

Domänenübergreifender Vergleich von Cyber-physischen Systemen

Hausarbeit Innovation Technology 2

Eingereicht von: Alexander Frankow
Afrankow.frankow@fau.de
Matrikelnummer: 21959000
Studiengang: Wirtschaftswissenschaften
Referentin: Prof. Dr. Kathrin M. Möslein
Betreuer/in: Max Jalowski
Bearbeitungszeit: 14.10.2019 bis 14.02.2020

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Innovation und Wertschöpfung
Lange Gasse 20, 90403 Nürnberg, www.wil.fau.de

Abstract

Cyber-physische Systeme stellen ein neues Paradigma dar, das zukünftig die physische und Cyberwelt verbindet. Sie bestehen in der Regel aus eingebetteten Sensoren und Aktoren und werden in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt. Im medizinischen Bereich vernetzen CPS Geräte, um eine qualitative Versorgung zu erreichen und Mitarbeiter in Krankenhäuser zu unterstützen. Des Weiteren können CPS in Stromnetzen verwendet werden, um eine effizientere Nutzung und eine sichere Energieversorgung zu gewährleisten. Damit sich Synergien mit der Verbindung beider Domänen ergeben, müssen die Themen Sicherheit, Interoperabilität und Datenschutz gewährleistet sein.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielstellung und Vorgehensweise	1
1.3 Aufbau der Arbeit.....	2
2 Theoretischer Hintergrund	3
2.1 Definition eines Cyber-physischen Systems	3
2.2 Beispielhafter Aufbau	4
2.3 Charakterisierung von Cyber-physischen Systemen.....	5
3 Anwendungsbereiche von Cyber-physischen Systemen	7
3.1 Cyber-physische Systeme im Smart Grid	7
3.2 Medizinische Cyber-physische Systeme im Gesundheitswesen	10
4 Chancen und Herausforderung	13
5 Domänenübergreifende Betrachtung	15
6 Fazit	16
Literaturverzeichnis.....	VII
Anhang	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abschließende Erklärung	XIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Eigene Darstellung eines einfachen cyber-physikalischen Systems in Anlehnung an Lee & Seshia (2017)	4
Abbildung 2 Eigene Darstellung eines Smart Grids Schema in Anlehnung an Panigrahi et al. (2019)	8
Abbildung 3 Architektur eines zukünftigen Operationssaals.....	12

Abkürzungsverzeichnis

CPS	Cyber-physisches System
SG	Smart Grid
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
PMU	Phasor measurement unit
IED	Intelligent electronic device
MCPS	Medizinische Cyber-physische Systeme
DoS	Denial of Service

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Wirtschaft eines Landes wird von verschiedensten Industrien und Branchen getragen. Ein Beispiel dafür ist die Fertigungsindustrie. Im Laufe der Jahrzehnte wurden viele wirtschaftliche Krisen und Hochphasen überstanden und veränderten die Industrie weiter. In Zeiten der Globalisierung und den immer besseren Informations- und Kommunikationssystemen konnten Unternehmen ihre Reichweite international verbessern. Zusätzlich verbessert der technologische Fortschritt Betriebsabläufe, steigert Gewinne und ermöglicht schnelleren Zugang zu Informationen. Heute scheint es selbstverständlich sich eine Welt vorzustellen, in denen Fabriken per Fernzugriff den Betriebsablauf verfolgen und optimieren können. Dennoch stehen Unternehmen vor aktuellen technologischen Herausforderungen. (Abrar et al., 2018) Um den erfolgreichen Einsatz von neuartigen Technologien zu gewähren, müssen Unternehmen sich umstrukturieren und den digitalen Wandel erfolgreich meistern. Es ist der Trend zu betrachten, dass Produkte "smart" werden, also in der Lage sind, sich zu vernetzen, Daten zu sammeln und miteinander austauschen. (Gentner & Schlaak, 2018) Zukünftig werden physische Elemente, Objekte und Strukturen mit Computersystemen verbunden sein. Damit können Anwendungen sowohl zeitlich, als auch raumunabhängig genutzt werden. Diese Systeme bezeichnet man als cyber-physische Systeme, da sich die Cyber- und physische Welt durch moderne Informationstechnik verbinden. So wie das Internet die Kommunikation und Interaktion zwischen Menschen veränderte, werden auch CPS die Art und Weise beeinflussen, wie Menschen mit ihrer Umgebung interagieren. (Lee & Seshia, 2017)

1.2 Zielstellung und Vorgehensweise

Ziel dieser Arbeit ist es den Entwicklungsstand und den domänenübergreifenden Einsatz von cyber-physischen Systemen zu erläutern. Zunächst werden die wesentlichen Kerninhalte von cyber-physischen Systemen dargestellt. Im Verlauf der Arbeit sollen Fachbegriffe für den Leser nachvollziehbar sein.

Diese Arbeit basiert auf der Methode der Literaturrecherche. Zu Beginn wurden Literaturdatenbanken wie Scopus, EBSCO Host, Google Scholar, Springer Link sowie die Universitätsbibliothek Erlangen-Nürnberg für Begriffserklärungen durchsucht. Dabei wurden zunächst Begriffe wie „Smart Cities“, „Cyber-physischen Systeme“, „Urbanisierung“, „MCPS“ durchsucht. Im weiteren Verlauf der Arbeit zeigten sich Fachbücher, Internetseiten und E-Journals zu Smart Cities ergiebig. Mit Hilfe der gefundenen Literatur konnten die jeweiligen Inhaltspunkte erläutert werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in sechs Kapitel untergliedert. Jedes Kapitel beginnt mit einem Überblick zu dessen Aufbau und Inhalt. Zudem sind Querverweise zwischen den Kapiteln vorhanden. Auf diese Weise soll dem Leser das weitere Vorgehen der Arbeit verdeutlicht werden. Nach dem einführenden Kapitel 1 werden die theoretischen Grundlagen erläutert. Dabei werden zunächst wichtige Begriffe über Cyber-physischen Systemen verdeutlicht.

Inhaltskapitel 3 bezieht sich genauer auf die Anwendungsbereiche von cyber-physischen Systemen. Dabei sind Begriffe wie „Smart Cities“, „Smart Grid“, sowie Konzepte und Modelle wichtig.

Im Anschluss werden die aktuellen Chancen und Herausforderungen von cyber-physischen Systemen beleuchtet. Eine abschließende Diskussion und Schlussbetrachtung der Ergebnisse runden diese Arbeit ab. Nicht im Fokus dieser Arbeit steht hingegen eine tiefgehende, detaillierte Betrachtung einzelner Technologien aus den Bereichen Internet of Things und CPS, da dies, aufgrund der Reichweite der beiden Konzepte, im Rahmen dieser Seminararbeit nicht abbildbar ist.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Definition eines Cyber-physischen Systems

Ein cyber-physisches System (CPS) beschreibt grundsätzlich eine Bandbreite an komplexen, physischen und multidisziplinären Systemen, die eingebettete Computertechnologien mit der realen Welt verbinden. Es gibt verschiedene Betrachtungen, wie diese Systeme verwendet werden. Die US-amerikanische Ansicht befasst sich tiefer mit der Verbindung zwischen der physischen Welt und dem eingebetteten System, während man sich in Europa mehr mit der Interaktion zwischen dem Cyberspace und menschlichen Faktoren beschäftigt. (Gomaa, 2018; Gunes et al., 2014)

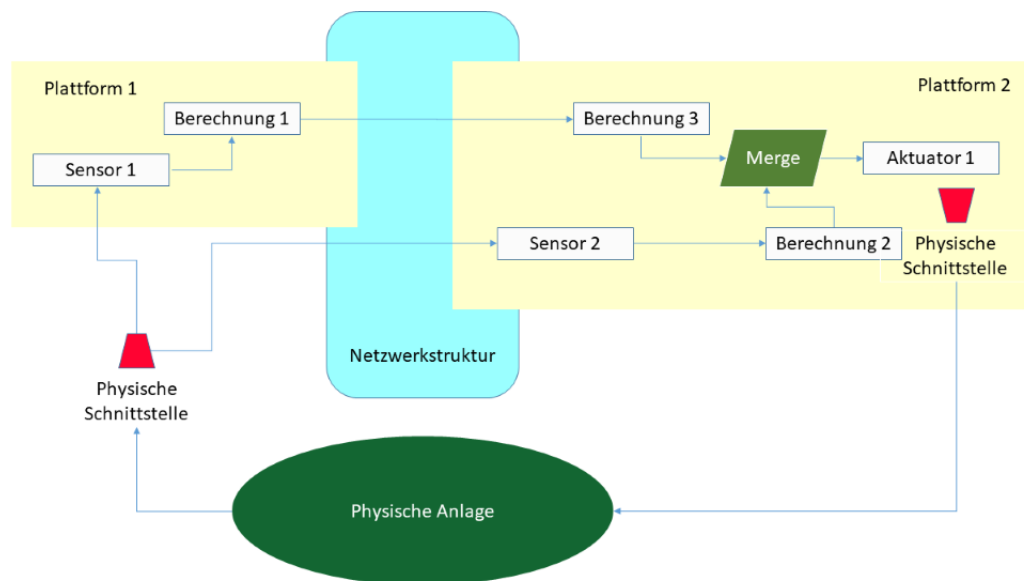
In China beziehen sich CPSs auf ein groß angelegtes, eingebettetes, hybrides komplexes System, das sich auf die Integration von Sensorik, Verarbeitung, Intelligenz und Steuerung als Ganzes konzentriert. Die letzten Jahre zeigten bedeutsame Fortschritte bei cyber-physischen Systemen. Der Entwicklungsprozess wird aktuell durch mehrere Trends vorangetrieben: kostengünstige und leistungsfähigere Sensoren, stromsparende und leistungsstärkere Computer und die stetige Verbesserung von drahtlosen Kommunikationsmöglichkeiten wie große Internetbandbreiten. (Gunes et al., 2014; Lee, 2006; Legatiuk et al., 2017)

Allgemein lässt sich sagen, dass ein CPS Computing mit physikalischen Prozessen verknüpft. Embedded Computer und Netzwerke überwachen und steuern die physikalischen Prozesse, in der Regel mit Feedbackschleifen, bei denen physikalische Prozesse die Berechnungen beeinflussen und umgekehrt. (Lee & Seshia, 2017)

Im Folgenden wird dies an einem beispielhaften Aufbau eines CPS erklärt.

2.2 Beispielhafter Aufbau

Abbildung 1: Eigene Darstellung eines einfachen cyber-physikalischen Systems in Anlehnung an Lee & Seshia (2017)



Quelle: (Lee & Seshia, 2017)

Die Skizze besteht aus drei Hauptteilen. Der physische Teil wird von Lee et al als Anlage bezeichnet, also der Teil des Systems, welcher nicht mit digitalen Netzwerken oder Computern umgesetzt wird. Dieser kann aus mechanischen Komponenten, biologisch, chemischen Prozessen und menschlicher Bedienung bestehen. Der zweite Teil der Skizze beschreibt eine oder mehrere Rechenplattformen, die aus Sensoren, Aktuatoren und Betriebssystemen bestehen. Als letzte Komponente gibt es eine Netzwerkstruktur, die die Kommunikation zwischen verschiedenen Akteuren ermöglicht. (Jamaludin & Rohani, 2018; Lee & Seshia, 2017)

In der Beispielskizze sind zwei Plattformen zu erkennen, die mit Sensoren und Aktuatoren ausgestattet sind. In der Abbildung zeigt sich, dass "Plattform 2" mittels den "Aktuator 1" die physische Anlage steuern kann und der "Sensor 2" die Prozesse der Anlage misst. Das Kästchen "Berechnung 2" filtert die Sensordaten und legt eine Kontrolle fest, welche Befehle die Stellglieder ausführen dürfen. Eine solche Schleife wird als Rückkopplungsregelkreis bezeichnet.

net. Während „Plattform 1“ weitere Messungen mit „Sensor 1“ durchführt, werden diese an „Plattform 2“ über die Netzwerkstruktur übermittelt. (Fitz et al., 2019; Lee & Seshia, 2017)

2.3 Charakterisierung von Cyber-physischen Systemen

Der Aufbau von cyber-physischen Systemen unterscheidet sich von klassischen Embedded Systems und Desktop Computern und erfordert ein Verständnis für unterschiedliche Aspekte des Aufbaus des Systems wie die Sicherheit und Zuverlässigkeit. Betrachtet man beispielsweise ein städtisches Verkehrssystem oder eine Industrieanlage, so sollten CPS so wenige Lücken wie möglich aufweisen, um nicht anfällig für Cyberangriffe zu sein. Im Folgenden werden einige Attribute und Gestaltungssätze genannt, die Unsicherheiten und Risiken minimieren sollen (Sanislav et al., 2019; Sciences, 2016; Weerakkody et al., 2019):

1. Sicherheit: Cyber-physische Systeme sind aufgrund ihres informationstechnischen Aufbaus anfällig für Cyberangriffe. Angesichts ihrer Größe und Komplexität ist es wichtig, dass Entwickler dieser Systeme mit Datenschutz und Cyber-security im Allgemeinen vertraut sind.
2. Enge Integration: Gerade große cyber-physische Systeme bestehen aus verschiedenen Komponenten von verschiedenen Anbietern. Damit das Potenzial richtig genutzt wird, ist es wichtig, dass zwischen den Komponenten und den Systemen aufeinander angepasst sind und sich dynamisch rekonfigurieren können. Damit das erreicht wird, müssen Kenntnisse für standardisierte Schnittstellen und Datenstandards vorhanden sein.
3. Benutzerfreundlichkeit: Um ein CPS erfolgreich zu gestalten, muss der menschliche Faktor mit in die Konzeption einbezogen werden. Das System muss das Verhalten und die Reaktion von Menschen berücksichtigen und für eine komfortable Interaktion zwischen Mensch und System aufweisen. Damit können CPS im Gesundheitswesen eingesetzt werden und das Wohlbefinden von kranken und alten Menschen unterstützen. Mehr dazu unter Punkt 3.2.

Laut der National Academy of Science sind diese Überlegungen und Architekturideen notwendig, um Unsicherheiten und absehbare Risiken zu reduzieren. Des Weiteren muss in den Bereichen die Bildung verbessert werden, um präventiv Cyberangriffe, schlechte Anwenderfreundlichkeit und fehlende Integration und Interoperabilität der Systeme zu vermeiden. (Sciences, 2016)

Die Erwartungen an Cyber-physische Systeme sind vielfältig und anspruchsvoll. Laut Monostori sollen CPS Fähigkeiten wie Robustheit auf allen Ebenen, Selbstwartungen, Echtzeitkontrollen, Ferndiagnosen und autonome Navigation aufweisen können. (Monostori, 2014; Wan et al., 2011)

3 Anwendungsbereiche von Cyber-physischen Systemen

Cyber-physische Systeme können durch ihre technologische Komponente vielfältig genutzt werden. Dabei können wie unter 1.1 schon erwähnt diese für verschiedene Verwendungsbereich genutzt werden, wie beispielsweise in *Smart Cities*. Der Nutzen zeigt sich nicht nur in „intelligenten Wirtschaftsräumen“, sondern auch in Produktionsstätten, in der Medizin oder in der Mobilität. Es gibt kaum Grenzen in der Anwendung und es kommen täglich neue Herausforderungen und Lösungskonzepte für Cyber-physische Systeme. Im Folgenden werden genauere Anwendungsbereiche von CPS beleuchtet.

3.1 Cyber-physische Systeme im Smart Grid

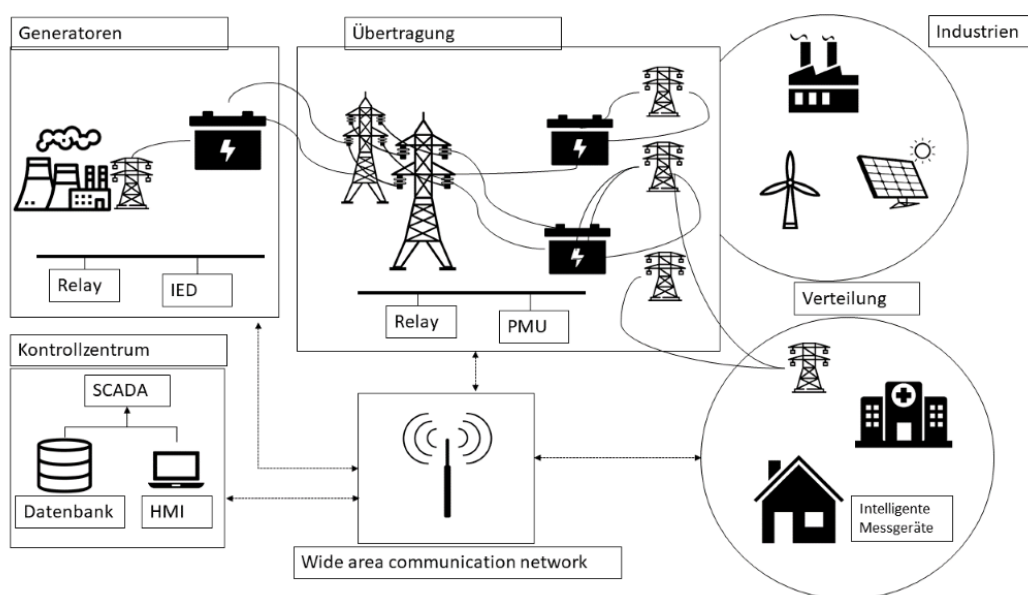
Die Welt steht vor einer beispiellosen Urbanisierung. Nach Angaben der Vereinten Nationen leben derzeit 55 Prozent der Weltbevölkerung in Städten, ein Prozentsatz, der bis 2050 voraussichtlich 66% erreichen wird. Dieser Anstieg würde sich auf 2,5 Milliarden Menschen belaufen, die zur städtischen Bevölkerung hinzukommen (United Nations Organisation, 2014). Es liegt auf der Hand, dass das Management und die langfristige Entwicklung von städtischen Gebieten zu einer der wichtigsten Herausforderungen unserer heutigen Gesellschaft geworden sind. Daher suchen die Städte nach Wegen, die ihren Bürgern eine nachhaltige, komfortable und wirtschaftlich tragfähige Zukunft sichern, indem sie "smart" werden. Laut Harrison erhöht die Vernetzung und das "smart" werden der Stadt den Komfort und die Lebensqualität für dessen Bewohner. (Harrison et al., 2010; Peris-Ortiz et al., 2017)

Eine Reihe von Sektoren werden dadurch angesprochen, wie z.B. Smart Transport, Smart Governance oder Smart Healthcare. Verschiedene Dienste tauschen dabei erfasste Daten untereinander aus und ermöglichen neue Serviceangebote. Um all dies zu ermöglichen, muss die Energieinfrastruktur gut ausgebaut sein. Smart Grids (SGs) integrieren Informations und Kommunikationstechnologien und andere Technologien in große Stromnetze, um die Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Nutzung von Energie effizienter, wirtschaftlicher und umweltfreundlicher zu gestalten. (Albino et al., 2015; Lesko & Gläser, 2016; Peris-Ortiz et al., 2017)

Es gibt verschiedene Ansichten wie Smart Grids definiert werden können. Das U.S. National Institute of Standards and Technology stellt ein konzeptionelles Model vor, dass sich mit der Übertragung, Verteilung, Kunden und Dienstleister beschäftigt. In Europa hingegen bezieht man sich bei Smart Grids eher auf die gesellschaftliche Beteiligung und die erfolgreiche Integration aller europäischer Länder (European Commission, 2006; U.S. Department of Energy, 2014; Yu & Xue, 2016).

Chinas Sichtweise ist ein physisch-netzwerkbasierter Ansatz, der die Energieversorgung zuverlässig und reaktionsschnell zur Verfügung stellen möchte. Stand heute legt die chinesische Regierung einen Fokus darauf, die Infrastrukturen zu verwenden und auszubauen, um sozioökonomische Vorteile zu erhalten. (Institute of Electrical and Electronics Engineers., 2013; Xu et al., 2014; Yu & Xue, 2016)

Abbildung 2 Eigene Darstellung eines Smart Grids Schema in Anlehnung an Panigrahi et al. (2019)



Quelle: (Panigrahi et al., 2019)

Herkömmliche Stromversorgungssysteme lassen sich grob in drei Kernbereiche unterteilen: Generatoren (Erzeugung), Übertragung und Verteilung. Die Kraftwerke liegen meist in abgelegenen Gebieten, die vom Endverbraucher weit entfernt sind. Um den Strom übertragen zu können, wird das Spannungs-

niveau durch Energietransformatoren erhöht. Des Weiteren ist der Kraftwerksstandort mit integrierten elektronischen Geräten (IEDs), Relais und Spannungsschaltern ausgestattet, um kritische Spannungserzeugungen zu kontrollieren. Durch das Übertragungsnetz wird der Strom weiter an die Verbraucher (Industrien, Haushalte, Krankenhäuser etc.) verteilt. (Panigrahi et al., 2019; Worighi et al., 2019)

Das Übertragungssystem ist zusätzlich mit Phasor-Messgräten (PMU) und Relais ausgestattet, welches zur Messung von Spannung, Strom und zur Überwachung der Stromversorgung genutzt wird. Messdaten können durch PMUs und IEDs erhoben werden und an die zugehörigen Kontrollzentren weitergeleitet werden. Mit der Integration der Kommunikationstechnik in konventionelle Energieversorgungssysteme wird dessen Betrieb transparenter.

SCADA-Systeme (Supervisory Control and Data Acquisition) empfangen die gemessenen Daten und ermöglichen eine Überwachung des Energiesystems. Zusätzlich werden Zustandsschätzer verwendet, um eine Momentaufnahme der Stromversorgung in Echtzeit zu erhalten.

Im Folgenden wird erläutert, wie Smart Grids wirtschaftliche Einsparungen ermöglichen. (Albino et al., 2015; de Wildt et al., 2019; Panigrahi et al., 2019)

Wasserversorgungsbetriebe sind eine der größten Energieverbraucher in einer Stadt. Einsparungen können durch Verringerung des Stromverbrauchs erzielt werden. Durch die Abstimmung mit Stromanbieter und die Verlagerung der Wasserförderung in die Randstunden/Nebenzeiten vermeiden Wasserversorger Stromkosten zu Spitzenzeiten. Des Weiteren ermöglicht man Stromanbietern auch damit weniger flexiblen Einrichtungen wie Krankenhäusern eine konstante Versorgung. Im gleichen Sinne können Züge langsamer angetrieben werden, dabei den Stromverbrauch reduzieren und gleichzeitig der Fahrplan einhalten. (Geisler, 2013; Zhao et al., 2019)

Smart Grids könnten auch unter extremen Bedingungen die Funktionen einer Smart City aufrechterhalten. Verkehrssysteme könnten mit Energiesystemen synchronisiert werden, um Verkehrsträgern wie Polizei oder Feuerwehr alternative Routen anzubieten, um schneller zu agieren. (Avancini et al., 2019; Karnouskos, 2011; Yu & Xue, 2016)

3.2 Medizinische Cyber-physische Systeme im Gesundheitswesen

Medizinische cyberphysikalische Systeme (MCPS) sind eine gesundheitsorientierte Verbindung eines Netzwerks von medizinischen Geräten. Diese werden zunehmend in Krankenhäusern eingesetzt, um eine durchgängige und qualitativ hochwertige Gesundheitsversorgung zu gewährleisten. (Dey, Ashour, Shi, et al., 2018)

Es gibt unterschiedliche Anwendungsszenarien für MCPS, darunter schmerzstillende Infusionspumpen, die Überwachung von Patienten und Implantationssensoren. Die Computerisierung verschiedener Medikamente und Medizinprodukte ermöglicht dabei die Echtzeit-Berechnungen auf Computersystemen. Diese Geräte können an Computernetzwerke angeschlossen werden und überwinden damit beispielsweise die räumlichen Barrieren während eines Monitoringprozesses. (Dey, Ashour, Shi, et al., 2018; Gunes et al., 2014; Huertas Celdrán et al., 2018b)

Diese medizintechnischen Geräte bestehen aus verschiedenen Sensoren, die die unterschiedlichen Körperbereiche erfassen und Patientendaten für den weiteren Gebrauch in Rechneranlagen zur Verarbeitung und diagnostischen Auswertung sammeln. Durch neue Fortschritte bei medizinischen Sensoren und Cloud-Computing ist das CPS ein Schlüsselement für verschiedene Anwendungen im Gesundheitsbereich, unter anderem für die private und klinische Behandlung. Durch diese Biosensoren werden wichtige patientenspezifische Informationen gesammelt, zu denen auch Gesundheitsangaben gehören. Die erfassten Daten werden dann über ein Wireless-Kommunikationsmedium an ein Gateway übertragen. (Dey, Ashour, Shi, et al., 2018; Sha et al., 2019; Tian et al., 2019; Zhang, n.d.)

Die gesammelten Daten sind für die Ärzte zugänglich und werden auf einem Server gespeichert. Bei Anwendungen im Gesundheitssektor sind daher besondere Vorkehrungen zur Sicherstellung des Datenschutzes bei der Konzeption der CPS-Architektur unabdingbar. (Dey, Ashour, Shi, et al., 2018; Sha et al., 2019; Zhang, n.d.)

Weiterhin erfordern Gesundheitsdienste Rechenressourcen für eine effiziente Entscheidungshilfe auf der Basis von Patienteninformationen. Dabei strebt

man im Bereich von medizinischen cyberphysikalischen Systemen den Einsatz von Cloud-Computing Technologien als Rückgrat von CPS Systemen an, um die Skalierung zu steigern und die Auswertung der Daten in Echtzeit zu ermöglichen. Die Forschung zu CPS im Gesundheitswesen steht hierbei noch am Anfang. Grundsätzlich möchte man mit CPS die Sammlung von patientenbezogenen Daten für eine effektive Entscheidungsfindung erleichtern. Die erhobenen Inputdaten umfassen zum einen aktive Daten, die beispielsweise Geschäftsunterlagen in digitaler Form und ein intelligentes Feedback-System enthalten. Zum anderen umfassen diese auch passive Inputdaten, zum Beispiel Biosensoren, die den Erhebungsprozess unterstützen können. Die Kombination aus Datenerfassung und Entscheidungsverfahren ermöglicht einen Überblick über die Anwendungen im Gesundheitswesen. (Dey, Ashour, Shi, et al., 2018; Ghani, 2019; Tian et al., 2019)

Der Einsatz von MPCs im Gesundheitswesen umfasst verschiedene Möglichkeiten. Zum einen entstehen neue Management-Konzepte für diese Systeme, zum anderen werden neue Fertigungsansätze für programmierbare Materialien, Body-Area-Netzwerken und implantierbare Geräte entwickelt.

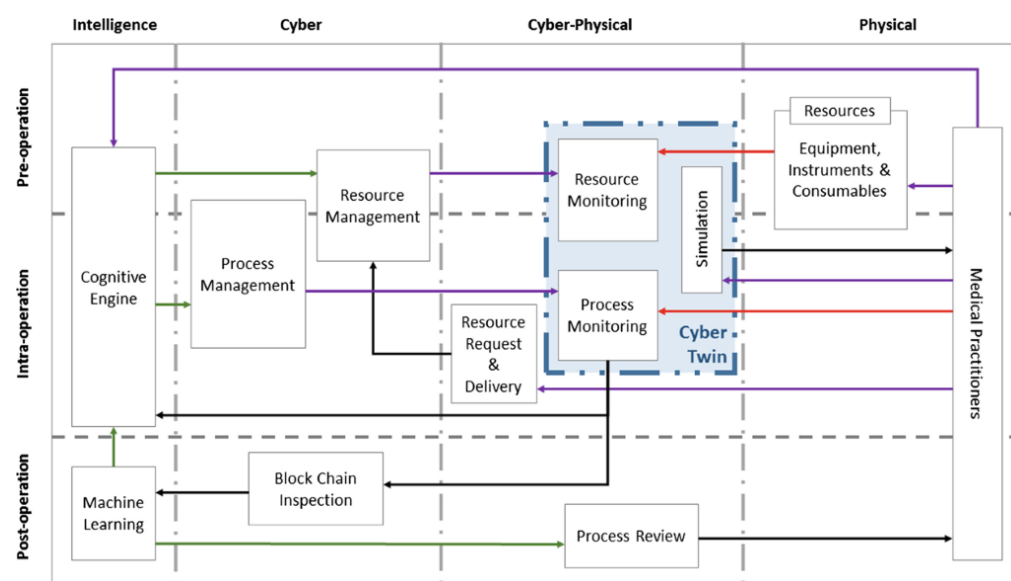
Ein zukünftiger Operationssaal könnte sich aus wie in der Abbildung XV aus intelligenten, cyberbasierten, cyber-physischen und physischen Schnittstellen und Komponenten zusammensetzen. Des Weiteren kann jeder Arbeitsablauf in Voroperation, Intraoperation und Nachoperation unterteilt werden. Im ersten Arbeitsschritt werden Operationspläne definiert, bei dem die benötigten Instrumente und Vorbereitungen getroffen werden. Dabei werden Ressourcen- und Prozessmanagementtools genutzt. Die Managementsysteme nutzen die Analyse der "Cognitive Engine" und die Informationen der verfügbaren Optionen aus, um Ressourcen und Verfahren auszuwählen, die während der Vor- und Intraoperationsphase zu ergreifen sind. Die intraoperative Phase beginnt meistens mit dem Einsatz eines Narkosemittels. (Liu et al., 2020; L. Zhou et al., 2019)

Währenddessen steuert das Ressourcenmanagementsystem das Monitoring System im Operationssaal, um die Instrumente zu überprüfen. Gleichzeitig

empfiehlt das Prozessmanagementsystem eine Liste geeigneter Vorschläge, die der Arzt optional auswählen kann. Beim Auftreten eines Notfalls kann man mittels Managementsysteme Ressourcen, wie Fachärzte, Instrumente oder Medikamente anfordern.

Die cyber-physische Schnittstelle schlägt die Brücke zwischen Software und der physischen Umgebung des Operationssaals. Hierbei stellt dies ein Interface dar, mit dem der Arzt interagiert. Zusätzlich können gestenbasierte oder biometrische Methoden eingesetzt werden, um Kontaminationsrisiken zu reduzieren und Ressourcenanforderungen zu erleichtern. Unmittelbar nach der Operation wird der Prozessablauf des Eingriffs überprüft und die Instrumente werden für die Sterilisation gekennzeichnet. (Liu et al., 2020; Meng et al., 2018; L. Zhou et al., 2019)

Abbildung 3 Architektur eines zukünftigen Operationssaals



Quelle: (L. Zhou et al., 2019)

Die Zusammenführung dieser unterschiedlichen Disziplinen bietet ein höheres Maß an Qualität und Sicherheit für medizinische Prozesse und minimiert menschliche Fehler. Damit wird eine bessere Patientensicherheit, Qualität der Versorgung, Kosteneffizienz und Unterstützung der Beschäftigten im Gesundheitswesen bei der Erfüllung ihrer kritischen Aufgaben erreicht. (Jezewski et al., 2016; Liu et al., 2020; Sha et al., 2019; T. Zhou et al., 2019)

4 Chancen und Herausforderung

CPS werden vielfältig im Gesundheitswesen genutzt und finden Anwendung in der Chirurgie, Remote Services und in der Verbesserung der medizinischen Behandlung. Neu aufkommende Anlagen und Geräte steuern dabei aktiv Prozesse und Funktionen. Durch die Integration von eingebetteten Computersystemen und Sensoren ermöglicht man, Prozesse und Funktionalität so zu gestalten, dass man im Vergleich zu passiven Systemen ein höheres Niveau an Funktionalität, Anpassungsfähigkeit und Effektivität erreicht. Dabei können CPS Informationen und Daten effizient über die Wirksamkeit der Behandlung, Feinabstimmung zu Prozesse und Verfahren verbessern. Sie können Echtzeitinformationen bereitstellen und ermöglichen die Behandlungen zu personalisieren. MCPS haben das Potenzial mittels nicht invasiver Techniken, die Kosten und Qualität von medizinischem Therapieren zu senken bzw. steigern. (Dey, Ashour, Shi, et al., 2018; Huertas Celdrán et al., 2018a; Meng et al., 2018; Tian et al., 2019; Törngren et al., 2017; T. Zhou et al., 2019)

Die Datenerfassung ist zwar für die stetige Verbesserung der Dienstleistungen im Gesundheitswesen unerlässlich, dennoch muss die Sicherheit und der Schutz der Privatsphäre und Daten gewährleistet sein. MCPS müssen gegen Cyberangriffe immun sein, da diese den Zugang zu körperbezogenen Daten bieten können. Diese Systeme müssen korrekt modelliert werden, um Störungen und Konstruktionsfehler zu vermeiden.

Die Zertifizierungen von wirksamen Behandlungen erfordert zukünftig immer strengere Vorschriften und längere klinische Studien, die erhebliche Auswirkungen auf Kosten und Investitionen haben. Betrachtet man den europäischen Markt, stellt man fest, dass die Regelungen nicht einheitlich sind, was zu Unsicherheiten und zusätzlichen Risiken in der Branche führen kann. (Cengarle et al., 2013; Dey, Ashour, Shi, et al., 2018; Ghani, 2019; T. Zhou et al., 2019)

Smart Grids ermöglichen eine bessere Beobachtung und Kontrolle des Energieversorgungsnetzes. Als Teil einer Smart City arbeiten Städte und Stromanbieter zusammen, um das Stromnetz reaktionsfähiger zu gestalten.

Verknüpft man die Infrastrukturen von Städten, Gebäuden, Industrien und Verbrauchern, ermöglicht man, mit fortschrittlichen Datenanalysen das Lastverhalten für den Stromverbrauch zu bestimmen und wirtschaftliche Entscheidungen zu verbessern. Es fördert zusätzlich Anreize für Wohn- und Industriesegmente an Programmen zur Energieeinsparung und Bedarfsdeckung teilzunehmen. (Jamaludin & Rohani, 2018; Karnouskos, 2011; Panigrahi et al., 2019)

Betrachtet man beispielsweise den Angriff auf das ukrainische Stromnetz am 23. Dezember 2015 lässt sich feststellen, dass man Smart Grids vor Cyberattacken schützen muss. Bei dem Vorfall kam es durch einen unerlaubten Zugriff auf Fernzugriffswerkzeuge zu einem Stromausfall bei rund 225.000 Kunden. Durch den Eintritt in das SCADA- und Kontrollzentrum konnten kritische Befehle und Angriffe durchgeführt werden. Das zwang den Systembetreiber in den Handbetrieb zu wechseln, um weitere Schäden zu verhindern. In Anbetracht der Lage müssen Stromanbieter in intelligente Sicherheitsinfrastruktur investieren. Das umfasst Verschlüsselungen, Authentifizierungen und digitale Signaturen. Damit sollen laut Panigrahi auch DoS Angriffe und das Einschleusen von bösartigen Codes verhindert werden. (Geisler, 2013; Gunes et al., 2014; Marksteiner et al., 2019; Panigrahi et al., 2019)

5 Domänenübergreifende Betrachtung

Die Entwicklungen der CPS in Smart Grids und MCPS können nicht isoliert in ökologischen, sozialen oder wirtschaftlichen Rahmenbedingungen betrachtet werden. CPS ermöglichen eine ganzheitliche Sicht, auf dem eine zunehmende Kooperation zwischen Systemen stattfindet. Damit dies reibungslos funktioniert, müssen domänenspezifische und domänenübergreifende Schnittstellen, Modellierungen und Architekturen aufeinander abgestimmt sein. Eine der größten Herausforderungen stellt hierbei die Interoperabilität dar. Um übergreifende Synergien nutzen zu können, müssen auch geschlossene Systeme geöffnet werden. Gerade bei personenbezogenen Daten in der Medizin sind besondere Vorkehrungen hinsichtlich des Datenschutzes und der Privatsphäre zu treffen. (E.V., 2011; Gunes et al., 2014)

Verbindet man die CPS des Smart Grids und eines cyber-physischen Operationssaals, können situationsabhängige Szenarien besser gelöst werden. Betrachtet man das Szenario eines medizinischen Notfalls werden die Vorteile deutlich. Das Smart Grid ist nicht nur in der Lage, effizient Strom an verschiedenen Akteure wie beispielsweise Industriewerke oder Wohnhäuser zu liefern, sondern kann Informationen mit Verkehrssystemen austauschen. Damit können die Routen in das nächstgelegene Krankenhaus optimiert werden. Gleichzeitig dazu wäre es möglich, dass Sanitäter bzw. der Krankenwagen weitere Informationen an das Ressourcenmanagementsystem des cyber-physischen Operationssaals senden. Eine schnellere und effektivere Notfallvorbereitung wäre hier denkbar. (Dey, Ashour, & Fong, 2018; E.V., 2011; Gunes et al., 2014; Yu & Xue, 2016)

6 Fazit

Ziel der Literaturübersicht zum Thema domänenübergreifender Vergleich des Einsatzes von cyber-physischen Systemen ist, die verfügbare Literatur zum Thema darzustellen und kritisch zu reflektieren. CPS stellen ein Konzept für die Integration zwischen der realen und Cyberwelt dar, die Sensoren, Controller und Software in eingebettetes System zusammenwirken lassen. Sie werden zukünftig großen Einfluss auf die Interaktion zwischen Menschen und der physischen Welt nehmen. Forschung und Praxis zeigen, dass es noch viel Verbesserungspotenzial gibt. Man setzt sie dabei in Smart Cities, der Medizin und Industrien ein. Es können Stromnetze, Verkehrssysteme, Operations- saale und Maschinen im produzierenden Gewerbe einfacher gesteuert und kontrolliert werden. Zusätzlich dazu entstehen neue Behandlungsmethoden, ein effizienteres Energiemanagement und Dienstleistungen. Da CPS durch ihre Anwendungsbreite komplex aufgebaut sein können, ist es wichtig, dass die Modellierungen, Algorithmenentwürfe und die Implementierung korrekt ausgearbeitet werden. Außerdem muss man sich mit Datenschutzbedenken und Sicherheitsfragen beschäftigen. Des Weiteren müssen globale Zusammenhänge und individuelle Rollen im Modellierungsprozess genauer beleuchtet werden.

CPS ist ein wachsender Trend in vielen Branchen. Dabei stehen viele Firmen vor neuen Herausforderungen. Aus der Literatur und der Praxis ist gut zu erkennen, dass man gerade erst am Anfang des Änderungsprozesses steht. CPS ist ein systematisches und komplexes Phänomen, das den Wandel in vielen Sektoren voranbringt. Die Grafiken und die Praxisbeispiele zeigen, dass weitere Forschung und Untersuchungen notwendig sind, um das komplette Potenzial für Unternehmen, Gesellschaft oder für Individuen auszuschöpfen. Es werden zukünftig neue Designansätze notwendig sein, um domänenübergreifende Systeme zu modellieren und die Gesamtauswirkungen auf die reale Welt zu verstehen.

7 Literaturverzeichnis

- Abrar, K., Rithu, T., & Preetha, D. (2018). *The Internet of Things: A technical primer*.
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
- Avancini, D. B., Rodrigues, J. J. P. C., Martins, S. G. B., Rabêlo, R. A. L., Al-Muhtadi, J., & Solic, P. (2019). Energy meters evolution in smart grids: A review. *Journal of Cleaner Production*, 217, 702–715. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.229>
- Cengarle, M. V., Bensalem, S., & Passerone, R. (2013). *CyPhERS Characteristics , capabilities , potential applications of Cyber-Physical Systems : a preliminary analysis*. <http://www.cyphers.eu/sites/default/files/D2.1.pdf>
- de Wildt, T. E., Chappin, E. J. L., van de Kaa, G., Herder, P. M., & van de Poel, I. R. (2019). Conflicting values in the smart electricity grid a comprehensive overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111(May), 184–196. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.005>
- Dey, N., Ashour, A. S., & Fong, S. J. (2018). Medical cyber-physical systems : A survey. *Journal of Medical Systems*, 1–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10916-018-0921-x>
- Dey, N., Ashour, A. S., Shi, F., Fong, S. J., & Tavares, J. M. R. S. (2018). Medical cyber-physical systems: A survey. *Journal of Medical Systems*, 42(4), 13. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0921-x>
- E.V., D. A. der T. (2011). *Cyber-Physical Systems Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion*. <https://www.acatech.de/publikation/cyber-physical-systems/>
- European Commission. (2006). Vision and Strategy for the Electricity Networks of the Future. In *Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-45120-1_1
- Fitz, T., Theiler, M., & Smarsly, K. (2019). A metamodel for cyber-physical systems. *Advanced Engineering Informatics*, 41(May), 15.

<https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100930>

Geisler, K. (2013). *The Relationship Between Smart Grids and Smart Cities*.
<http://smartgrid.ieee.org/may-2013/869-the-relationship-between-smart-grids-and-smart-cities>

Gentner, A., & Schlaak, T. (2018). *Deloitte Smart Home Studie 2018*.

Ghani, A. (2019). Healthcare electronics—A step closer to future smart cities. *ICT Express*, 5(4), 256–260. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2018.01.009>

Gomaa, W. (2018). *Cyber Physical Systems: Prospects and Challenges*.
<http://arxiv.org/abs/1802.05233>

Gunes, V., Peter, S., Givargis, T., & Vahid, F. (2014). A survey on concepts, applications, and challenges in cyber-physical systems. *KSI Transactions on Internet and Information Systems*, 8(12), 4242–4268.
<https://doi.org/10.3837/tiis.2014.12.001>

Harrison, C., Eckman, B., Hamilton, R., Hartswick, P., Kalagnanam, J., Paraszczak, J., & Williams, P. (2010). Foundations for Smarter Cities. *IBM Journal of Research and Development*, 54(4), 1–16.
<https://doi.org/10.1147/JRD.2010.2048257>

Huertas Celdrán, A., Gil Pérez, M., García Clemente, F. J., & Martínez Pérez, G. (2018a). Sustainable securing of Medical Cyber-Physical Systems for the healthcare of the future. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 19, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2018.02.010>

Huertas Celdrán, A., Gil Pérez, M., García Clemente, F. J., & Martínez Pérez, G. (2018b). Sustainable securing of Medical Cyber-Physical Systems for the healthcare of the future. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 19, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2018.02.010>

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2013). *Smart Grid Ieee Grid Vision 2050*.

Jamaludin, J., & Rohani, J. M. (2018). Cyber-Physical System (CPS): State of the Art. *2018 International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering (ICE Cube)*, 5.
https://www.researchgate.net/publication/330389785_Cyber-

Physical_System_CPS_State_of_the_Art

- Jezewski, J., Pawlak, A., Horoba, K., Wrobel, J., Czabanski, R., & Jezewski, M. (2016). Selected design issues of the medical cyber-physical system for telemonitoring pregnancy at home. *Microprocessors and Microsystems*, 46, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2016.07.005>
- Karnouskos, S. (2011). Cyber-physical systems in the SmartGrid. *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 20–23. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2011.6034829>
- Lee, E. A. (2006). *Cyber-Physical Systems - Are Computing Foundations Adequate?* Edward.
- Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2017). *Introduction to embedded systems : a cyber-physical systems approach*. The MIT Press.
- Legatiuk, D., Theiler, M., Dragos, K., & Smarsly, K. (2017). A categorical approach towards metamodeling cyber-physical systems. *Structural Health Monitoring 2017: Real-Time Material State Awareness and Data-Driven Safety Assurance - Proceedings of the 11th International Workshop on Structural Health Monitoring, IWSHM 2017, 1*, 537–544. <https://doi.org/10.12783/shm2017/13908>
- Lesko, P., & Gläser, N. (2016). *Smart City Applikationen für die Verbesserung der Luftqualität in deutschen Städten*. <http://docplayer.org/76820342-Smart-city-smart-city-applikationen-fuer-die-verbesserung-der-luftqualitaet-in-deutschen-staedten-beispiel-smart-parking.html>
- Liu, L., Xie, G., & Li, R. (2020). A local external coupling matrix solution and dynamic processing in medical cyber-physical cloud systems. *Journal of Systems Architecture*, 102(October 2019). <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2019.101678>
- Marksteiner, S., Vallant, H., & Nahrgang, K. (2019). Cyber security requirements engineering for low-voltage distribution smart grid architectures using threat modeling. *Journal of Information Security and Applications*, 49, 102389. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2019.102389>
- Meng, W., Li, W., Wang, Y., & Au, M. H. (2018). Detecting insider attacks in medical cyber-physical networks based on behavioral profiling. *Future Generation Computer Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.007>

- Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>
- Panigrahi, B. K., Joshi, A., Narayanan, S. N., & Khanna, K. (2019). Security in Smart Cyber-Physical Systems: A Case Study on Smart Grids and Smart Cars. In *Smart Cities Cybersecurity and Privacy* (pp. 147–163). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815032-0.00011-1>
- Peris-Ortiz, M., Bennet, D. R., & Pérez-Bustamante Yábar, D. (2017). *Sustainable Smart Cities Creating Spaces for Technological, Social and Business Development*. <http://www.springer.com/series/8124>
- Sanislav, T., Zeadally, S., Mois, G. D., & Fouchal, H. (2019). Reliability, failure detection and prevention in cyber-physical systems (CPSs) with agents. *Concurrency Computation*, 31(24), 4481. <https://doi.org/10.1002/cpe.4481>
- Sciences, N. A. of. (2016). *A 21st Century Cyber-Physical Systems Education*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/23686>
- Sha, K., Liang, X., & Li, W. (2019). Editorial: Special Issue on Security in Medical Cyber-Physical Systems. *Smart Health*, 12, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2018.11.003>
- Tian, S., Yang, W., Grange, J. M. Le, Wang, P., Huang, W., & Ye, Z. (2019). Smart healthcare: making medical care more intelligent. *Global Health Journal*, 3(3), 62–65. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2019.07.001>
- Törngren, M., Asplund, F., Bensalem, S., McDermid, J., Passerone, R., Pfeifer, H., Sangiovanni-Vincentelli, A., & Schätz, B. (2017). Characterization, Analysis, and Recommendations for Exploiting the Opportunities of Cyber-Physical Systems. *Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles and Applications*, 3–14. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803801-7.00001-8>
- U.S. Department of Energy. (2014). *The Future of the Grid Evolving to Meet America's Needs*. https://www.smartgrid.gov/files/Future_of_the_Grid_web_final_v2.pdf
- United Nations Organisation. (2014). *World's population increasingly urban with more than half living in urban areas*. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-urbanization->

prospects.html


- Wan, J., Yan, H., Suo, H., & Li, F. (2011). Advances in cyber-physical systems research. In *KSH Transactions on Internet and Information Systems* (Vol. 5, Issue 11, pp. 1891–1908). <https://doi.org/10.3837/tiis.2011.11.001>
- Weerakkody, S., Ozel, O., Mo, Y., & Sinopoli, B. (2019). Resilient control in cyber-physical systems. *Foundations and Trends in Systems and Control*, 7(1–2), 1–255. <https://doi.org/10.1561/26000000018>
- Worighi, I., Maach, A., Hafid, A., Hegazy, O., & Van Mierlo, J. (2019). Integrating renewable energy in smart grid system: Architecture, virtualization and analysis. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 18, 100226. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2019.100226>
- Xu, Z., Xue, Y., & Wong, K. P. (2014). Recent advancements on smart grids in China. *Electric Power Components and Systems*, 42(3–4), 251–261. <https://doi.org/10.1080/15325008.2013.862327>
- Yu, X., & Xue, Y. (2016). Smart Grids: A Cyber-Physical Systems Perspective. In *Proceedings of the IEEE* (Vol. 104, Issue 5, pp. 1058–1070). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2503119>
- Zhang, Z. (n.d.). *MedTech: Digital Health and Wearable Tech Course - FutureLearn*. Retrieved November 30, 2019, from <https://www.futurelearn.com/courses/medtech-digital-health>
- Zhao, H., Zheng, C., Džapo, H., Liu, S., Guo, Y., Gao, X., & Wu, T. (2019). A perspective on the applications of energy-cyber-physical systems (e-CPSs) in ultra-low emission coal-fired power plants. *Energy Procedia*, 158, 6139–6144. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.497>
- Zhou, L., Sarikaya, D., Mostafa, S., Stefanie, K., Malpani, A., Hashimoto, D., Habes, M., Löfstedt, T., Ritter, K., Wang, H., & Goos, G. (2019). *OR 2.0 Context-Aware Operating Theaters and Machine Learning in Clinical Neuroimaging*. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-32695-1>
- Zhou, T., Ruan, S., & Canu, S. (2019). A review: Deep learning for medical image segmentation using multi-modality fusion. *Array*, 3–4, 100004.

<https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100004>

Abschließende Erklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat und von dieser als Teil einer Prüfungsleistung angenommen wurde. Alle Ausführungen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

Nürnberg, den 13.02.2020



Alexander Frankow