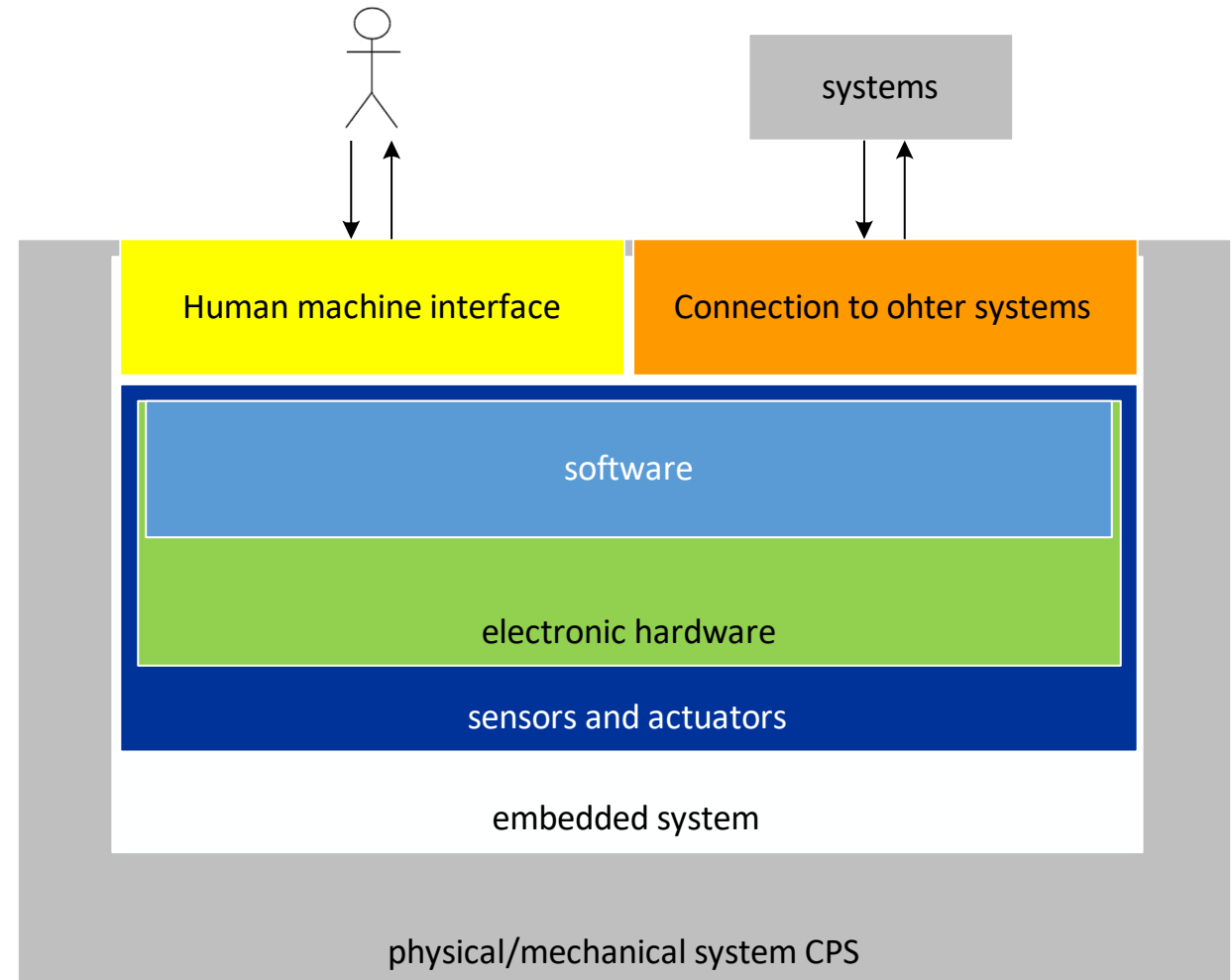


Abb.: Zwiebelschalenstruktur der CPSs

# Embedded (eingebettete) Systems

- Nach Definition des Institute of Electrical and Electronics Engineers (**IEEE**) ist ein **eingebettetes System** ein Computersystem, das **Teil eines größeren Systems** ist und einen Teil dessen Aufgaben ausführt  
(z. B. ein Computersystem in einem Flugzeug oder einem Hochgeschwindigkeitszug).
- Embedded Systems sind somit **physische Bestandteile** eines **Cyber-physischen Systems**
- Weitere **Beispiele** für Embedded Systems: Auto, Straßenbeleuchtung, Waschmaschine usw.
- In nahezu **jedem elektronischen Gerät** befinden sich also Embedded Systems
- Eingebettete Systeme, die miteinander kommunizieren sind jedoch **noch kein Cyber-physisches System**



# 7.8.1. Zusammenführung Cyber-physischer Systeme (CPS)

**Beispiele** für Cyber-physische Systeme:

- Intelligente, vernetzte Kreuzungen
- Flughafen (voll automatisierte Starts und Landungen mit Hilfe der Daten der Flugzeuge)
- Intelligente Operationsräume (z. B. robotergestützte Operation)
- Industrie 4.0 (Smart Factory)
- Smart Buildings (Smart Home)
- Selbstfahrende Autos mit selbstregulierendem Verkehr
  
- Intelligente, vernetzte Kreuzungen und Flughäfen zusammen mit anderen Systemen bilden eine **Smart City (Cyber-physisches System)**
- Cyber-physische Systeme, die **miteinander verbunden** werden, bilden dann **Systeme höherer Ordnung**
- Die **Begriffe** dieser Systemkombinationen sind zum **gegenwärtigen Zeitpunkt** jedoch **nur sehr ungenau** definiert (z. B. Smart City, Smart Grid)

# Systeme höherer Ordnung und Internet of Things (IoT)



SMART ENVIRONMENT



SMART WEARABLES



INTERNET



SMART CITY



SMART FACTORY



SMART BUILDINGS

# Kompetenzcheck

- Suchen Sie nach weiteren Definitionen für Cyber-physische Systeme (CPS) (Minimum 2 unterschiedliche Definitionen).
- Beschreiben Sie die Merkmale (Charakter) eines Cyber-physischen Systems.
- Warum werden Cyber-physische Systeme auch mit einem Zwiebelschalenmodell verglichen?
- Welche Verbindungen zwischen Cyber-physischen Systemen kennen Sie?



# Internet of Things (IoT)

- Es gibt **unterschiedliche Definitionen** für das Internet der Dinge, was es eigentlich ist und was unter den Begriff „**Internet**“ und „**Things**“ zu verstehen ist
- **Einigkeit** besteht darüber, dass im IoT **physische Entitäten** betrachtet werden, welche über ein Netz (meistens das Internet) verbunden sind
- Nach einer **Definition** des **Gabler-Wirtschaftslexikons** ist das IoT ein „weltumspannendes, heterogenes Computernetzwerk, das auf dem Netzwerkprotokoll TCP/IP basiert“
- Zu unterscheiden sind die Begriffe **Internet** und **World Wide Web** (www.). Beide nutzen das Protokoll TCP/IP. Internetprovider können jedoch auch einzelne Unternehmen oder Forschungseinrichtungen sein
- Das Internet kann somit auch ein Zusammenschluss von verschiedenen Netzbetreibern sein, also ein **Netzwerk** von **Netzwerken** (autonomes Netz).
- Das Internet der Dinge nutzt z. B. auch **GPS-Sensoren**

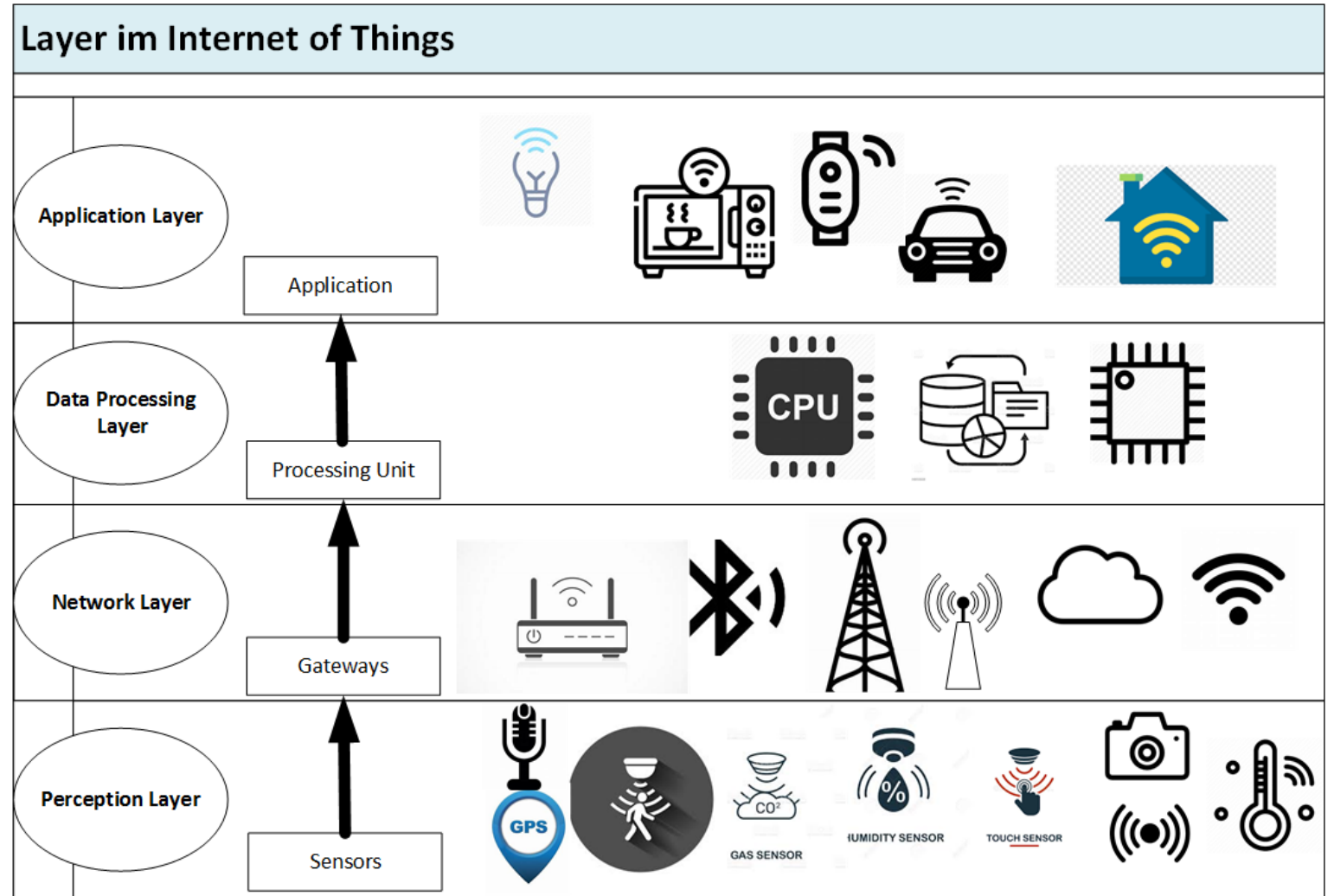
# Things

- Ein Synonym für den Begriff **Things** lautet **Smart-Devices** (intelligente Geräte)
- Neben Computern, Smartphones oder Tablets fallen eine **Vielzahl** weiterer **Geräte** unter diese Begriffe
- Alle **Gegenstände**, die mit **einem Prozessor** und **Wi-Fi** oder z. B. einem **GPS-Sensor** versehen sind, können dem Internet of Things hinzugefügt werden
- Beispiel für **smarte Geräte** können sein: Kaffeemaschinen, Jalousien, Leuchten, Heizung, Alarmanlage, Multimediageräte usw.
- **Gesteuert** werden können diese **Entitäten** bequem via **Smartphone-App**
- **Intelligent** heißen diese Geräte, weil sie auf Informationen des Internets zugreifen und zum Teil auch nutzen können (z. B. eine Heizung greift auf den Wetterbericht im Internet zu und steuert dann die Raumtemperatur)



# Architektur des Internet of Things (IoT)

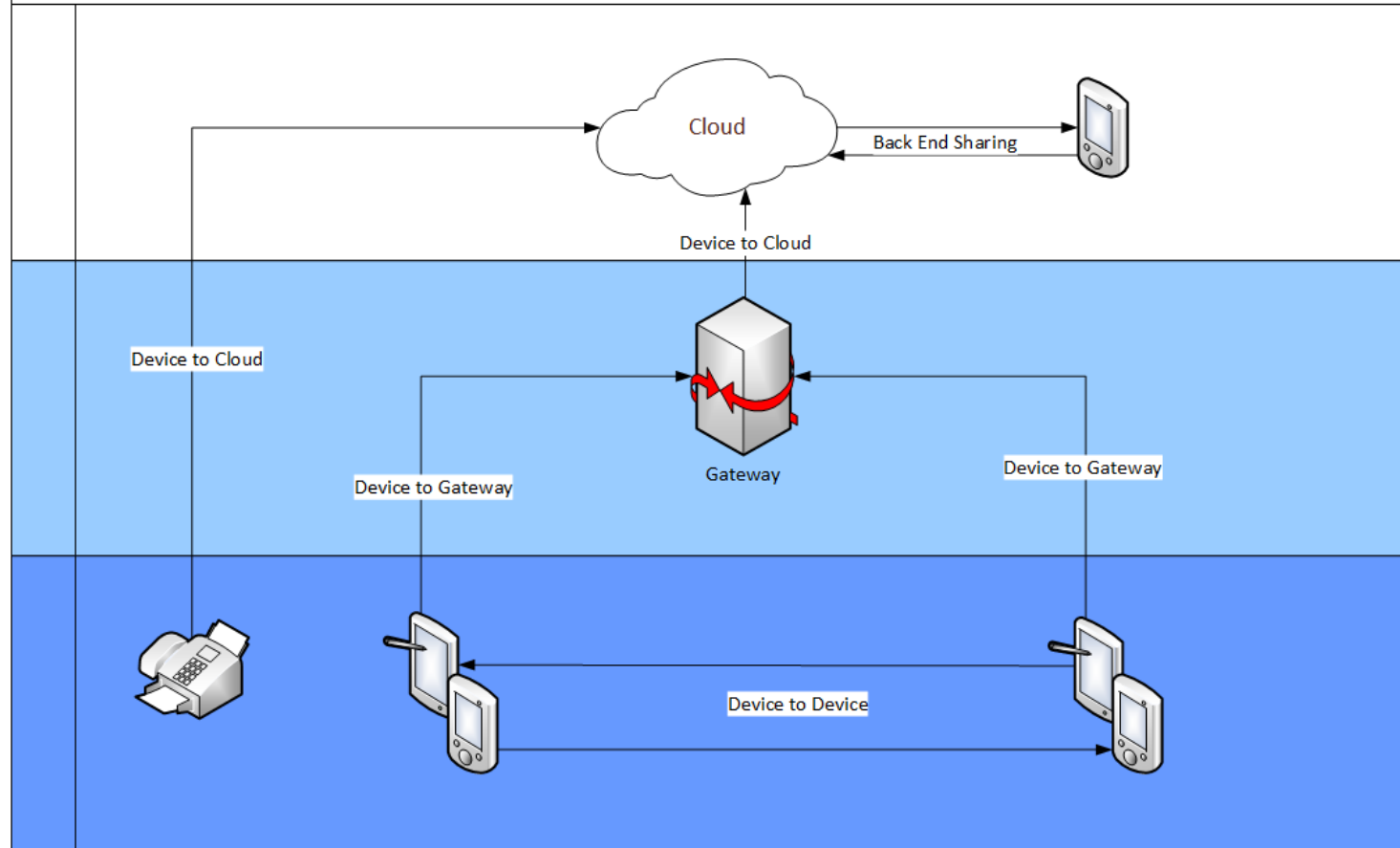
- **Application Layer** ist für die Verarbeitung, Aufbereitung, Konsolidierung und Speicherung der Informationen zuständig
- **Network Layer** ist für die Übertragung der von den Sensoren erhobenen Daten verantwortlich
- **Perception Layer** hat die Aufgabe, Informationen mithilfe von Sensoren zu sammeln



# Kommunikationsarten im Internet of Things

- **Back End Data Sharing**  
Kommunikation zwischen dem externen Speicherort (Cloud) und dem Benutzer
- **Device to Cloud**  
Daten für die Auswertung werden häufig in der Cloud gespeichert. Protokolle, z. B. HTTP, TLS, TCP, CoAP, IP, DTLS, UDP
- **Device to Gateway**  
Manche Geräte können keine direkte Verbindung zur Cloud herstellen (z. B. Fitnessarmbänder). Die Funktion des Gateways können unterschiedliche Geräte wahrnehmen
- **Device to Device:** (Machine to Machine)  
Informationen zwischen zwei Geräten werden ausgetauscht (M2M). Protokolle z. B. Bluetooth, MQTT und ZigBee

## 4 Kommunikationsarten werden im IoT unterschieden



# Chancen und Risiken Cyber-physischer Systeme

## Chancen (Opportunities)

---

- Generierung neuer **Geschäftspotenziale**
- Steigerung der **Effizienz** und **neues Wachstum**
- Ausbau von **Schnelligkeit, Flexibilität** und **Produktivität**
- Mehr **Individualisierung** in der Produktion (auch kleine Stückzahlen bleiben **rentabel**)
- Steigerung der **Kundenzufriedenheit**
- Strategische **Neuausrichtung**
- **Weiterentwicklung** der Produkt- und Servicepalette

## Risiken (Threats)

---

- Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit bei hohem **Reorganisations-** und **Investitionsdruck**
- Hohe **Investitionskosten**
- **Mangelnde Erfahrungswerte** und Bewertungskriterien
- Keine Referenzwerte für die **Kapitalrendite**
- **Hoher Grad der Ungewissheit** / Unsicherheit
- Ausfall **Kritischer Infrastruktur**<sup>\*)</sup> kann Auswirkungen auf Gesundheit und Sicherheit der Bevölkerung haben

# 7.8.2 Implementierung und systematische Funktionsprüfung

## Anwendungsgebiete von CPS

- **Medizin:** z. B. **intelligente OP-Räume**, intelligente medizinische Geräte, intelligente Medikation; für Strahlentherapien werden z. B. **Bildverarbeitungsalgorithmen** zur Erkennung des geschädigten Gewebes benötigt

Hierzu zählen auch **Lifestyle-Artikel** wie Smart Watches mit Pulsmesser oder Fitnessarmbänder oder **Telemedizin**; Überwachung der Gesundheit und Diagnose aus der Ferne

- **Produktion: Technologien**, die es erlauben, Prozesse anhand von Datenauswertungen zu steuern (**Augmented Reality, Touchscreens, Gesten und Sprachsteuerung**). Interaktion zwischen Mensch und Maschine, Analysesysteme und Ressourcen. Der **Mensch** agiert **als letzte Entscheidungsinstanz**

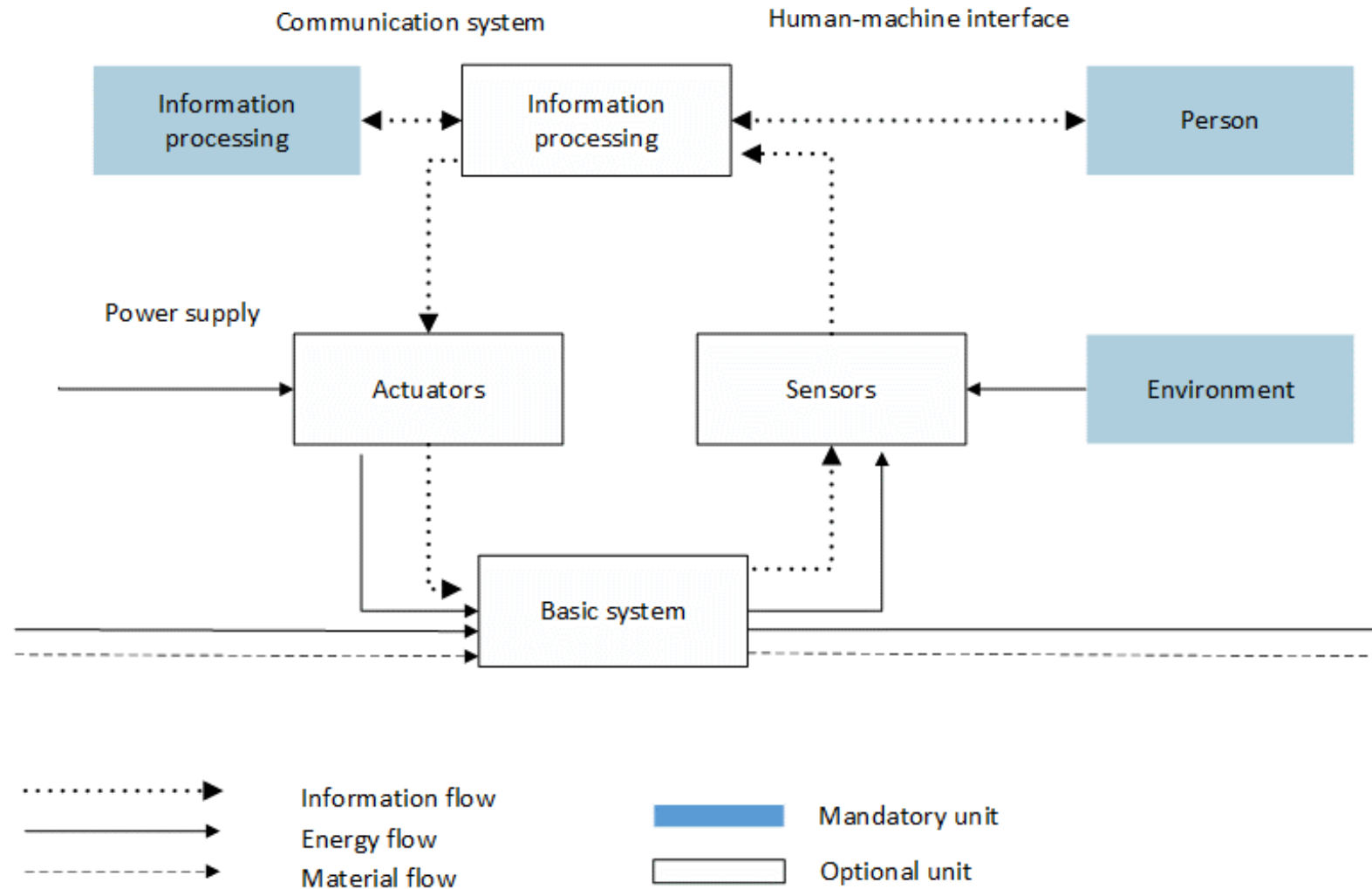
## Cyber-Physische-Produktionssysteme (CPPS)

# Was bedeutet Industrie 4.0?

- **Hybridisierung** von Produkten und Dienstleistungen durch **fortgeschrittene Automatisierung** und dadurch auch ermöglichte erhöhte **Individualisierung** ohne Mehraufwand
- **Robotisierung** und **Vernetzung** von Produkten z. B. in den Bereichen **Fahrzeug, Energie, Gesundheit**
- (Teil-) **Autonome Maschinen**, die nicht nur ausführen, sondern innerhalb von Parametern auch **selbständige Entscheidungen** treffen können
- Einbeziehen von immer mehr **Messobjekten** zur immer stärker vernetzter Automatisierung, Stichwort Internet of Things, **Dichte von Sensoren**
- Immer mehr **Einfluss der Maschinen** bzw. von deren Programmen auf **produktive Entscheidungsprozesse**



# Basic structure of a mechatronic system

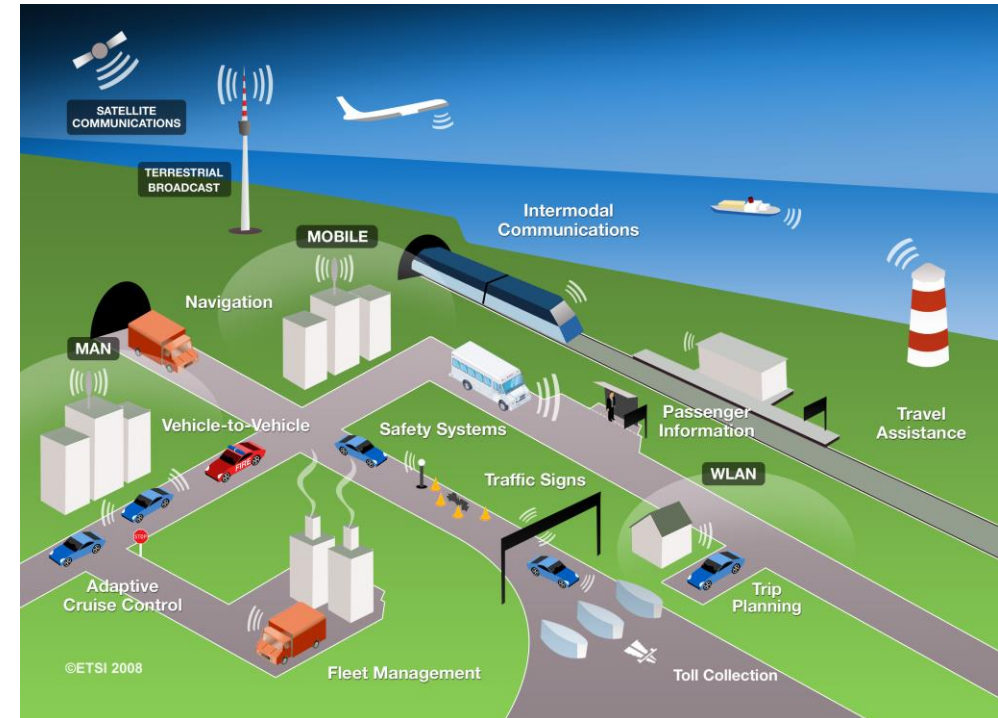


# Anwendungsgebiete von CPS

- **Smart Buildings** Gebäudeautomation umfasst sämtliche Überwachungs-, Steuerungs- und Regelungsfunktionen, z. B. Heizungssteuerung, **Zutrittskontrolle**, **Beleuchtungsregelung**, **Gebäudeüberwachung**, **Anwesenheitssimulation**, **Smart-Meter** (Stromzähler), Wärme-, Wasser-, Gaszähler
- **Smart Home** unter Smart Home versteht man die **Automation von Privathäusern**, für die Automation von Gebäuden gibt es zwei **wichtige Normen**:
  - DIN EN ISO 16484 System der Gebäudeautomation
  - DIN EN 15500 Automation von Heizung, Lüftung, Klimtechnik-Anwendungen

# Anwendungsgebiete von CPS

- **Intelligente Verkehrssysteme:** Konzepte für freie Transportwege, um so die Logistik von Waren und Gütertransporten zu optimieren
- **Intelligente Kreuzungen:** Flexible Kreuzungen, die den Verkehrsfluss möglichst effizient steuern, z. B. Ampel-Systeme, die erkennen, in welcher Straße viele Autos fahren und die Ampelphasen danach ausrichten
- **Autonomes Fahren:** selbststeuernde Autos, die sich ohne das Eingreifen eines Fahrzeuglenkers durch den Verkehr bewegen. Zu unterscheiden sind:
  - **Car to Car (C2C)** als Kommunikation zwischen Autos
  - **Car to Infrastructure (C2I)** Kommunikation zwischen Autos und Infrastruktur
  - **Car to X (C2X)** (<https://youtu.be/7VRmvEI2J1E9>)
- Autos, die diese Technik unterstützen, jedoch nicht autonom fahren, können auch als CPS bezeichnet werden
- Auch autonome(r) Schienenverkehr, Luftfahrt und Schifffahrt ist bereits in der Entwicklung



# Anforderungen an Cyber-physischen Systeme (CPS)



# Kompetenzcheck

- Gewichten und bewerten Sie die Vor- und Nachteile von Cyber-physischen Systemen. Sind sie eher Chancen oder Risiken?
- Was ist der Unterschied zwischen einem Cyber-physischen System und dem Internet of Things (IoT)?
- Beschreiben Sie, was unter der Systemanforderung Nachhaltigkeit zu verstehen ist. Benutzen Sie hierfür die Attribute:  
Anpassungsfähigkeit, Resilienz, Re-Konfigurierbarkeit und Effizienz
- Warum ist die Modularität eines CPS eine wichtige Eigenschaft?





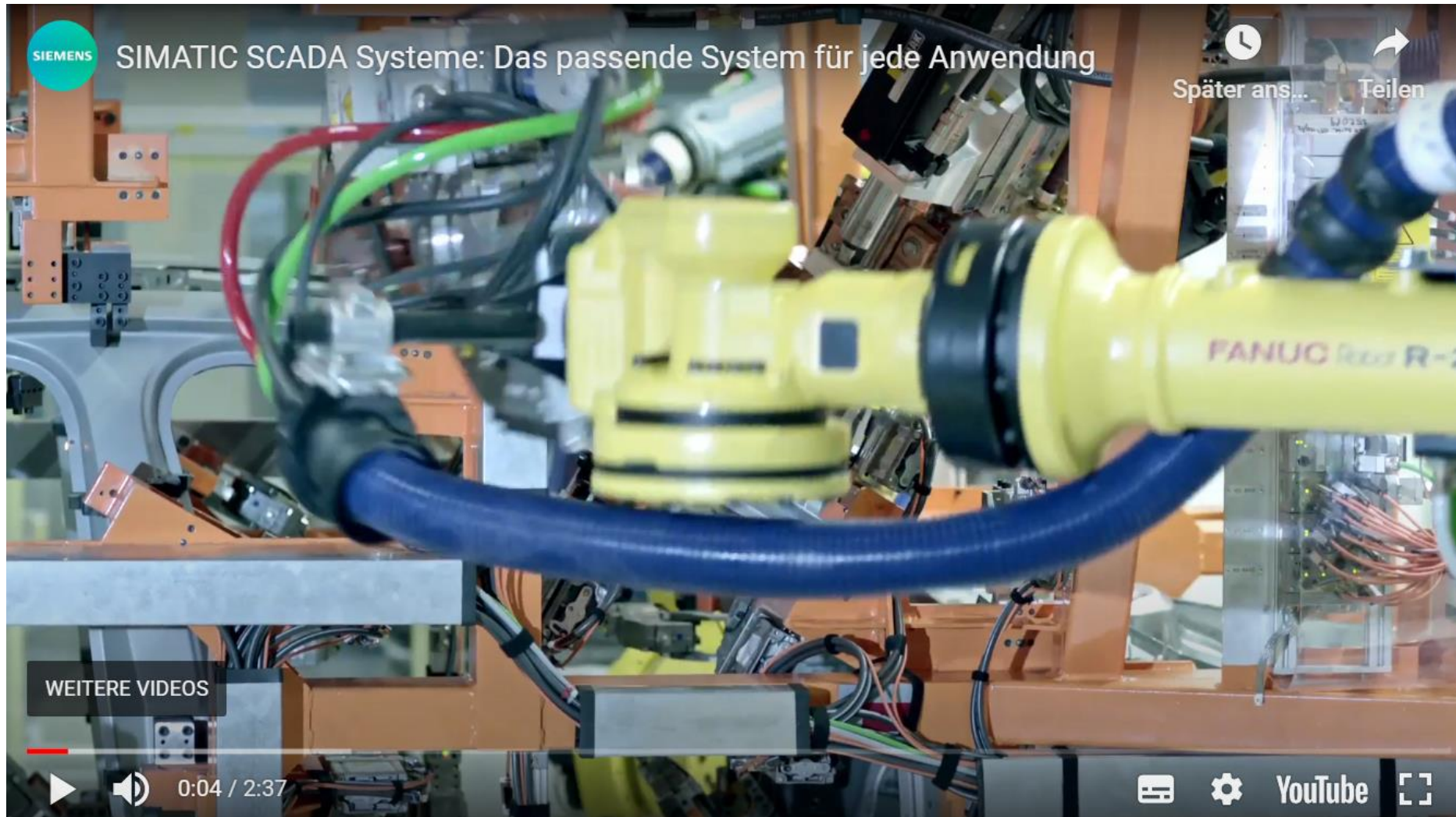
# Herausforderungen von Cyber-physischen Systemen

- **Vertrauensmanagement** wird aufgrund der Eigenheiten von CPS erforderlich. Nicht alle Sensoren und Geräte können zuverlässig gegen Angriffe gesichert werden (geografische Bedingungen, Sammeln von Daten in einem offenen System, usw.)
- Als Konsequenz daraus werden **Angriffsvektoren akzeptiert** und mögliche **Kompromittierungen** behandelt. Dazu dient das **Vertrauensmanagement**
- Das **System lernt** in der Folge vielfacher Messzyklen, welchem Sensor bzw. welchem Messergebnis es vertrauen kann (**Trustmanagement**). Liefert das Gerät zum vereinbarten Zeitpunkt zuverlässige Daten? Fällt es häufig aus oder liefert es Fehlmessungen?
- Solche Informationen werden in einem **Reputationssystem** gespeichert. Bei zuverlässiger Arbeitsweise werden die **Reputationswerte** der Geräte **erhöht**, bei fehlerhaften vermindert
- **Anomalieerkennung** Anomalien sind **Datenmuster**, die vom **Normalzustand** abweichen. Zur Erkennung muss zunächst ein Normalzustand definiert werden und die Vorgänge müssen aufgezeichnet werden
- Sogenannte **Maschinenlernverfahren** ermöglichen es einem CPS, den **Normalzustand** zu **erlernen** und Abweichungen festzustellen

## 7.8.3 Funktionsprüfung u. Messung physikalischer Betriebswerte

- Die automatisierten Systeme müssen auch automatisiert überwacht werden (**Monitoring / Überwachung**)
- **Messungen** erfolgen **über Sensoren**, die überall angebracht werden
- **Kontrollapplikationen** sorgen für **Optimierung** der Prozesse (OSI-Layer Schicht 2)
- Die **Steuerung** der Prozesse erfolgt auf OSI-Layer Schicht 3
- **Aktoren** sorgen für optimale Regulierung der Werte (OSI-Layer Schicht 1)
- Verschiedene **Komponenten** wie Sensoren, Transformatoren, Analysatoren und Zentrale arbeiten hierfür in einem **DCS (Distributed Control System)** zusammen
- Alle relevanten **Verarbeitungs-** und **Entscheidungsstellen** müssen (mittels **Sensoren**) implementiert sein
- Das ganze System heißt **SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)**

# SCADA



<https://youtu.be/NErnBKWdtFg>

## 7.8.3 Messung physikalischer Betriebswerte

**Messung** und Regulierung des automatischen Systems mit **SCADA-Komponenten**

- **Sensoren** an Maschinen, Transportmitteln und Transportwege
- **Remote Terminals**, die die Sensorwerte auslesen und in digitale Daten umwandeln
- Programmierbare logische Steuerung (**PLC, Programmable Logical Controller**), die **Sensorwerte** auswerten (**Analysatoren**) und nach Kontrolle auf höherer Ebene, veränderte Parameter wieder zurücksenden können, um Sensorwerte zu beeinflussen
- **Netzwerkverbindungen**, um alles in einer zentralen Kontrollstelle, einem **ICS-Server (Industrial Control System)** zu vereinen
- **H2M Schnittstelle** (Human-to-Machine), Möglichkeit die Ergebnisse auszuwerten, daraus Konsequenzen zu ziehen und die Parameter anzupassen

# Parameter – Physikalische Betriebswerte

- **Temperaturüberwachung** (z. B. Überhitzung in Grad Celsius)
- **Geschwindigkeitsüberwachung** (z. B. Upload-/Download – Geschwindigkeit, 100 Mbit / 20 Mbit)
- **Drucküberwachung** (Differenzdruck, mech. Druckmessung, elektrische Druckmessung, u. a.)
- **Gurtschiefelauf** (Antriebsriemen, Fördergurten, seitliche Bewegungen u. Ä.)
- **Füllstandsüberwachung** (z. B. Ölstand, sonstige Betriebsstoffe)
- **Zählerstandserfassung** (z. B. Wasserstand, sonstige Hilfsstoffe)
- **Elektrizität** (Verbrauch, elektrische Spannung, Stromstärke)
- **Übertragungswerte** (Frequenz, Netzauslastung, Bandbreite)
- **Luftmessungen** (Luftströmung, Luftfeuchtigkeit, Reinluft, Luftverschmutzung)
- **Erschütterungsmessungen**, Lärmpegelmessungen, usw.



# Kompetenzcheck

- Erläutern Sie, was unter Parametern physikalischer Betriebswerte zu verstehen ist. Nennen Sie Beispiele.
- Wie lautet die physikalische Formel für Druck? Welche unterschiedlichen Druck-Messverfahren kennen Sie? Beschreiben Sie mindestens zwei.
- Erläutern Sie bitte die Begriffe Schlafzyklus und Secure Wakeup.



## 7.8.4 Validieren des Energiebedarfs

- Ein Cyber-Physisches System besteht aus **vielen Einzelkomponenten** und Geräten, die alle Strom benötigen, deshalb spielt die **Energieversorgung** und der **Stromverbrauch** eine **wichtige Rolle**
- Alle eingesetzten Verfahren sollten deshalb **effizient, leichtgewichtig** und **ressourcensparend** sein, ohne deshalb an Qualität zu verlieren
- Auch die **Taktung** und die **Häufigkeit** der **Messungen** ist von entscheidender Bedeutung. Beispiel: Ein System führt jede Millisekunde eine Temperaturmessung aus und sendet die Ergebnisse an einen Aktor
- Eine wichtige Rolle spielen auch sogenannte **Schlafzyklen, Stand-by Modi** und **Secure Wakeup**

# Abbildungsverzeichnis und Lizenznachverfolgung

Bei allen Abbildungen handelt es sich um so genannte **Creativ Commons bis zur Lizenz CC BY-SA**. Diese Lizenz ermöglicht es Wiederbenutzern, das Material in jedem Medium oder Format zu verteilen, zu remixen, anzupassen und darauf aufzubauen, solange dem Ersteller eine Zuordnung gewährt wird. Diese Lizenz erlaubt auch die kommerzielle Nutzung.

- **Abb. Weltkarte;** "[Dieses Foto](#)" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY-SA](#)
- **Abb. Internet Symbol** "[Dieses Foto](#)" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY-SA](#)
- **Abb. SMART Home,** "[Dieses Foto](#)" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY-SA](#)
- **Abb. Smart Factory** „[Dieses Foto](#)" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY-SA](#)
- **Abb. Smart City;** [Dieses Foto](#)" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY-SA](#)
- **Abb. Smart Enviroment** "[Dieses Foto](#)" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY-SA](#)
- **Abb. Smart Wearables;** "[Dieses Foto](#)" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY](#)
- **Abb. Digitale Verkehrsknoten** „[Dieses Foto](#)" von Unbekannter Autor ist lizenziert gemäß [CC BY](#)

# Quellenangaben

- Lampesberger, Harald; Hermann, Eckehard; Kolmhofer, Robert: Sicherheit in der Industrie 4.0. IoT-Cloud-Cyber-Physische-Systeme. Schriftenreihe Recht und Informations-Technologie – Linz: Trauner-Verlag, 2017
- Kammermann, Markus: CompTIA Network+. Vorbereitung auf die Prüfung N10-007. 7. Auflage – Frechen, mitp-Verlag. 2018
- Broy, Manfred: Cyber-Physical Systems. Innovation durch Software-Intensive eingebettete Systeme. Achatec (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) diskutiert – München, Springer-Verlag. 2010
- Geisenberger Eva; Broy, Manfred: Agenda CPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Acatech Studie (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften). 2012

**Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit!**