

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Deutsch-Chinesische Kooperation zur intelligenten Fertigung (Industrie 4.0) und Smart Services (DEU-CHN_InFe)

Projekträger: Karlsruher Institut für Technologie
Förderkennzeichen: 02P17X030

F&E-Bericht:
Forschung zu Intelligent Cloud Manufacturing Service und Pilot Smart Factory
„CaMPuS“

Zeitraum: 01.07.2018 – 31.03.2021

Antragsteller:



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Technische Universität Darmstadt

Karolinenplatz 5
64289 Darmstadt

Projektpartner:



**Institut für Produktionsmanagement,
Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)**
(Projektleitung)



**Fachgebiet
Datenverarbeitung in der Konstruktion**

Chinesische Partner:



CASICloud-Tech Co., Ltd



**Instrumentation Technology and Economy
Institute (ITEI)**

Deutscher Partner:



GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Inhalt

1. Motivation und Zielstellung	3
2. Vorgehensweise	4
3. Beteiligte Partner	5
4. Ergebnisse in der Übersicht: Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens	7
5. Erzielte Ergebnisse im Detail	10
5.1. Wertstromvision und Bedarfsanalyse in China.....	10
5.2. Konzeption und Aufbau der Lernfabrikmodule	14
5.3. Informationstechnische Infrastruktur und Architektur	19
5.3.1 Ausbau der Konnektivität und Kommunikation der Lernfabrikumgebung	22
5.3.2 Informationstechnische Integration zum Cloud Ökosystem	31
5.4. Produktionsprozess der Lernfabrikumgebung.....	35
5.5. Entwicklung und Umsetzung des didaktischen Konzepts	37
5.6. Transfer der Ergebnisse	40
6. Fazit	44
7. Literaturverzeichnis	45

Veröffentlicht unter CC-BY 4.0 International

<https://creativecommons.org/licenses>

1. Motivation und Zielstellung

Als Folge der Globalisierung verteilen sich Kunden- und Lieferantenstandorte in einem komplexen Netzwerk über mehrere Kontinente. Individuelle Standortvorteile – insbesondere durch das starke wirtschaftliche Wachstum sowie Kostenvorteilen – haben zahlreiche deutsche Unternehmen motiviert, Produktionsstandorte nach China zu verlagern. Diese vernetzten Produktionsabläufe erfordern häufig eine enge Abstimmung zwischen den einzelnen Standorten. Cloud-Technologie bietet hierzu neue Möglichkeiten.

Zudem stehen Unternehmen vor der Herausforderung variantenreiche oder kundenindividuelle Produkte in kurzer Durchlaufzeit zu angemessenen Preisen zu liefern. Dazu werden Methoden der Prozessoptimierung sowie vermehrt Industrie 4.0-Technologien eingesetzt. Werkerassistenzsysteme bieten dem Mitarbeiter verschiedene Hilfestellungen, wodurch die variantenreiche und kundenindividuelle Produktion ermöglicht wird. Grundvoraussetzungen hierfür stellt die Bauteilrückverfolgbarkeit (Traceability) dar.

Durch die Digitalisierung der Wertschöpfungsprozesse steigen die Möglichkeiten der länderübergreifenden Vernetzung, aber auch die Komplexität der Produktionsprozesse. Deutsche Unternehmen mit Auslandsstandorten, beispielsweise in China, stehen vor der Aufgabe, ihre Mitarbeiter mit den – zur Beherrschung der Komplexität – notwendigen neuartigen Kompetenzen auszustatten. Vor allem ein ganzheitliches Prozessverständnis sowie die Fähigkeit neue Technologien, wie z.B. Cloud-Technologien, nutzenorientiert anzuwenden, werden zukünftig erfolgsentscheidend sein. Diese notwendigen Kompetenzen sind vermehrt aus verschiedenen Fachrichtungen zu erwerben und damit nicht rein theoretisch zu vermitteln. Realitätsnahe Lernumgebungen können den Kompetenzaufbau unterstützen.

Daher war es das Ziel des Projektes eine prototypische, physische Lern- und Innovationsumgebung zu entwickeln. An dieser können durch Digitalisierung die notwendigen Kompetenzen zur Analyse und Verbesserung von Produktionssystemen erworben werden.

Im Fokus stehen die Anwendungsfälle Cloud Manufacturing Services, Bauteilnachverfolgbarkeit (Traceability) und Werkerassistenzsysteme (WAS). Die Besonderheit der Lernumgebung liegt dabei in der internationalen Vernetzung aller Partner. Voraussetzung für den Aufbau der Lernumgebung ist die vorherige Erfassung des Kompetenzbedarfs der Mitarbeiter in Bezug auf den Einsatz der genannten Technologien.

2. Vorgehensweise

Zunächst wurde der aktuelle Digitalisierungsstand der Fertigung sowie der Kompetenzbedarf bei den Mitarbeitern in ausgewählten chinesischen Unternehmen erfasst. Anschließend wurden Konzepte entwickelt, wie die identifizierten Kompetenzbedarfe mithilfe von realen Lernumgebungen vermittelt werden können.

Auf dieser Basis sind drei Lernfabrikmodule in Form physischer, mobiler Demonstratoren zur Darstellung der definierten Anwendungsfälle entwickelt, aufgebaut und mit der erforderlichen Software ausgestattet worden. Die so entstandenen Lernfabrikmodule sind über Cloud Services weltweit vernetzt. Dazu wurde jeweils eine Lernfabrikumgebung an der TU Darmstadt sowie bei den Projektpartnern in China aufgebaut, erprobt und im Anschluss für Schulungen und Demonstrationen genutzt.

Anhand von erstellten Leitfäden zum Aufbau der Lernfabrikmodule und Durchführung der Schulungen können die Module in allen Standorten eigenständig betrieben werden. Aufgrund der Coronapandemie wurden die Schulungen als hybride Lerneinheit konzipiert und umgesetzt. Theoretisches Wissen wird im Selbststudium erlernt. Anschließend folgen Praxisübungen an den Lernfabrikmodulen, die an einem Tag in Kleingruppen von 3-5 Personen eigenständig, also auch ohne Trainer, mit den umfassenden Lernunterlagen durchgeführt werden können.

3. Beteiligte Partner

In das Projekt brachten zwei Institute der TU Darmstadt, Datenverarbeitung in der Konstruktion (DiK) und Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW), Festo Didactic und die chinesischen Partner CASICloud und das ITEI ihre Vorerfahrungen ein.

Das Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (**PTW**) zählt zu den führenden produktionstechnischen Forschungseinrichtungen. Aktuell forscht das Institut mit ca. 60 Wissenschaftlichen MitarbeiterInnen in technologischen und organisationalen Schwerpunkten entlang der Wertschöpfungskette. Es betreibt als Pionier seit dem Jahr 2007 die Prozesslernfabrik CiP. Die Prozesslernfabrik CiP ist ein innovatives Aus- und Weiterbildungszentrum, in dem seit Mai 2007 die wichtigsten Methoden zur Gestaltung effizienter Produktionsprozesse vermittelt werden. Die praxisorientierten Schulungen erfolgen anhand der kompletten Wertschöpfungskette eines Unternehmens, die mit Wareneingang des Rohmaterials beginnt und bis zum Versandprozess der Fertigwaren reicht. Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit vielseitigen Fragestellungen im Kontext der schlanken Produktion. Dabei gewinnt das Thema der Digitalisierung von Produktionsprozessen zunehmend an Bedeutung und diverse Industrie 4.0 Use Cases sind bereits in der Prozesslernfabrik umgesetzt.

Das Fachgebiet für Datenverarbeitung in der Konstruktion (**DiK**) der TU Darmstadt (mit 20 MitarbeiterInnen) ist wie das PTW ebenfalls Teil des Fachbereichs Maschinenbau. Zu den grundlegenden Zielen des Instituts gehört die Integration der Informationstechnologie als integraler Bestandteil des modernen Maschinenbaus und als Verbindung von Forschung und Lehre zu den industriellen Anforderungen. In der Forschung verbindet das DiK die vier Forschungsfelder „Informationsmodellierung“, „Virtuelle Produktentwicklung“, „Collaborative Engineering“ und „Digitale Fabrik“.

Festo Didactic ist ein führender Hersteller von Lernsystemen rund um die Automatisierung, Mechatronik und Produktionstechnik. Das Produktportfolio umfasst sowohl Lernsysteme zur Grundlagenausbildung in Elektronik, Fluidtechnik, Mechanik, Steuerungstechnik und Sensorik als auch Lernfabriken und Lernfabrikmodule, mit denen die Inbetriebnahme, der laufende Betrieb und die Optimierung von Produktionsanlagen erlernt werden kann. Das Produktangebot umfasst dabei immer die notwendige Trainingshardware und auch entsprechende Lernunterlagen sowie Lernsoftware.

CASICloud gehört zu den führenden Cloud Services-Anbieter in China. In den vergangenen Jahren hat CASICloud eine Plattform für Cloud Services entwickelt, welche die vernetzte Zusammenarbeit, vernetzte Ressourcenplanung sowie vernetzte Datenverwaltung fokussiert. Sie hat viele staatliche und privatwirtschaftliche Produktionsunternehmen an ihre Plattform angebunden, die Informationen Ihrer Produktionsumgebung an die Plattform versenden.

Das Instrumentation Technology and Economy Institute (**ITEI**) nimmt in China die Rolle eines staatlichen Forschungsinstituts mit dem Fokus auf Forschung für grundlegende zukunftsorientierte Technologien ein. Das Institut entwickelte und implementierte mehr als 300 nationale und industrielle Standards im Bereich Industrie und Automation.

4. Ergebnisse in der Übersicht:

Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens

Tabelle 1 zeigt den Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens in den bearbeiteten Dimensionen dieses Projektes: Den Industrie 4.0 Technologien WAS, Traceability und Cloud Manufacturing Services, den Kompetenzbedarfen zu deren Umsetzung in China und die Entwicklung von Lernfabrikmodulen zu deren Schulung.

Tabelle 1: Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens

Thema	Stand vor Beginn des Vorhabens	Stand zum Ende des Vorhabens
Industrie 4.- Technologien	Während der Beantragung unterlag der Begriff Industrie 4.0 einem Hype: Die Erwartungen an vernetzte Maschinen und Produkte sowie neue Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Systemen und Menschen waren sehr hoch. Insbesondere die Entwicklungen im Bereich der Cloud Manufacturing Services, WAS und Traceability versprachen neue Formen der Produktionsorganisation.	Der Hype ist erwartungsgemäß abgeflacht – und die Technologien, die ihren Mehrwert für konkrete Anwendungen zeigen konnten, setzten sich langsam durch. Die Erkenntnisse zu konkreten Potentialen und welche Probleme in der Produktion gelöst werden können, sind Teil der entwickelten Schulungsmodule.
Kompetenzbedarfe in China	Der Stand der Umsetzungen der Technologien und noch notwendigen Kompetenzbedarfen in chinesischen Unternehmen war unbekannt.	Im Projekt wurde der Reifegrad der Industrie 4.0 Umsetzungen an Unternehmen in China erhoben und die Kompetenzen daraus abgeleitet.
Kompetenzorientierte Gestaltung von Lernfabrikmodulen	Die notwendigen Kompetenzen zum Umgang mit diesen Technologien waren noch nicht identifiziert. Auch waren Lernfabriken, die sich mit Wertstromgestaltung beschäftigen, noch nicht auf dem technischen Stand zur Schulung der Inhalte. Lernmodule, die diese Technologien beinhalten, beziehen sich eher auf Details der Umsetzung und haben weniger den Fokus der Kompetenzentwicklung zum zielgerichteten Einsatz der Technologien.	Im Projekt ist eine Lernumgebung entstanden, die aktuelle Technologien zu WAS, Traceability und Cloud Manufacturing Services vereint und ein Schulungskonzept verfolgt, das nicht nur auf die Grundlagen der Technologien eingeht, sondern mit dem Teilnehmenden auch den Wert der Technologien in einem Wertstrom erfahren können.

Zu Beginn des Vorhabens wurden die Möglichkeiten durch neue Technologien zur Effizienzsteigerung in der Produktion stark diskutiert: Durch Industrie 4.0 (I4.0) soll die Produktion mit modernster Informations- und Kommunikationstechnologie verzahnt werden (BMBF 2013). Die Plattform I4.0 widmet sich der Forschung zum Thema Industrie 4.0 für die deutsche Wirtschaft und unterstützt die Realisierung dieser Vision. International werden ähnliche Zielsetzungen verfolgt: Bei der chinesischen Strategie „Made in China 2025“ sollen bis zum Jahr 2025 verschiedene Informationstechnologien in Produktionsumgebungen integriert werden. Außerdem sollen sich dadurch die chinesische Innovationskapazität und die Produktivität bis dahin verbessern (Lin T Y, 2016). Der Ansatz von Industrie 4.0 verspricht neue selbstoptimierende Organisationsformen führt und soll das effiziente und flexible Management kompletter Wertschöpfungsketten über den gesamten Produkt- und Maschinenlebenszyklus ermöglichen. Diese Lebenszyklen werden zunehmend durch individuelle Kundenanforderungen, Echtzeit-Optimierung der Prozesse und Ressourcen sowie der Produktion und Zusammenarbeit in Wertschöpfungsnetzwerken charakterisiert. Cloud-basierte Zusammenarbeit in Partnernetzwerken ermöglicht die Interoperabilität in Echtzeit unter verschiedenen Unternehmen (Kagermann, 2013). Die Einführung von I4.0-Konzepten wird über jegliche Bereiche und über die gesamte Wertschöpfungskette entscheidend sein für die europäische Industrie. Produzierende Unternehmen – vor allem KMU – stehen jedoch vor der Aufgabe Lösungen für diese technischen Herausforderungen von I4.0 zu finden. (Anderl 2015). Die Hauptgründe sind nach einer Befragung von 253 Unternehmen u.a. nach Meißner et al. (2017):

- h1 Fehlende Standards
- h2 ein niedriger Reifegrad der Technologien,
- h3 Mangel an Fachkräften und Know-How und

Grundvoraussetzung für die digitalisierte Produktion stellt die Bauteilrückverfolgbarkeit (*Traceability*) dar. Mit dieser können alle Daten und Informationen in der Produktion mit dem entsprechenden Bauteil verknüpft werden (Olsen & Borit, 2013). *Werkerassistenzsysteme* bieten darauf aufbauend viele Vorteile, da diese individuell anpassbar, echtzeitfähig und ortungsbasiert bei Fertigungs- oder Montageprozessen unterstützen und diese zielgerichtet mit den benötigten Informationen versorgen. Um die Vielzahl an anfallenden Daten in der Produktion standortübergreifend und effizient zu verarbeiten, werden *Cloud-Services* (auch: Cloud-Dienstleistungen) eingesetzt. Durch Cloud-Services benötigen Unternehmen keine kostenintensiven Hardware-Komponenten, da IT-Dienstleistungen über technische Schnittstellen, verfügbar sind. Allerdings existieren hierfür noch keine ausreichenden Standards (siehe h1). Außerdem sollten diese Technologien – den befragten Unternehmen nach – weiterentwickelt werden (siehe h2). Das Projekt hat dazu beigetragen die technische Reife insbesondere on Cloud Services weiterzuentwickeln.

Doch nicht nur nicht nur technische Herausforderungen verlangsamten die breite Einführung von Industrie 4.0 Technologien. Es werden auch neue Kompetenzen benötigt bezüglich des Mangels an

Fachkräften und Know-How (siehe h3). Es wird davon ausgegangen, dass die Kompetenz der Mitarbeiter die wichtigste Unternehmensressource ist, um durch schnellere unternehmerische Lernprozesse und Anpassungen Wettbewerbsvorteile zu erringen (Barney, 1991). Daher stellt die Kompetenzentwicklung der MitarbeiterInnen eine wichtige Aufgabe für die zukunftsorientierte Produktion dar, da durch Kompetenzen Problemlösungsfähigkeiten und kontinuierliche Verbesserung der gesamten Wertschöpfungskette ermöglicht werden (Abele et al, 2011). Zur Kompetenzentwicklung muss jedoch die Ausgangssituation und die Zielstellung definiert sein. Für Industrie 4.0 Technologien, insbesondere in China, war beides unbekannt. Durch Unternehmensbesuch in China konnten der Ist-Stand aufgenommen werden und aus der Vision in Industrie 4.0 wurden die notwendigen Kompetenzen abgeleitet. Dadurch wurden die Kompetenzen, die für eine breite Anwendung der Anwendungsfälle WAS, Traceability und Cloud Services notwendig sind, erstmalig aufgenommen. Diese bilden die Basis für die Konzeption von Schulungen.

Um produktionstechnische Selbstlernprozesse zu initiieren, hat sich das Konzept von „Lernfabriken“ etabliert. Lernfabriken stellen Produktionsumgebungen dar, deren Zweck jedoch nicht die Herstellung von Produkten ist, sondern in denen Lernen in einem realistischen Umfeld ermöglicht wird. Durch diesen im Mittelpunkt stehenden aktionsorientierten Ansatz fördert das Konzept von Lernfabriken die Selbstlernprozesse der Teilnehmer in produktionstechnischen Lernumgebungen. (Tisch et al, 2013). Für die Kompetenzen zur Umsetzung von Industrie 4.0 - Technologien waren keine Lernfabrik- oder Schulungsmodule verfügbar. Im Projekt wurden Lernfabrikmodule weiterentwickelt um nicht nur technische Weiterbildung zu fördern, sondern die Teilnehmenden auch den Wert der betrachteten Technologien im Wertstrom erfahrbar zu machen.

5. Erzielte Ergebnisse im Detail

5.1. Wertstromvision und Bedarfsanalyse in China

Zunächst wird eine **Wertstromvision** ausformuliert. In dieser soll eine IT-Infrastruktur geschaffen werden, die durch Cloud-Computing und mobile Applikationen im Produktions- und Informationstechnikkontext eingesetzt werden kann. Dadurch werden Produktionsprozesse effizienter und flexibler gestaltet. Dabei wird die vertikale und horizontale Integration der einzelnen Maschinen und Systeme ermöglicht. Anhand der Wertstromvision konnten innerhalb des Projektverlaufs Soll-Kompetenzen abgeleitet werden, indem eine Methodik zur Ableitung von Industrie 4.0-Kompetenzen entwickelt wurde. Nach einer Analyse des aktuellen Digitalisierungsstands wurden Zielzustände in Abhängigkeit der Industrie 4.0-Kompetenzen definiert.

Competence Area	#	Sub-Competence Area	Weight	Engineer							
				Non	Remember	Understand	Apply	Analyse	Evaluate	Create	
Traceability	1.1	Benefits of Traceability	3,00	1		3	1				
	1.2	Functional areas in the company	3,00	1		2	1		1		
	1.3	Environmental impact	2,80	1		3	1				
	1.4	Influence on professions	2,40	2		3					
	1.5	Basic technologies	2,60	2		1	2				
	1.6	Functionality of Traceability	2,60	2		1	2				
	1.7	Technical Components	2,60	2			2	1			
	1.8	Areas of application of the technical components	2,40	2		1	2				
	1.9	Integration into existing structures	3,00	2			2		1		
	1.10	Implementation of traceability	3,00	2			2				1
	1.11	Complexity of integration	2,80	2		1			2		
Worker Assistance Systems	2.1	Benefits of WAS	1,00	5							
	2.2	Functional Areas in the company	1,00	5							
	2.3	Environmental impacts	1,00	5							
	2.4	Influence on professions	1,00	5							
	2.5	Basic technologies	1,00	5							
	2.6	Functionality of WAS	1,20	4		1					
	2.7	Technical Components	1,20	4		1					
	2.8	Areas of application of the technical components	1,00	5							
	2.9	Integration into existing structures	1,00	5							
	2.10	Implementation of WAS	1,20	4		1					
	2.11	Complexity of integration	1,00	5							
Cloud Services	3.1	Benefits of Cloud Services	2,40	2	1	1				1	
	3.2	Analysis of Potential/Benefits in company	2,00	3		1				1	
	3.3	Decision regarding introduction of Cloud Services	1,20	3		2					
	3.4	Functional areas in the company	2,20	3			2				
	3.5	Impact on processes in company	2,40	2	1	1	1				
	3.6	Environmental impact	2,20	3		1				1	
	3.7	Affected professions	1,80	4						1	
	3.8	Impact on different professions	1,80	4						1	
	3.9	Decision regarding training	1,00	4		1					
	3.10	Area which Cloud Services belong to	1,80	4						1	
	3.11	Basic technologies	2,00	3	1					1	
	3.12	Components of Cloud Services	2,00	3	1					1	
	3.13	Integration into existing structures	2,00	3		1					1
	3.14	Potential problems	2,40	2		2				1	
	3.15	Complexity of integration	2,40	3		2					

Abbildung 1: Kompetenzbereiche Traceability, Werkerassistenz und Cloud Services

Der **aktuelle Digitalisierungsstand** wurde in fünf chinesischen Unternehmen ermittelt. Neben einem Kick-Off mit den chinesischen Projektpartnern CASICloud und ITEI konnten zwei Unternehmen von CASIC aus der Luft- und Raumfahrtbranche sowie drei weitere Unternehmen aus den Branchen Hardware, Verpackungsmaterialien und Metallbearbeitung analysiert werden. Dazu wurden Analysemethoden und Checklisten (Abbildung 1) sowie Methoden des VDMA-Leitfadens für Industrie 4.0 (Abbildung 2) genutzt (Anderl et al, 2015). Zusätzlich sind neue Geschäftsmodelle mittels des Werkzeugkastens neue Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 erörtert sowie analysiert worden (Wang et al, 2018).

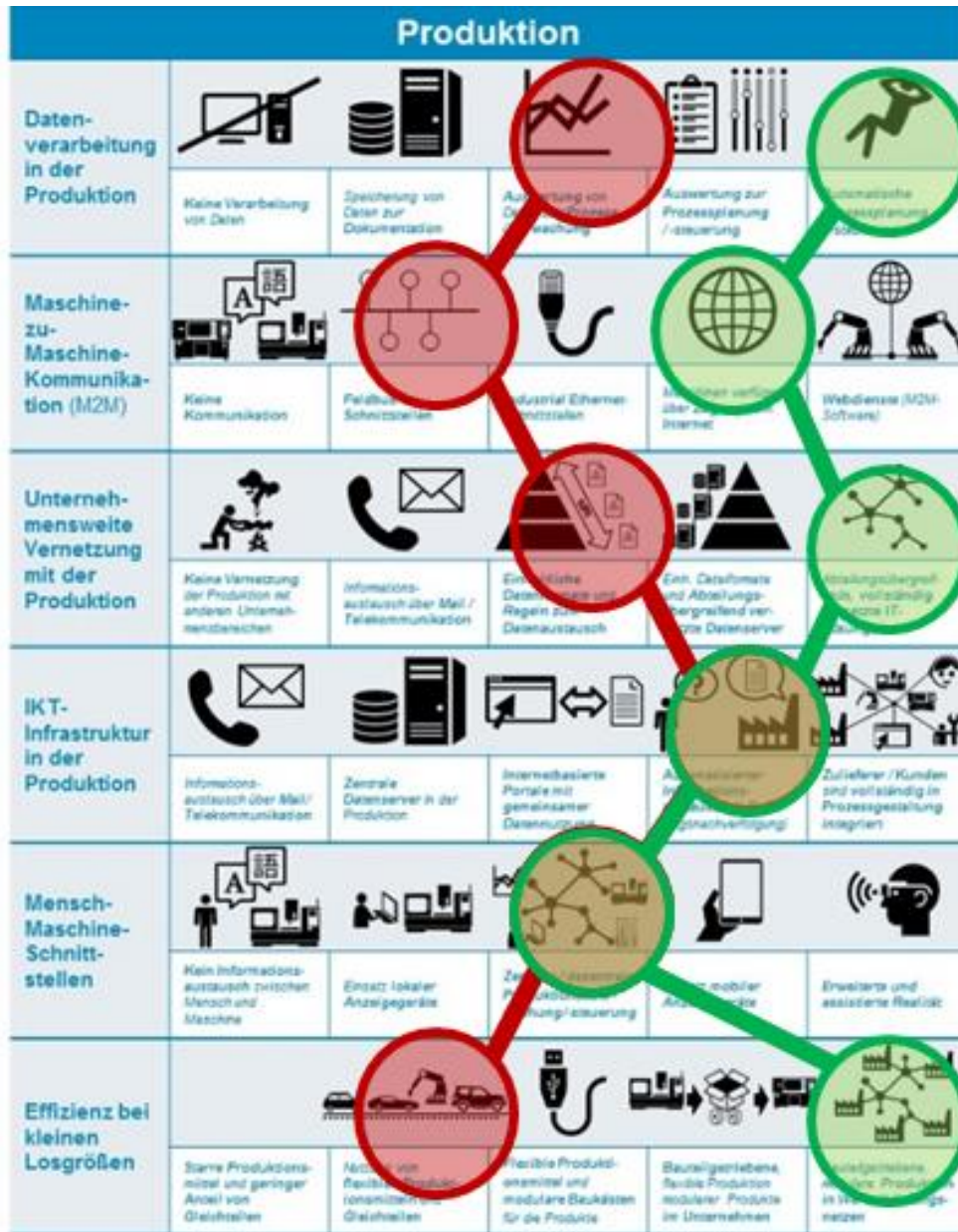


Abbildung 2: Aggregierte Ergebnisse der Analyse chinesischer Unternehmen

Durch eine detaillierte und für den Anwendungsfall angepasste Wertstromanalyse 4.0 konnte in den einzelnen Unternehmen erfasst werden, in welcher Form die drei im Projekt fokussierten Technologien (Cloud Manufacturing Services, Werkerassistenzsysteme und Traceability) in welchen Prozessen angewendet werden (beispielhaft in Abbildung 3).

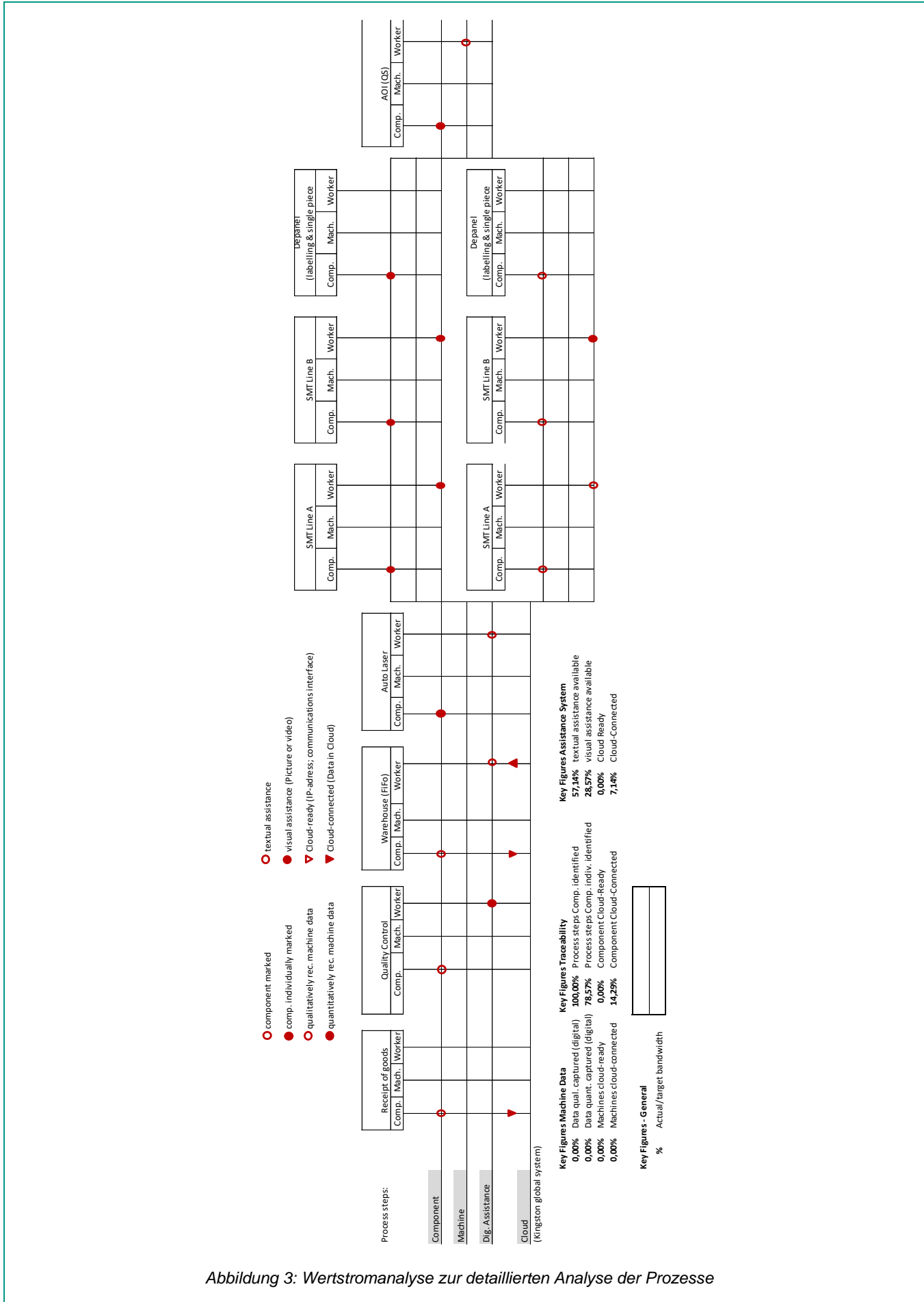


Abbildung 3: Wertstromanalyse zur detaillierten Analyse der Prozesse

Zu erkennen ist dabei, dass die Technologie Traceability bei den analysierten Unternehmen bisher am besten umgesetzt ist. Dennoch werden die produzierten Komponenten nur selten individuell getrackt, was ein mögliches Potential darstellt. Im Bereich Assistenzsysteme wurden vor allem Wartungs- und Instandhaltungsprozesse unterstützt, da ein Großteil der Produktionsprozesse bereits automatisiert abläuft. Zudem ist es zur Verbesserung der bestehenden Prozesse denkbar, Mitarbeitende bedarfsgerecht in notwendigen Situationen mit Hilfe von Assistenzsystemen zu unterstützen. Maschinendaten werden im Allgemeinen nur selten aufgenommen. Diese können jedoch potenzielle Daten für die Cloud sein.

Aus der Lücke zur Wertstromvision ergeben sich die **Kompetenzbedarfe** bei den Mitarbeitenden in der Produktion. Sie teilen sich in die drei betrachteten Technologien und jeweils in die folgenden fünf übergeordneten Themen auf:

- Potenzial und Nutzen,
- Akteure,
- technische Funktionsweise und
- Kompatibilität.

Zu jedem Kompetenzbereich wurden Teilkompetenzen in einer Kompetenzmatrix abgeleitet. Jede Teilkompetenz besteht wiederum aus einem Wissen- und einem Handlungselement. Außerdem wurde zu jeder Teilkompetenz eine entsprechende Taxonomiestufe nach Bloom zugeordnet. Taxonomiestufen ordnen Kompetenzen und Lernziele nach steigender Komplexität. (Auszug in Tabelle 2).

Tabelle 2: Auszug aus der Kompetenzmatrix

Technologie	Thema des Lernziels	Wissensdimension	Dimension der kognitiven Prozesse	Lernziele und Beschreibung
Traceability	Basis-technologien	Prozedurales Wissen	Evaluation	Die Teilnehmer sind in der Lage, den Abstand zwischen Lese- und Schreibgerät, in dem ein RFID-Tag erkannt wird, in Abhängigkeit von möglichen Störungen zu bestimmen.
WAS	Vorteile von WAS	Deklaratives Wissen	Wissen/ Verstehen	Die Teilnehmer sind in der Lage, die Vorteile von Guided Maintenance zu erklären.

Cloud Manufacturing Services	Analyse der Potenziale/ Nutzen im Unternehmen	Deklaratives Wissen	Evaluation	Durch das Training sollen die Teilnehmer in die Lage versetzt werden, anhand eines vorgegebenen Szenarios bestimmte Vorteile selbst einzuschätzen und andere mögliche Lösungen kritisch zu diskutieren und zu bewerten.
------------------------------	---	---------------------	------------	---

Die Kompetenzmatrix mit insgesamt 174 Einträgen bildet die Grundlage für die Erstellung der Schulungen (vgl. Kap. 4.3 der Schulungen).

5.2. Konzeption und Aufbau der Lernfabrikmodule

Aufbauend auf den Analyseergebnissen und der Wertstromvision wurden die **Strukturanforderungen für die Lernfabrikmodule** formuliert. Hierzu wurde ein Rahmenwerk entwickelt und anhand dessen generelle sowie kompetenzspezifische Anforderungen an die Lernfabrikmodule definiert (Auszug Abbildung 4):

- Die generellen Anforderungen wurden in die Klassen operationales Modell, Didaktik, Zweck, Prozesse, Einstellungen und das Produkt eingeteilt, wobei beispielsweise bei letzterem die konkrete Anforderung definiert wurde, mehrere verschiedene Varianten eines nicht komplexen Produktes in einfachen Prozessen herstellen zu können.
- Die technologiebezogenen Kompetenzklassen Werkerassistenzsysteme, Traceability und Cloud Manufacturing Services wurden in 11 bzw. für Cloud Manufacturing Services 13 Lernzielen beschrieben, in Trainingsszenarien eingeordnet und als konkrete Anforderungen an die Lernfabrikmodule festgehalten.

Mit diesen Anforderungen wurde das bestehende FESTO Modular Production System 203 (MPS 203) als Ausgangsbasis für die Ausgestaltung des neuen Lernfabrikmoduls definiert. Die MPS 203 beinhaltet bereits die grundlegenden Einrichtungen für die Schulung von Traceability und wurde anschließend erweitert. Als Erweiterung wurde eine Energiemessbox zwecks Erfassung der Verbrauchsinformationen bzgl. Elektronik und Pneumatik integriert. Dies ermöglicht Übungen zu den Vorteilen der Prozesstraceability. Anhand der Verbrauchsdaten können Fehler identifiziert und die Wirksamkeit von Maßnahmen überprüft werden. Neue Augmented Reality-Cubes, mit denen über eine Tablet-App Handlungsanweisungen und Prozessstati in das Livebild der MPS eingeblendet werden können, lassen die Potentiale von WAS erleben. Darüber hinaus wurden die Datenknoten in den einzelnen Stationen identifiziert, welche über die Signale der Steuerung oder das Fertigungssteuerungssystem ausgelesen werden sollen.

Technology	General Learning Targets	Topic of Learning Target	Knowledge Dimension	Dimensions of cognitive processes	Learning Targets and Description	Training scenarios	Nugget Nr.	Source TuDa	Source Festo	Comments
General	Overview of the production system		Procedural Knowledge	Application	The participants are able to commission a mechatronics system		1		x	
			Declarative Knowledge	Knowledge/Comprehension	The participants are able to name the connection specifications for power supply		2		x	
			Procedural Knowledge	Analysis	The participants are able to set up and test pneumatic and electrical power supply		3		x	
			Declarative Knowledge	Knowledge/Comprehension	The participants are able to describe a product manufacturing sequence		4		x	
General	Familiarization with the overall system		Declarative Knowledge	Knowledge/Comprehension	The participants are able to name and explain the system's structural layout		5		x	
			Declarative Knowledge	Knowledge/Comprehension	The participants are able to describe the function of the components		6		x	
			Procedural Knowledge	Application	The participants are able to test sensor signals on the basis of a variables list.		7		x	
			Procedural Knowledge	Application	The participants are able to operate a motor for the conveyor belt with pushbuttons and determine belt speed.		8		x	
			Declarative Knowledge	Analysis	The participants are able to analyse linked systems and machines along the process chain energetically		9		x	
			Declarative Knowledge	Knowledge/Comprehension	The participants are able to name the process chain which contains out of 5 MPS stations		10		x	
	Basics of Energy efficiency in process chains Data acquisition and measurement Analysis of loading profiles and operating systems		Declarative Knowledge	Knowledge/Comprehension	The participants are able to name the difference between process time (individual process), cycle time (individual process) and cycle time (process chain)		11		x	
			Procedural Knowledge	Application	The participants are able to record and analyze energy loading profiles on the process chain of MPS stations		12		x	
			Procedural Knowledge	Application	The participants are able to calculate the energy intensity and the compressed air volume of the process chain		13		x	
			Procedural Knowledge	Synthesis	The participants are able to create a cycle time diagram for the individual processes of the process chain.		14		x	

Abbildung 4: Auszug Strukturanforderungen für die Lernfabrikmodule

Hierbei handelt es sich um zustands- sowie prozessspezifische Daten des Lernfabrikmoduls. Diese werden in die Schulungsinhalte zwecks Kompetenzvermittlung auf deutscher Seite des Konsortiums integriert und sind für die Projektinhalte der chinesischen Partner relevant. Insgesamt konnten so mit Hilfe des Konzepts des Lernfabrikmoduls die technologiebezogenen Kompetenzen und die Anwendungsfälle des Partners CASICloud integriert werden. Abschließend wurde zur Vorbereitung des physischen Aufbaus der Lernfabrikmodule eine dokumentierte Stückliste mit den Stationen Verteilen, Fügen, Sortieren und dem Zubehör wie Rechner mit MES System, AR Vorbereitung und Energiemessbox generiert.

Aufbauend auf dem detaillierten Konzept für das Lernfabrikmodul wurde die physische, funktionsfähige **Hardware** in Form des Lernfabrikmoduls von FESTO Didactic zuerst im Forschungslabor der TU Darmstadt **aufgebaut**. Anschließend wurde in Zusammenarbeit mit dem Partner CASICloud das Ökosystem der Cloud-Lösung **INDICS** auf den für dieses Projekt erworbenen Servern im neu geschaffenen Subnetz an der TU Darmstadt **installiert**. Das interne CaMPuS Subnetz im Hochschulrechenetz verfügt über physische Verbindungen zwischen dem Forschungslabor und Rechenzentrum bzw. offene, internetbasierte Anknüpfungspunkte für die Cloud Kollaboration im Rahmen der chinesischen Projektinhalte von CaMPuS. Darüber hinaus wurde das Lernfabrikmodul durch dedizierte Verbindungen über die Smart IoT Software und Hardware an das Backend der INDICS IoT Plattform integriert (Abbildung 5).

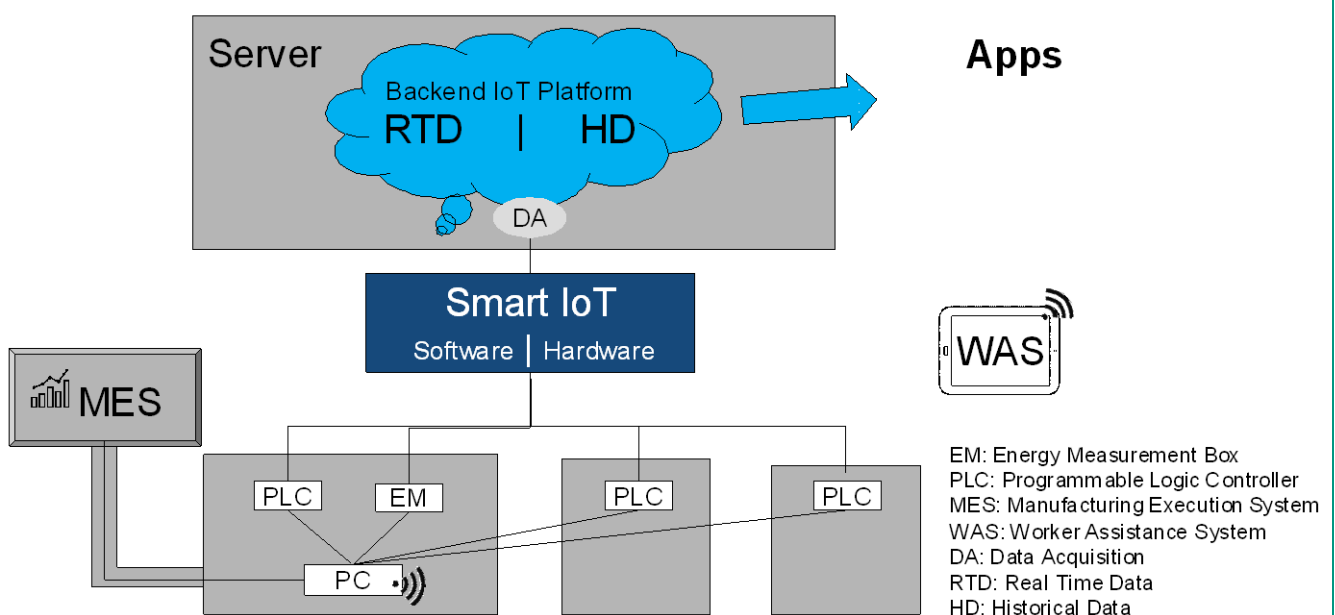


Abbildung 5: Schematische Struktur der Lernfabrikmodule mit Integration an das Cloud Ökosystem

Wichtig war hierbei, dass die Cloud-Lösung des Projektpartners den Zugriff mittels Software-Development-Kits (SDK) sowohl auf den unteren Ebenen als auch den übergeordneten Ebenen der Automatisierungspyramide ermöglicht. Die bereits angesprochenen SDKs in Verbindung mit ergänzender Hardware des Projektpartners CASICloud wurden hierzu analysiert. So wurde identifiziert, dass mittels Smart IoT Box und Smart IoT SDK die Sensor- bzw. Aktorebene sowie Steuerungsebene der Automatisierungspyramide samt den einzelnen digitalen und analogen Signalen in das INDICS Ökosystem integriert werden können, während für die Prozessleitebene das Virtual Gateway SDK über REST Schnittstellen notwendig ist.

Die chinesischen Projekthinhalte wie „VR Factory“ und „Intelligent IoT Gateway“ konnten ebenso erfolgreich im Rahmen der gemeinsamen Kooperation an der TU Darmstadt realisiert und für den Transfer auf die chinesischen Lernfabrikmodule evaluiert werden. Das fertiggestellte Lernfabrikmodul mit Integration in die Cloud Lösung des Projektpartners konnte durch ein Dashboard der INDICS Plattform sowie einer VR Factory App als beispielhafter chinesischer Anwendungsfall überprüft werden.

Anhand der Erfahrungen wurde für die chinesische Seite ein **neunseitiger Leitfaden „Instructions für connecting the MPS system“** erstellt. Dieser beinhaltet detaillierte textuelle sowie visuelle Instruktionen für das Entpacken, Montieren, Verkabeln von Elektronik und Pneumatik des Lernfabrikmoduls sowie für das Platzieren der Produkte als Vorbereitung der Inbetriebnahme bei CASICloud und ITEI. Für den Transfer der Anwendungsfälle im Rahmen des CaMPuS-Lernfabrikmoduls in die Industrie wurde ein weiterführender Implementierungsleitfaden mit dem Titel **„Implementation guide for the application of the developed use cases in the industry“** erarbeitet. Dieser gliedert sich in fünf Kapitel. Im ersten Kapitel wird die schematische Struktur der CaMPuS Lernfabrikmodulumgebung zur Vermittlung des Kontextes erläutert. Anschließend folgen Systembeschreibungen der einzelnen Stationen, der Energiemessung sowie die Erläuterung der Inbetriebnahme und ein Beispielprozess des Lernfabrikmoduls. Die Cloud Lösung INDICS mit dem Ökosystem werden in Kapitel 3 zusammen mit den Bereichen Smart IoT, Echtzeit- sowie historischen Daten bzw. dem Plattformansatz näher vermittelt. In Kapitel 4 wird die Integration des Lernfabrikmoduls an die INDICS aufgezeigt bevor abschließend eine detaillierte Beschreibung der deutschen Anwendungsfälle respektive der technologiebezogenen Kompetenzen den Leitfaden abschließt. Anhand der Leitfäden sowie durch Unterstützung seitens FESTO Didactic wurden die Lernfabrikmodule nach deutschem Vorbild bei den Partnern in China aufgebaut (Abbildung 6).

In den folgenden Abschnitten werden die Kernerkenntnisse und -ergebnisse zur informationstechnische Infrastruktur und Architektur erläutert. Dabei wurden die Konnektivität und Kommunikation der Lernfabrikumgebung ausgebaut. Darauf aufbauend ist eine informationstechnische Integration zum Cloud Ökosystem erfolgt worden.



Abbildung 6: Anlagen in Deutschland (oben) und China (unten)

5.3. Informationstechnische Infrastruktur und Architektur

Die spezifische Detailierung der schematischen Struktur der Lernfabrikmodule mit Integration an das Cloud Ökosystem (vgl. Abbildung 5) basiert auf der Betrachtung einer Systemarchitektur einer automatisierten Produktion. Diese wird nach heutigem Standard in einer Automatisierungspyramide abstrahiert. Dabei wird die klassische Automatisierungspyramide in fünf Ebenen unterteilt.

Obwohl die Pyramide eine hierarchische Anordnung der Ebenen suggeriert, hat dennoch jede Ebene ihre eigenen Aufgabenbereiche. Die oberste Ebene wird als Unternehmensebene (englisch: *Enterprise Resource Planing*, ERP) bezeichnet. Darunter befindet sich die Betriebsleitebene (englisch: *Manufacturing Execution System*, MES). Die mittlere Ebene wird als Prozessleitebene (englisch: *Supervisory Control and Data Acquisition*, SCADA). Die vorletzte Ebene umfasst die Steuerungsebene, auf der sich die Hardware der speicherprogrammierbaren Steuerung befindet (SPS, englisch: *programmable logic controller*, PLC). Auf der untersten Ebene befindet sich die Feldebene, auf der Sensoren und Aktoren verkabelt und bestromt werden. Das zeitliche und räumliche Zusammenspiel der einzelnen Sensoren und Aktoren stellen den Produktionsprozess dar und wird durch einen Auftrag (englisch: *order*) als Prozessebene. Bei der Abbildung einer abstrakten Automatisierungspyramide gibt es keinen Standard, jedoch wird zumeist die ISA-95 Norm herangezogen (Abbildung 7). (Volker et al, 2017)

In der Unternehmensebene findet die allgemeine zumeist betriebswirtschaftliche Planung der Produktion statt. Auf die Rolle und Funktionalitäten eines ERP Systems ist eine Beschränkung auf Metadaten einer Lieferung, Lagerung und Kundenwünsche wie etwa Farbe, Menge oder Materialeinsatz erfolgt worden.

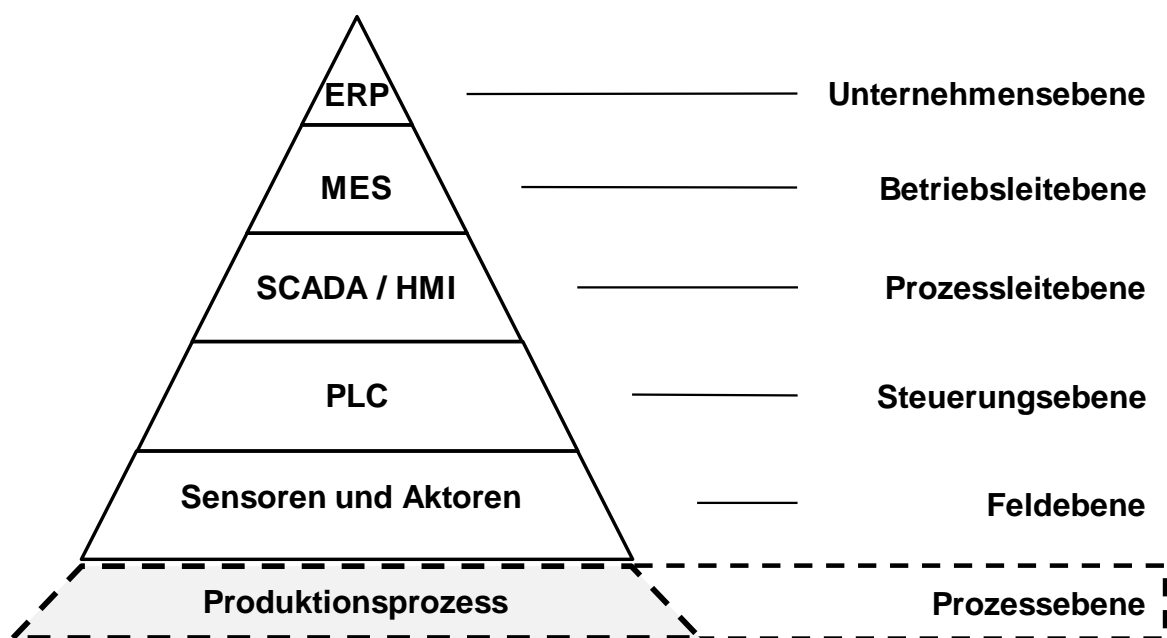


Abbildung 7: Automatisierungspyramide in Anlehnung nach ISA-95 Norm

In der Betriebsleitebene wird im Allgemeinen die betriebswirtschaftliche Planung der Produktion auftragspezifisch durch ein MES zeitlich geplant sowie als Produktionsauftrag durchgeführt. Hierbei wurde das MES 4 von Festo Didactic herangezogen. Es handelt sich um ein Managementsystem, welches prozessnah an hardwarespezifischen Produktionssystemen verbunden ist. Dadurch sollen die Produktionsprozesse erarbeitet, gelenkt, gesteuert sowie überwacht werden. Somit stellt diese Ebene ein Bindeglied zwischen dem Produktions- und dem Unternehmensbereich dar.

In einem SCADA Systeme, dem übergeordneten Steuerungs- und Datenerfassungs-System, sollen Prozesse überwacht sowie bei Fehler oder Störung eingriffen werden können. Optional stehen manuelle oder automatische Prozesseingriffe zur Auswahl. Die Aufgabe dieser Ebene ist die Steuerung der Prozessebene zu optimieren und dessen Sollwerte vorzugeben (vgl. Abbildung 7).

Die digitale Prozessüberwachung wird zumeist auf externe Panels (englisch: Human Machine Interface, HMI) für die Benutzerfreundlichkeit dieser Ebene der Datenerfassung, grafische Darstellung und Steuerung zurückgegriffen. Die gesamte MPS Anlage besitzt mehr als hundert sensor- und aktorspezifische Datensignale, so dass eine Begrenzung nur auf die energietechnischen Werte wie etwa Druckwerte, Massenfluss oder verbrauchte Energieeinheit zur digitalen grafischen Darstellung festgelegt wurden (vgl. Abbildung 8 links). Wahlweise sind digitale Registerkarten zur Anzeige direkt am externen Panel digital programmierbar. Der analoge manuelle Eingriff kann über Steuerungsknöpfe Start, Stop, Reset, Q1 und Q2 oder dem Notaus durchgeführt werden (vgl. Abbildung 8 rechts).



Abbildung 8: Energiepanel (links) und analoge Steuerungsknöpfe (rechts)

Die Steuerung von Hardwarekomponenten wird mittels der Speicherprogrammierbare Steuerung durchgeführt. Hierfür wurden hardwareseitig industrielle Steuerungen der Reihe Siemens S7 1500 herangezogen (Abbildung 9). Die softwareseitige Programmierung ist mittels Siemens TIA Portal v.15.1 erstellt worden, in der Prozessabläufe durch Signalverarbeitungen automatisiert wurden. Sensoren und Aktoren in den jeweiligen Modulen sind im Gesamtprozessablauf modularisiert unterteilt worden.



Abbildung 9: Siemens S7 1500

In der Feldebene werden Ein- und Ausgangssignale (englisch: *Input and Output, I / O*) erfasst, so dass einkommende Signale ausgeführt werden. Rohdaten wurden dort von den Sensoren aufgenommen, die sich zumeist in boolesche Werte ausdrücken lassen. Der Informationsgehalt dieser Daten ist in der Feldebene im Einzelnen gering. Jedoch gewinnt der Informationsgehalt an Komplexität, je mehr einzelne Signale bei einem komplexen Automationsprozess eingebunden sind (Abbildung 10).

Bei der Abstraktion der Automatisierungspyramide wird oftmals suggeriert, dass die einzelnen Ebenen nur mit den Ebenen darüber oder darunter kommunizieren. In der klassischen Automatisierungstechnik ist diese Abstraktion durchaus gegeben, da die Kommunikation zwischen den Ebenen proprietär eingerichtet und insbesondere dadurch die Anschlüsse der Konnektivität nicht standardisiert vorliegen. Bei Auslieferung und der ersten Inbetriebnahme der MPS auf Basis der MPS 200 wurde ihr Zustand als System der klassischen Automatisierungstechnik identifiziert. Jedoch mussten alle Ebenen mit dem technologischen Voranschreiten sowie mit der Implementierung von Industrie 4.0 Technologien stets an Interoperabilität dazu gewinnen, so dass auf standardisierte Kommunikation zurückgegriffen wurde. Deswegen wurden die Ebenen parallel betrachtet, seriell verschaltet sowie modular weiterentwickelt, um einer modernen informationstechnischen Infrastruktur gerecht zu werden.

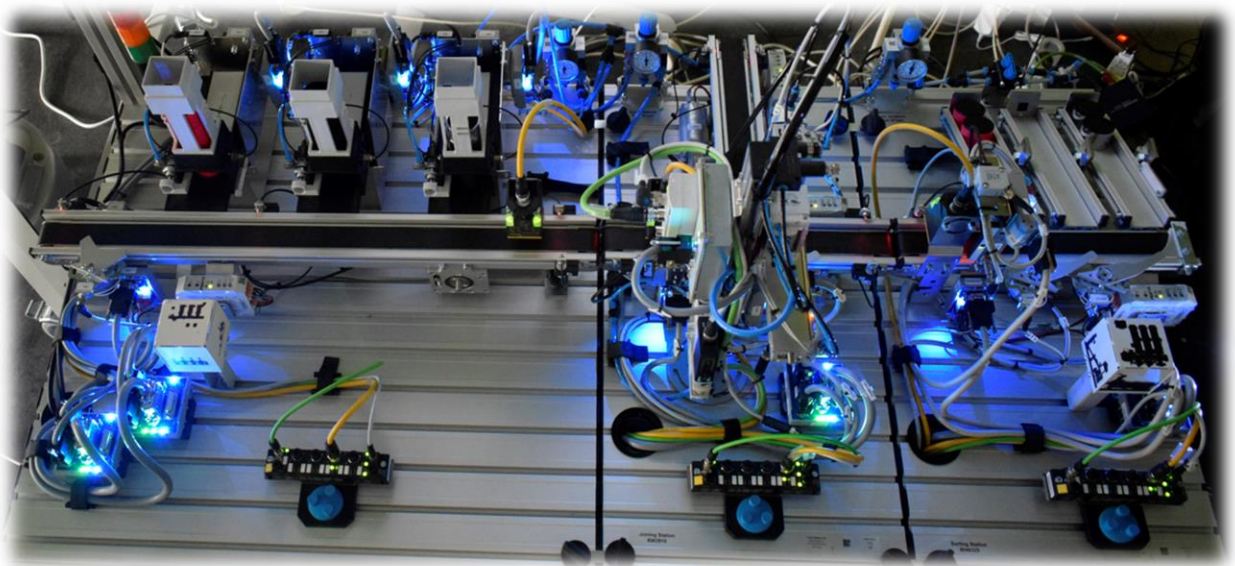


Abbildung 10: Aktoren und Sensoren des Produktionsprozesses

Auf Basis der klassischen Automatisierungstechnik ist die MPS Lernfabrikumgebung in eine moderne informationstechnische Infrastruktur überführt worden sowie mittels standardisierter Anschlüsse der Konnektivität und Kommunikationsmöglichkeiten für eine Integration in ein Cloud Ökosystem weiterentwickelt worden. Für die systemtechnische Entwicklung verschiedener Systeme wurde die Modellierungssprache des Systems Modeling Language (SysML) herangezogen. Mittels SysML ist die Analyse, das Design sowie das Testen von komplexen Systemen durchgeführt worden, um Anforderungs- und Designbelange über die gesamte Entwicklungsphase zu lösen (Wang et al, 2019). Eine modulare und schnelle Prüfung komplexer Änderungswünsche und Optimierungsmöglichkeiten wurde mittels SysML realisiert.

In Abbildung 11 ist die Funktionale Sicht der informationstechnischen Architektur der MPS Lernfabrikumgebung schematisch als SysML Paket Diagramm dargestellt. Das angeführte Kommunikationsprotokoll OPC UA (englisch: *Open Platform Communications Unified Architecture*, OPC UA) wird im anschließenden Abschnitt detailliert erläutert.

5.3.1 Ausbau der Konnektivität und Kommunikation der Lernfabrikumgebung

Die funktionale Sicht der informationstechnischen Architektur der MPS Lernfabrikumgebung ist vielschichtig über Kommunikationsprotokolle, verschiedene spezifische Austauschformate, Ein- und Ausgangssignale (I / O-Signale), Ethernet bzw. Industrial Ethernet sowie Human Machine Interfaces (HMI) realisiert worden (vgl. Abbildung x). Entscheidend hierbei ist die Entwicklung und Erweiterung von Hard- und Software Schnittstellen. Eine bestehende Hardware-Konnektivität-Schnittstelle operiert lediglich mit dessen vorentwickelter Software-Kommunikations-Schnittstelle. Deswegen sind Analysen zur vorliegenden Konnektivität durchgeführt, Analogien zu etablierten Modellen gezogen sowie Erweiterungs- und Entwicklungsbedarfe der Kommunikationsschnittstellen identifiziert worden, damit die Anforderungen für eine Integration zum Cloud Ökosystem erfüllt werden.

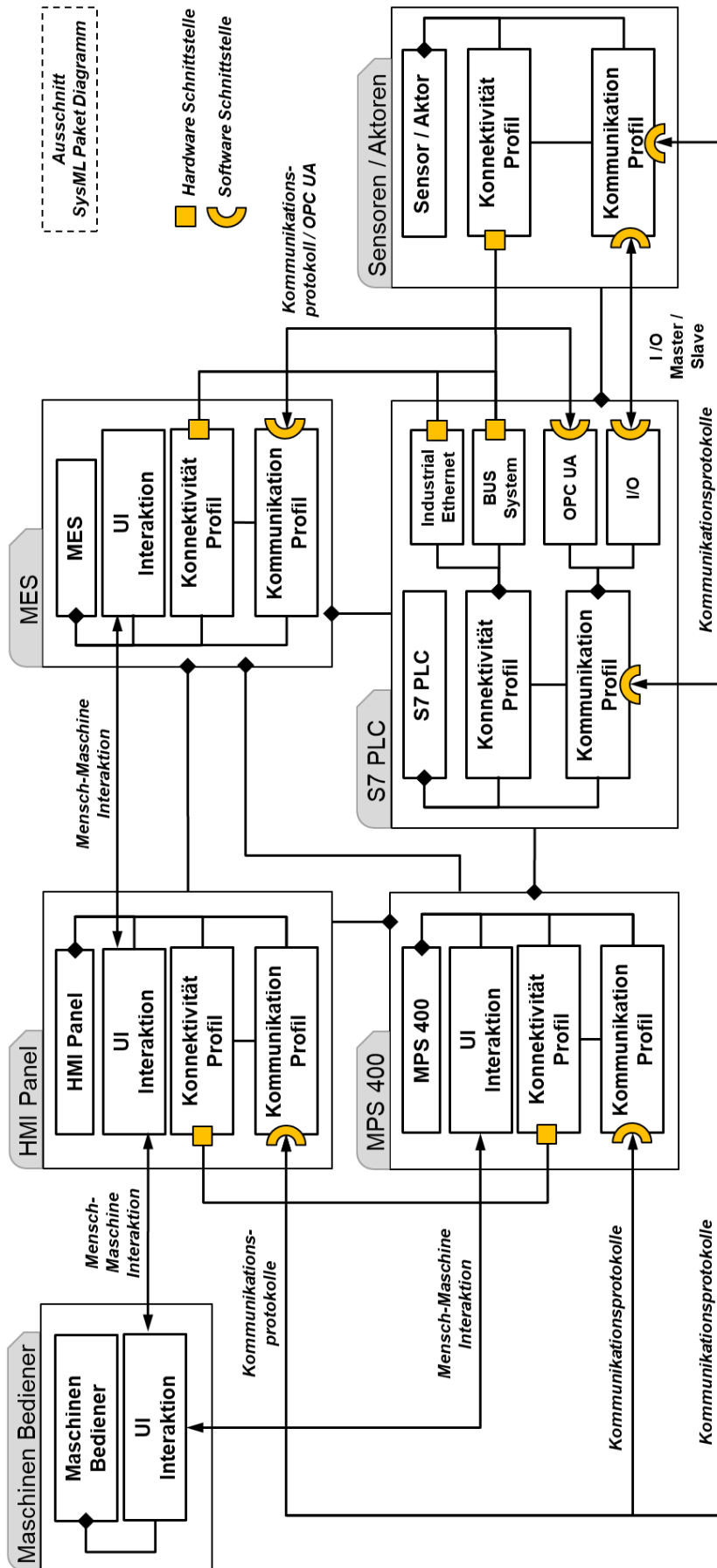


Abbildung 11: Informationstechnische Architektur der MPS Lernfabrikumgebung

Beginnend mit der Feldebene sind Ein- und Ausgangssignale (I/O-Signale) der Sensoren und Aktoren auf zwei unterschiedliche Verfahren verdrahtet worden, um eine Verbindung zum Steuerungsgerät (SPS) zu ermöglichen:

1. Parallele Verdrahtung:

An den einzelnen Steuerungsmodulen des Steuerungsgeräts ist je ein Kabel pro Pinbelegung zu den jeweiligen beteiligten Sensoren bzw. Aktoren verdrahtet

2. Serielle Verdrahtung:

Vom Steuerungsgerät selbst werden die Signale der einzelnen Steuerungsmodule summiert, sodass insgesamt eine Leitung zum jeweiligen Verteilersystem oder Datenübertragungsgerät vorliegt. Mittels Mehrfachanschlussverteilung (Multipol) oder entsprechender BUS-Verteilung (englisch: *Back Panel Unit Sockets*, BUS) werden Signale zu den beteiligten Sensoren und Aktoren geführt. Hierbei ist systemtechnisch zu beachten, dass die Topologie des BUS gegenüber des Datenübertragungsgeräts bzw. -systems unterschiedlich ist (ACADEMICS 2021).

Mit zunehmender Integration von Ein- und Ausgabesignalen steigt bei einer Parallelverdrahtung mit dem zunehmenden Automatisierungsgrad der Verkabelungsaufwand, sodass überwiegend auf die serielle Verdrahtung zurückgegriffen wurde. Die Aufführung der parallelen Verdrahtung wurde vereinzelt optional implementiert. Herstellerspezifisch existieren derzeit viele unterschiedliche BUS-Systeme. Jedoch orientieren sich alle Hersteller am weltweiten Standard der Norm IEC 61158.

Für die Anlagenverkabelung wurde auf Feldbusgeräte zurückgegriffen, die dadurch charakterisiert sind, dass die gesamte Verkabelung durch ein einziges BUS-Kabel ersetzt wird. Die Vernetzung aller Komponenten, welche wiederum eine Vielzahl an Aktoren und Sensoren enthalten, ist durch das Übertragungsmedium des Feldbusses, unabhängig von der Art der Automatisierungskomponente, möglich. Somit können Komponenten an der Mehrfachanschlussverteilung (Multipol) angeschlossen werden (vgl. Abbildung 12 rechts). Bei der MPS wurde Komponenten und Geräte verwendet, die den PROFIBUS (englisch: *Process Field Bus*, PROFIBUS) Standard unterstützen verwendet. Die verbreiteten vier Feldbus Topologien, die in Abbildung 12 links dargestellt sind, sind sowohl alleinstehend als auch in



Abbildung 12: BUS-Verteilung (links) und Multipol (rechts)

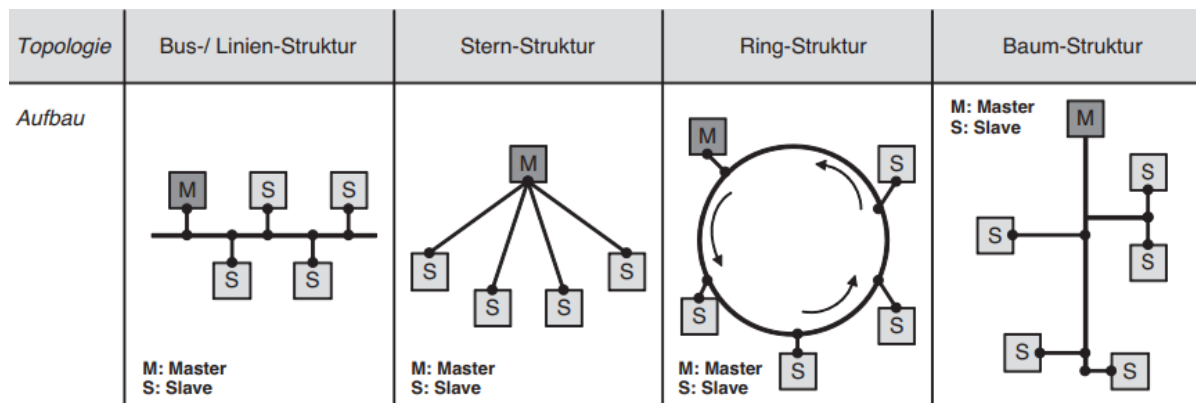


Abbildung 13: Feldbus Topologie (Rolf et al, 2018)

Kombination eingesetzt worden. Alle vier Strukturen werden zur hierarchischen Verwaltung der Ressourcenzugriffe eines gemeinsamen Datenkanals die Master/Slave (M/S) Form eingesetzt. Dabei kann lediglich der Master auf die Ressource selbstbestimmt zugreifen, während der Slave nur bei Nachfrage und Aufforderung des Master Ressourcenzugriff erhält.

Gelangt der Feldbus in der industriellen Automatisierung aufgrund seines hierarchischen Wesenszuges an seine Grenzen, so ist auf den Standard des Industrial Ethernet zurück zu greifen. Bei Bus-/Linien- sowie Baumstrukturen ist bei einer Änderung und Erweiterung der Slave mit hohem Aufwand sowohl in der Hardware-Konnektivität als auch in der Kommunikation zu rechnen, während sich die Stern- sowie Ringstruktur bei der vertikalen Integration der Netzwerkstruktur des Industrial Ethernet nahestehen. Die theoretische Konzeption des Industrial Ethernet weist eine durchgängige Kommunikationsinfrastruktur auf. Jedoch kann die Kommunikation nur dann über alle Ebenen der Automatisierungspyramide durchgesetzt werden, wenn drei wesentliche Voraussetzungen erfüllt sind:

1. Die Hardwareschnittstelle zur Gewährleistung der Konnektivität zwischen den beteiligten physischen Systemen sind zu bestimmen
2. Bezogen auf die Konnektivität werden entsprechende standardisierte Kommunikationsprotokolle und -dienste unterstützt
3. Die Kompatibilität zwischen der Konnektivität und Kommunikation zum Ablaufprogramm der Steuerungsebenen liegt vor

Nachdem die Konnektivität für die MPS Lernfabrikumgebung bestimmt und aufgebaut wurde, sind zur Erfüllung der zweiten Voraussetzungen Netzwerkprotokolle identifiziert, analysiert sowie getestet worden, die sowohl in der Automatisierungstechnik als auch im Cloud Ökosystemen angewendet werden können. Hierbei wurde insbesondere das TCP/IP-Schichtenmodell (englisch: *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*, TCP/IP) sowie das OSI-Modell (englisch: *Open System Interconnection-Model*, OSI) herangezogen. In Abbildung 14 wird die Gegenüberstellung des TCP/IP Schichtenmodells (links) und des OSI-Modells (rechts) dargestellt.

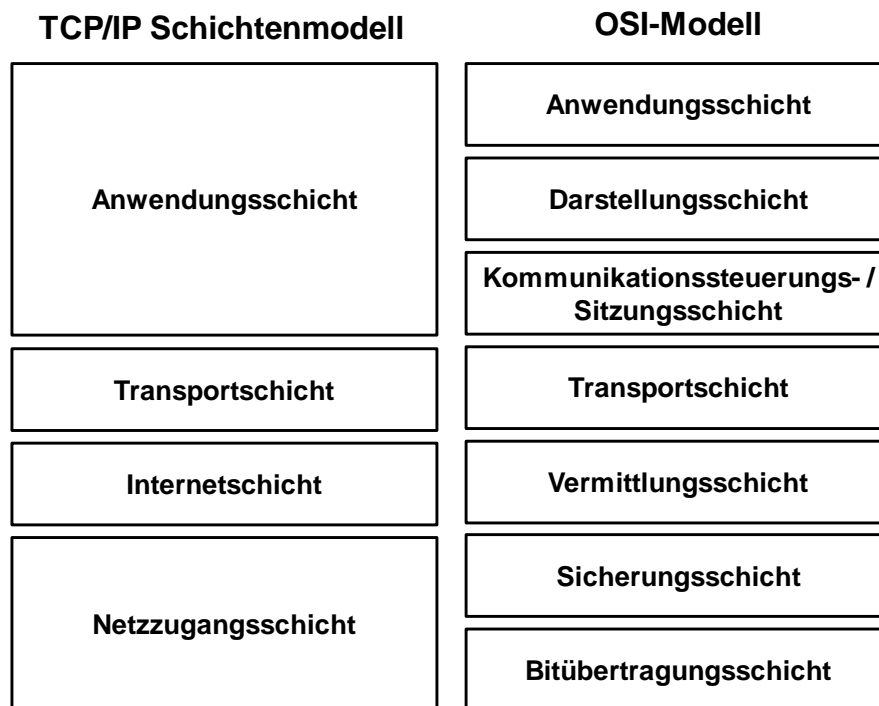


Abbildung 14: Gegenüberstellung TCP/IP Schichtenmodell (links) und OSI-Modell (rechts)

Ausgehend von den Sensoren und Aktoren über alle Ebenen der Automatisierungspyramide hinaus, bis zum Cloud Ökosystem ist somit gewährleistet worden, dass eine horizontale und vertikale Integration domänenübergreifend etabliert werden kann.

Das OSI-Modell weist sieben Schichten auf, während sich das TCP/IP-Schichtenmodell aus vier Ebenen zusammensetzt. Die untersten vier Schichten des OSI-Modells beschreiben das Vorgehen der Datenübertragung. Die weiteren drei Schichten beschreiben die Verarbeitung der Daten. Beim TCP/IP-Schichtenmodell hingegen stellen die ersten drei Schichten die Übertragung der Daten dar. Die Datenverarbeitung erfolgt in der obersten Schicht.

Die Bitübertragungsschicht (englisch: *Physical Layer*) baut die Leitung für eine Kommunikation zu der nächst höheren Schicht auf. Dabei werden Signale und einzelne Bits durch übertragungstechnische Verfahren anhand der aufgebauten Leitung übertragen. Jedoch muss zuvor die Konnektivität in Form einer elektrotechnischen Verkabelung, eines physischen Gerätes oder einer Netzwerkkomponente etabliert sein.

War der Aufbau erfolgreich, so stellt die Sicherungsschicht (englisch: *Data Link Layer*) das Versenden eines Nachrichtensignals sicher, indem Sie den Rahmen für die zuvor aufgebaute Kommunikationsleitung erschafft. Hierbei werden Absender und Empfänger, Anfang und Ende einer Nachricht sowie den Empfang und Behandlung bei Fehlern gesteuert.

Den untersten beiden Schichten des OSI-Modell steht die Netzzugangsschicht (englisch: *Link Layer*) des TCP/IP-Schichtenmodells vergleichbar gegenüber. Der Zugang zur nächst höheren Schicht wird mittels unterschiedlicher Techniken der Datenübertragung sichergestellt.

Die Übertragung der Konzeption der Bitübertragungs- und Sicherungs- sowie Netzzugangsschicht ist auf die Feldebene der Automatisierungspyramide erfolgt worden, indem dessen Vorgehensweise auf die Konnektivität und Kommunikation der MPS Lernfabrikumgebung überführt wurde. Nur durch Sicherstellung der hardwarenahen Vernetzung aller Komponenten, welche einer parallelen oder seriellen Verdrahtung unterliegen, sind erst entsprechende standardisierte Kommunikationsprotokolle auf der Steuerungsebene in der PLC unterstützt worden.

Mittels des TIA Portals v.15.1 wurde jede PLC der Steuerungsebene eine eindeutige IP-Adresse (englisch: *Internet Protocol*, IP) zugewiesen. Zudem sind Funktionsbausteine und Prozesssteuerungsabläufe für Sensoren und Aktoren ihren entsprechenden Subnetzmasken (englisch: *subnet mask*) für ein Routing eingerichtet, angepasst, erweitert sowie neu entwickelt worden. Dieses Vorgehen entspricht der Vermittlungsschicht (engl. *Network Layer*) des OSI-Modells bzw. der Internetschicht (englisch: *Internet Layer*) des TCP/IP-Schichtenmodells.

Die Transportschicht (englisch: *Transport Layer*) teilt sich den Namen und das Vorgehen sowohl im OSI-Modell als auch im TCP/IP-Schichtenmodell, indem Datenpakete eines Absenders an entsprechende Zielanwendungen eines Empfängers versendet werden. Während die vorherige Schicht für den Verbindungsaufbau zuständig ist, achtet die Transportschicht insbesondere auf die Adressierung (englisch: *Port*), die Übertragung der Datensegmente sowie für eine einheitlichen Zugriffsbereitstellung für Anwendungen der verarbeitungsorientierten Schichten.

Das Vorgehen und die Aufgaben der Schichten Kommunikationssteuerung/Sitzung (englisch: *Session Layer*), Darstellung (englisch: *Presentation Layer*) und Anwendung (englisch: *Application Layer*) im OSI-Modell ist mit den Aufgaben der Anwendungsschicht (englisch: *Application Layer*) im TCP/IP-Schichtenmodell vergleichbar. Diese setzen sich aus der Aufrechterhaltung der Verbindung, Einhaltung der Kommunikationsregeln, Konvertierung der Daten für eine entsprechende Darstellung sowie die Bereitstellung von Diensten für Anwendung und Anwender zusammen.

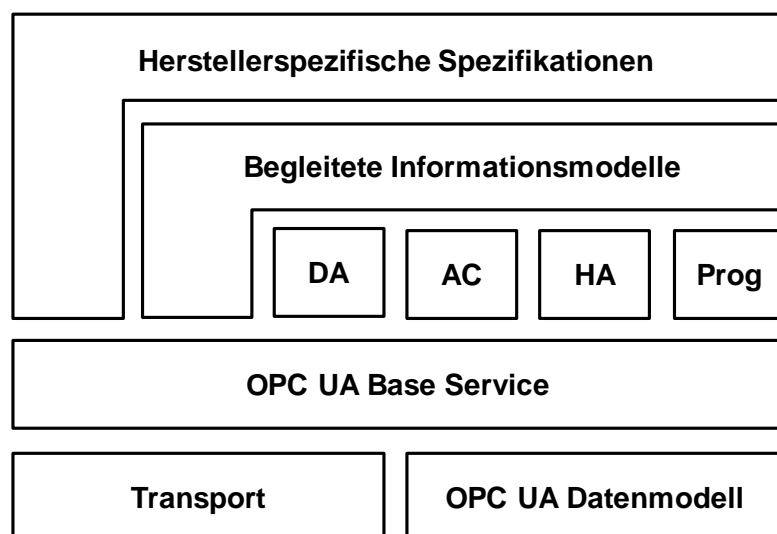


Abbildung 15: OPC UA Architektur (OPC Foundation 2021)

Eine große Herausforderung in der Weiterentwicklung der informationstechnischen Infrastruktur der klassischen Automatisierungspyramide liegt in der Überführung der Konzeption ab der Transportschicht. Zumeist ist die PLC der Steuerungsebene proprietär an ein HMI-Panel der Prozessleitebene oder an die MES der Betriebsleitebene angebunden. Damit diese proprietär und starr implementierte Architektur aufgebrochen wird, um die beschriebenen Aufgaben ab der Transportschicht zu ermöglichen, sind standardisierter Kommunikationsprotokolle service-orientiert angewendet worden (vgl. Abbildung 14). Hierbei wurde der Standard Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) nach Abbildung 15 eingesetzt.

OPC UA hat sich aus dem ehemaligen Standard OPC (englisch: *Open Platform Communication, OPC*) weiterentwickelt. Derzeitig ist dieser Standard in der Industrie weit verbreitet. Die Zielsetzung der Anwendung von OPC UA hat darin gelegen, eine Skalierbarkeit für den Einsatz in verschiedenen Anwendungsgebieten so zu erreichen, dass es nicht nur als Protokoll zwischen Geräten der Feldebene oder der Steuerungsebene zur Betriebsleitebene angewendet wird, sondern den Wandel der Automatisierungspyramide zur Integration in das Cloud Ökosystem begleitet.

OPC UA besitzt eine service-orientierte Architektur, die aus mehreren Schichten besteht. Losgelöst von konkreten Implementierungsmethoden und -techniken werden in seinen Spezifikationen der Datenaustausch für eine sichere, zuverlässige, interoperable sowie Hersteller- und Plattform-unabhängige Kommunikation als Architekturparadigma beschrieben. Konzeptionell siedelt es sich sowohl im TCP/IP-Schichtenmodell als auch im OSI-Modell in den verarbeitungsorientierten Schichten an. Datenpakete des PLC-Absenders aus der Steuerungsebene wurden durch die Transportschicht an entsprechende Zielanwendungen eines Empfängers versendet. Dabei definiert die OPC UA Datenmodell-Schicht die

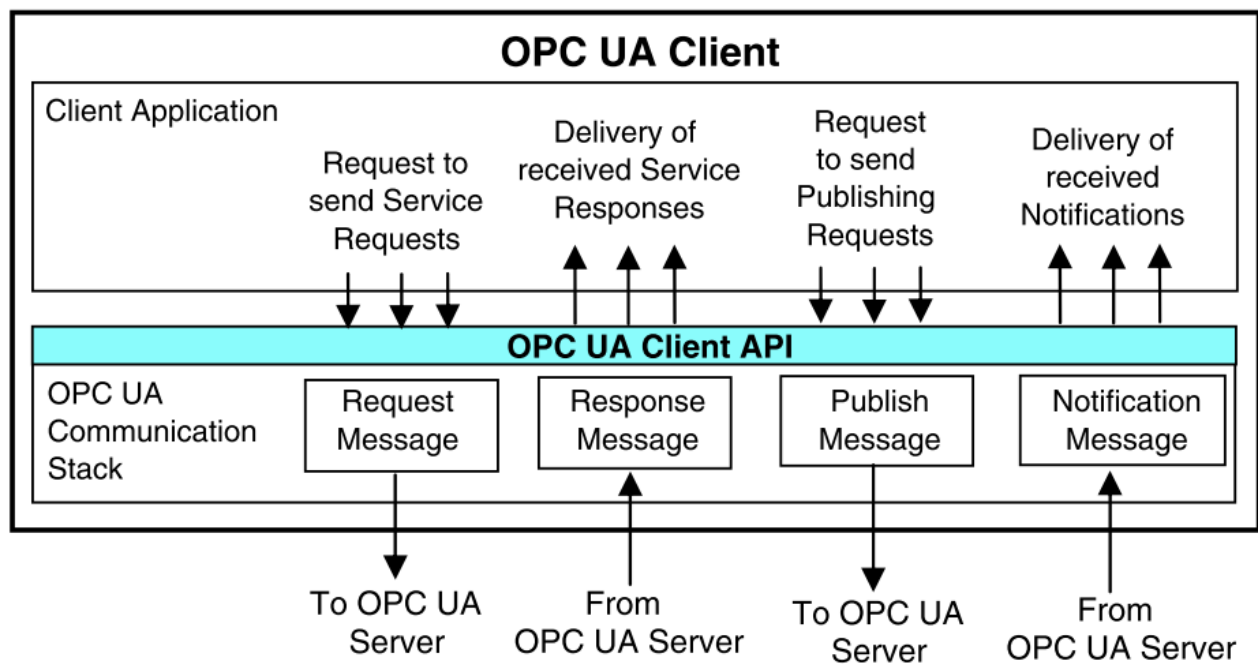


Abbildung 16: OPC UA Architektur (OPC Foundation 2021)

grundlegenden Konzepte der Informationsmodellschicht wie etwa DA (englisch: *Data Access*, DA), AC (englisch: *Alarms and Conditions*, AC), HA (englisch: *Historical Data Access*, HA) oder Prog (englisch: *Programs*, Prog). Zudem sind Regeln für die Bereitstellung eines objektorientierten Adressraums aufgestellt worden, worin Objekte aus Variablen und Methoden bestehen und Ereignisse auslösen können.

Alle Informationen des PLC-Absenders aus der Steuerungsebene sind nach Abbildung 16 typisiert worden, so dass diese als Typen im Adressraum des OPC-Servers bereitgestellt wurden. Dadurch wurde ermöglicht, dass von einer beliebigen OPC-Client Anwendung über eine API (englisch: *Application Programming Interface*, API) Nachrichten anzufordern (englisch: *Request Message*), Antwortnachricht zu erhalten (englisch: *Response Message*), Nachricht zu veröffentlichen (englisch: *Publish Message*), sowie Benachrichtigungsnachrichten zu erhalten (englisch: *Notification Message*).

Nachdem die Konnektivität für die MPS Lernfabrikumgebung bestimmt, aufgebaut sowie entsprechende standardisierte Protokolle zur Kommunikation weiterentwickelt wurden, sind zur Erfüllung der dritten Voraussetzungen die Kompatibilität zwischen der Konnektivität und Kommunikation zum Ablaufprogramm der Steuerungsebenen analysiert, angepasst sowie weiterentwickelt, die sowohl in der Automatisierungstechnik als auch im Cloud Ökosystemen angewendet werden können. Hierfür wurde zur Modellierung des Ablaufprogramms Siemens TIA v.15.1 herangezogen.

Die Norm DIN EN 61131-3 definiert die Grundlagen der SPS-Programmierung. Eine Auswahl der textbasierten oder grafischen Programmierung steht dem Anwender zur Verfügung. Während strukturierter Text (ST) und stehende Anweisungsliste (AWL) textbasiert sind, zeichnen sich Kontaktplan (KOP) und die Funktionsbaustein-Sprache (FBS) durch die grafische Verbindung aus. Werden einzelne FBS zu einem Ablauf zusammengesetzt, so wird auch von einem Funktionsplan (FUP) gesprochen. Für eine modulare Wiederverwendung stehen einzelne Standard-Bibliotheken zur Verfügung.

Ein Programm wird in drei Schritten zyklisch gelesen. Dabei wird es sequenziell ausgeführt. Der Zyklus beginnt mit dem Einlesen des Eingangssignals, welche das Sensordatum am verkabelten EingangspIN repräsentiert. Nach dem Einlesen wird im Logikprozess des Funktionsbausteins (FB) die Adressierung im Arbeitsspeicher durchgeführt. Anschließend werden die Funktionspläne, die im Einzelnen aus aufeinander folgenden Funktionsbausteine bestehen, in der Central Processor Unit (CPU) verarbeitet. Schließlich erfolgt die Ausgabe der Verarbeitung.

Für einen reibungslosen Ablauf in einem automatisierten Prozess, der aus vielen Funktionsplänen und einer noch größeren Anzahl an Funktionsbausteinen wurde die logische Verknüpfung erstellt sowie weiterentwickelt. Exemplarisch sind in Abbildung 17 drei Funktionsbausteine grafisch dargestellt. Hierbei stellt FB „*Pneumatik_OneWay*“ mit der Adressierung %Q0.1 das Auslösen des Vakuums eines Aktors der Ansaugung dar. Analog dazu verantworten FB „*Pneumatik_OneWay_Horizontal*“ und FB „*Pneumatik_OneWay_Vertical*“ das horizontale und vertikale Auslösen des jeweiligen Pneumatik-Zylinders (vgl. Abbildung 10).

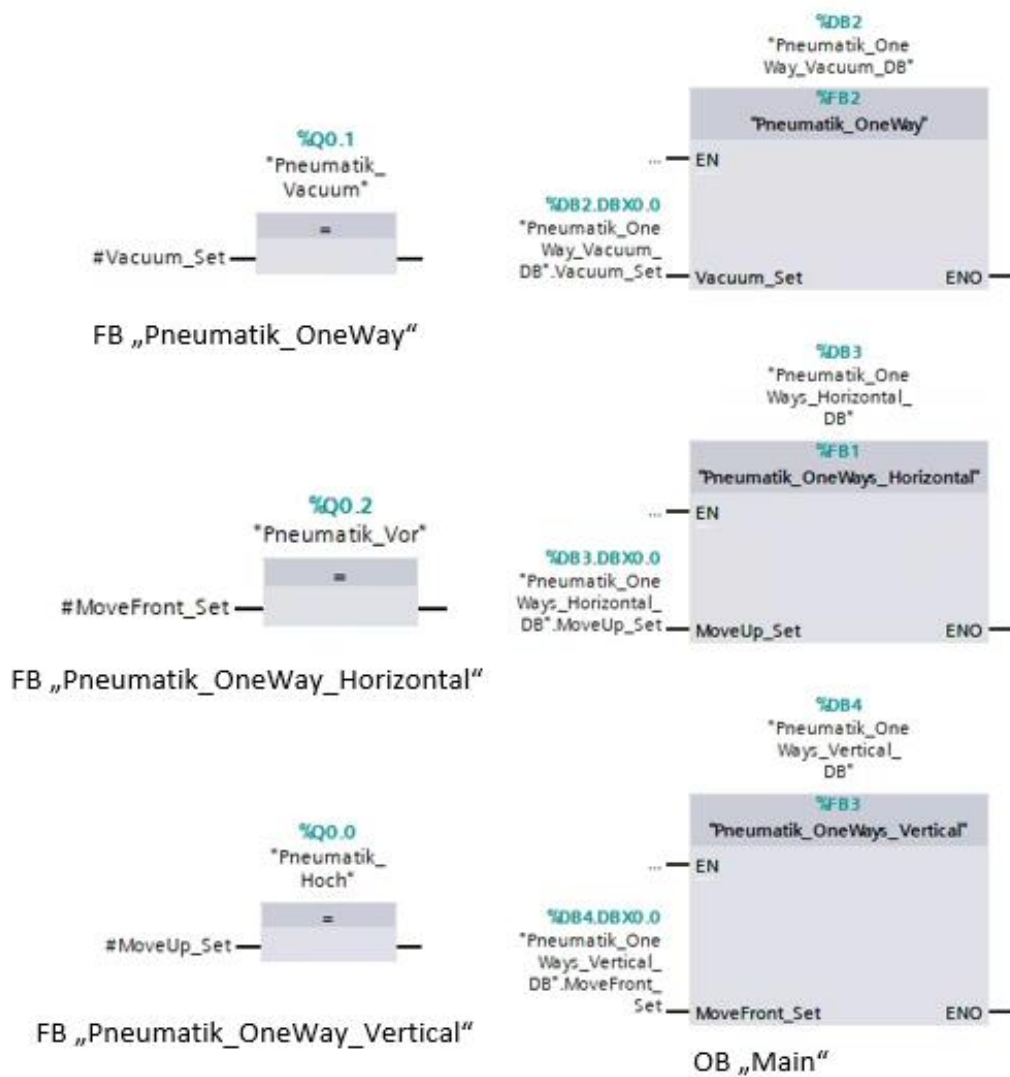


Abbildung 17: Exemplarische Funktionsbausteine einer PLC

Die Komplexität des Ausbaus der Konnektivität und Kommunikation der Lernfabrikumgebung ist dadurch beherrscht worden, indem Hardwareschnittstellen zur Gewährleistung der Konnektivität zwischen den beteiligten physischen Systemen bestimmt wurden. Bezogen auf die Konnektivität sind entsprechende standardisierte Kommunikationsprotokolle und -dienste in Form von OPC UA eingerichtet worden. Die Kompatibilität zwischen der Konnektivität und Kommunikation ist im logischen Ablaufprogramm der Steuerungsebene ausgelegt und weiterentwickelt worden. Somit ist eine Basis für eine informationstechnische Integration zum Cloud Ökosystem erstellt worden.

5.3.2 Informationstechnische Integration zum Cloud Ökosystem

Die Technologie des Internet der Dinge (englisch: *Internet of Things*, IoT) hat sich in den letzten Jahren nicht nur in Konsumgüter gefestigt, sondern findet auch Einzug in die intelligente Produktionsumgebung. Im Vergleich zum IoT der Konsumgüter stellt die Produktionsumgebung insbesondere bei der Datenerfassung und Datenintegration unterschiedliche Voraussetzungen bereit. Die Besonderheit liegt hierbei, dass sich die informationstechnische Architektur einer Produktionsumgebung an die klassische Automatisierungspyramide nach der Norm ISA-95 orientiert. Somit sind technologische Erweiterungen für jede Ebene der Automatisierungspyramide durchzuführen.

Basierend auf den Ergebnissen des vorherigen Abschnitts, wird in Abbildung 18 die Übersicht zur informationstechnischen Integration ins Cloud-Ökosystem vorgestellt. Während außerhalb des Cloud-Ökosystems die informationstechnische Architektur der MPS Lernfabrikumgebung ausgebaut (vgl. Abbildung 11) sowie Schnittstellen zur Nutzung standardisierter Kommunikationsprotokolle service-orientiert entwickelt wurden, sind mit Unterstützung chinesischer Experten sowohl die hardwareseitige Inbetriebnahme der Cloud Server als auch softwareseitige Installationen des Cloud-Ökosystems auf gesicherten Servern der TU Darmstadt durchgeführt worden.

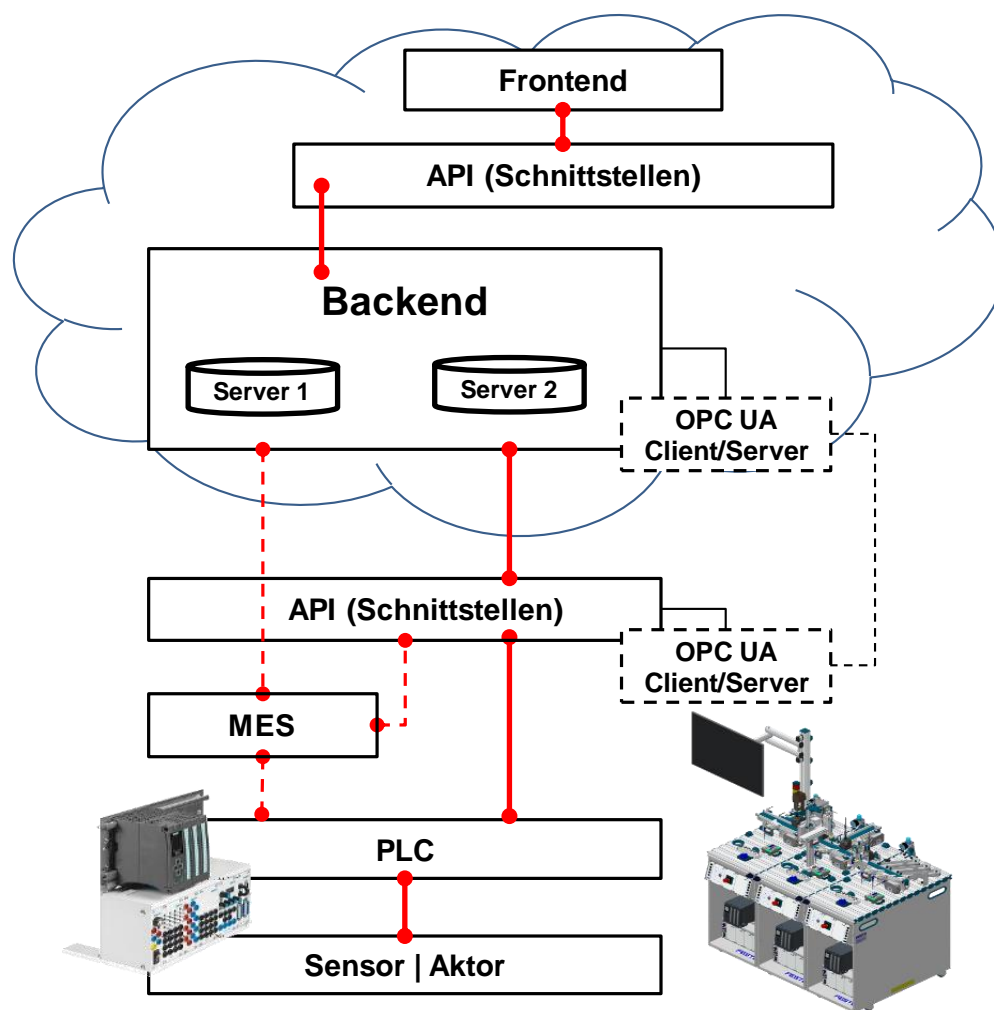


Abbildung 18: Übersicht zur informationstechnischen Integration ins Cloud-Ökosystem

Das Cloud-Ökosystem setzt sich im Wesentlichen aus zwei Bereichen zusammen. Der erste Bereich ist das Frontend, das mit einer Benutzeroberfläche sich am Nutzer orientiert. Die Benutzeroberfläche kann grafisch oder textuell gestaltet sein. Der zweite Bereich ist das Backend, das sich am betriebenen und verarbeitenden System orientiert. Damit eine Auswahl aus dem Frontend heraus an das Backend gesendet wird, müssen Schnittstellen für eine reibungslose Operation entwickelt sein, die das Frontend mit dem Backend verbindet. Im Folgenden wird die Detaillierung der Integration zur informationstechnischen Architektur des Cloud-Ökosystem INDICS des chinesischen Partners CASICloud anhand der Abbildung 19 erläutert.

Zur Ausgestaltung und der flexiblen Anbindung eines Frontends wurde das Konzept des Software-as-a-Service (SaaS) herangezogen. Externe Anwendungen in Form von INDICS Apps können über eine Schnittstelle service-orientiert auf die implementierten Funktionalitäten des Backends zugreifen. Hierfür wurde HTTP (englisch: *Hypertext Transfer Protocol*, HTTP) eingesetzt, sodass Client-Anwendungen auf die Serverfunktionalitäten über die „*DataAquisitionAPI*“ zugreifen können. Mit dem Zugriff der Daten geht das SaaS nahtlos in das Konzept Data-as-a-Service (DaaS) über, indem die „*DataAquisitionAPI*“ die im Backend verarbeiteten Daten service-orientiert bereitstellt. Die hardwareseitige Implementierung der INDICS DaaS-Ebene zeichnet sich mit dem Konzept Infrastructure-as-a-Service (IaaS) aus, indem zwei leistungsstarke Server am Hochschulrechenzentrum der TU Darmstadt installiert wurden.

Der Kern des Cloud-Ökosystems liegt in der DaaS-Ebene, das sich in zwei Bereiche unterteilt. Beide Bereiche bieten Funktionalitäten der serverseitigen Datenerfassung und -verarbeitung an und greifen auf „*Apache Tomcat*“ (*tomcat*) und „*Apache Kafka*“ (*Kafka*) zurück. Während in „*Apache Tomcat*“ eine Webcontainerstruktur mit HTTP Verbindung zum eigenständigen Betrieb von Webservern implementiert wurde, wurden dessen weitergeleiteten Datenströme zur Verarbeitung, zur Speicherung, zum temporären Laden sowie zum Export in Clustern mittels „*Apache Kafka*“ realisiert.

Für Anwendungen, die eine Verarbeitung in nahezu Echtzeit bedürfen, ist eine Struktur konzipiert worden, dass „*Kafka*“ den Datenfluss an „*Apache Storm*“ (*Storm*) weiterleitet, um verteilte Berechnungen bei gleichzeitig vielzähligen Datenströmen durchführen zu können. „*Apache Memcached*“ (*Memcached*) ist in der parallelen Struktur angebunden, damit Datenbankleistungen durch Zwischenspeichern von Daten im Arbeitsspeicher beschleunigt wird. Somit wurde gewährleistet, dass Anwendungen mit Anforderungen in nahezu Echtzeit performanter auf Datenbanken zugreifen können. Mittels des Einsatzes von Datenbankverwaltungssystemen unterschiedlicher Systemarchitekturen wurde die Zugriffsberechtigung auf Datenbanken in einen internen und externen Bereich unterteilt. Während das verteilte Datenbankverwaltungssystem „*Apache Cassandra*“ (*Cassandra*) zusammen mit dem dokumentenorientiertem Datenbankverwaltungssystem „*MongoDB*“ die Skalierbarkeit und Resilienz bei großen verteilten Systemen intern absichert, wurde „*MySQL*“ als relationales Datenbankverwaltungssystem angewendet, um die Bereitstellung von Webservices für externe Anwendungen zu gewährleisten.

Parallel zu der Verarbeitung in nahezu Echtzeit ist ein Bereich eingerichtet worden, der historische Daten erfasst, aufzeichnet sowie verarbeitet. Aus „Kafka“ heraus werden die in nahezu Echtzeit gewonnenen Daten auf einem „Apache Hadoop Base“ (*Hadoop Base*) Datenbank überführt. Insbesondere für Big Data Anwendungen ist auf „Apache Hadoop HDFS“ (*Hadoop Distributed File System, HDFS*) zurückgegriffen worden, da die Datenstrukturen des historischen Bereiches dadurch vom nahezu Echtzeit Bereich unterscheiden, dass diese seltenen Veränderungen, jedoch ein hohes Aufkommen an Ergänzungen unterliegen.

Zudem wurde für das Mapping systeminterner Verarbeitung großer Datenmengen und Datenströmen auf die Anfrageverwaltung großer Datenflüsse mittels „MapReduce“, „Apache Hive“ (*Hive*) sowie „Apache Pig“ (*Pig*) realisiert. Zur funktionalen Verarbeitung und Integration des Einsatzes von Algorithmen des maschinellen Lernens sind „Apache Mahout“ (*Mahout*) und dessen Bibliotheken „MLlib“ in Kombination mit Steigerung leistungsfähiger Abfrage mittels „Apache Impala“ (*Impala*) eingebunden worden. Eine zusätzliche „MySQL“ als relationales Datenbankverwaltungssystem wurde angebunden, um die Bereitstellung von Webservices für externe Anwendungen zu gewährleisten.

Für eine informationstechnische Integration zum Cloud Ökosystem auf Basis des Ausbaus der Konnektivität und Kommunikation der Lernfabrikumgebung sind über die gesamte Projektlaufzeit zwei IoT Boxen zum Einsatz gekommen. Beide unterscheiden sich in ihren hardwareseitigen Leistungsmerkmalen. Funktional besitzen IoT Boxen Eingangs-Schnittstellen, welche durch OPC UA angesprochen werden können, sowie Ausgangs-Schnittstellen, die durch HTTP angesprochen werden.

Außerhalb der Data-as-a-Service Ebene wurde das MES sowie Anwendungserweiterungen am DiK mittels TCP/IP und OPC UA bidirektional angebunden. Ein Digitaler Zwilling der Lernfabrikumgebung ist erstellt worden, der diese bidirektionale Konnektivität und Kommunikation präsentiert. Diese Anwendungserweiterung erlaubt eine Steuerung der Anlage aus dem Digitalen Zwilling heraus. Alternativ ist eine zeitgleiche kollaborative Steuerung aus dem MES heraus möglich. Die visuelle Darstellung des Digitalen Zwillings wurde mittels Imports von realen CAD-Modellen in Unity realisiert. Hierbei bewirkt eine Steuerung der Lernfabrikumgebung aus dem Digitalen Zwilling heraus eine nahezu zeitgleiche Ansteuerung in der realen Produktionsanlage. Eine Steuerung der Lernfabrikumgebung am MES bewirkt eine nahezu zeitgleiche Ansteuerung im Digitalen Zwilling der Anlage.

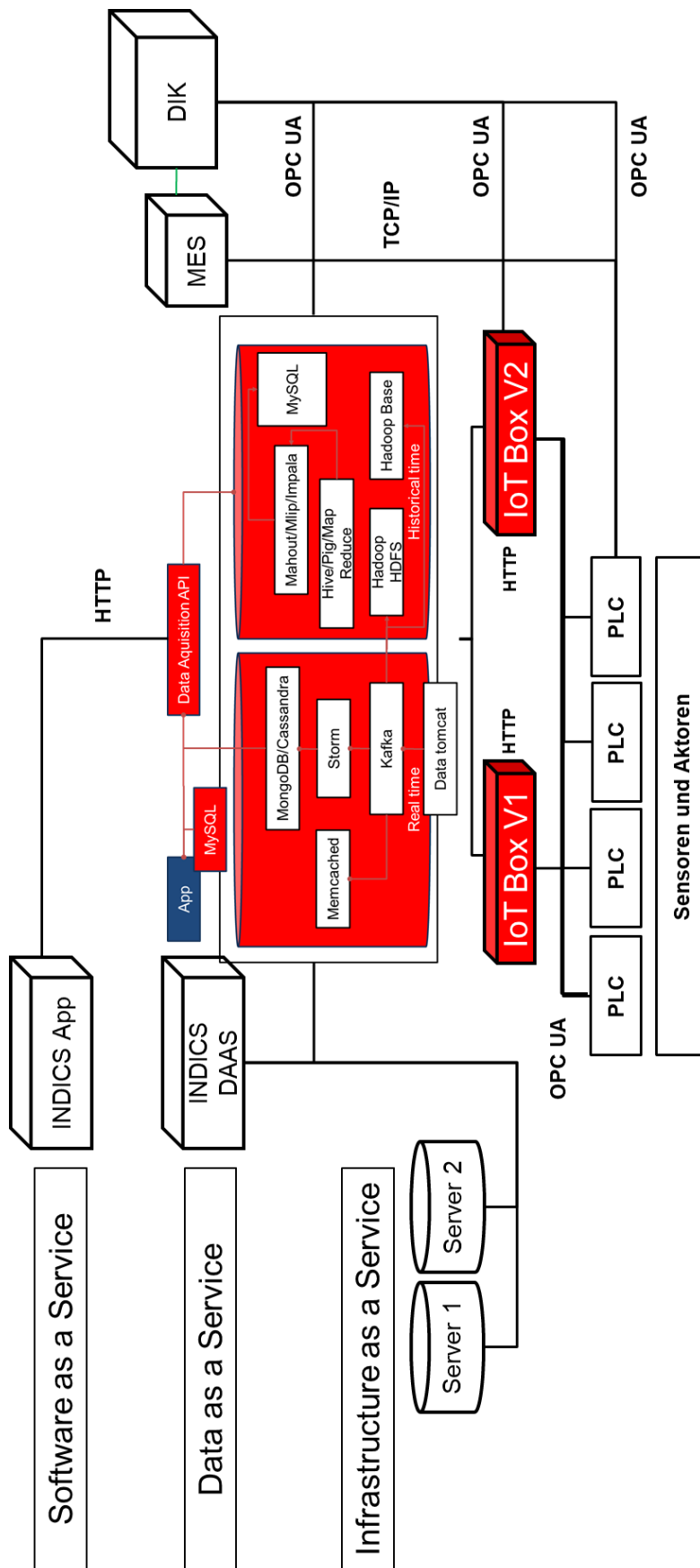


Abbildung 19: Informationstechnischen Architektur des Cloud-Ökosystem

5.4. Produktionsprozess der Lernfabrikumgebung

Die Lernfabrikumgebung besteht aus einer Verteilstation (englisch: *Distribute Station*) mit drei Vorräten, die für das Bunkern, Ordnen und Zuführen von Werkstücken verantwortlich sind. Das gesamte System ist über Feldbus vernetzt und mit mehreren RFID Schreib-/Leseköpfen (englisch: *radio-frequency identification*, RFID) ausgestattet (vgl. Abbildung 10). Die Aufträge werden im mitgeführten MES System erstellt und von der Anlage verarbeitet.

Die Werkstücke können dabei abhängig vom Auftrag vereinzelt ausgegeben werden. Auf dem Förderband der ersten Station werden über ein RFID-Schreibkopf auftragsbezogene Informationen wie beispielsweise die Auftrags- und Positionsnummer auf einen RFID-Tag geschrieben. Dieser befindet sich im Werkstück eingelegt. Es besteht keine Kommunikationsschnittstelle zwischen dem RFID-Lesegerät und dem MES-System. Dadurch wird die Produktion nicht mittels einer Auftragsinformation im RFID-Tag des Werkstücks gesteuert. Die Produktion ist demnach nicht bauteilgetrieben.

An der Fügestation (englisch: *Joining Station*) existieren eine Trennvorrichtung, ein Busknoten und ein zusätzlicher RFID Schreib-/Lesekopf. Das zentrale Element ist hierbei die Einheit Pick & Place, welches am vorderen Ende ein Vakuumsauger angebracht ist. Die Deckel der Werkstücke werden dadurch einzeln angesaugt und zum Werkstück transportiert. Das einzelne Werkstück wird anschließend auf dem Förderband zur Sortierstation (englisch: *Sorting Station*) weitergeleitet.

An der Sortierstation befindet sich ein abschließender RFID Schreib-/Lesekopf, der auftragsbezogen einen Separator auslöst, um den zusammengefügte Deckel mit dem Werkstück in das entsprechende Lager zu befördern. Am Rutschbereich des Lagers befindet sich ein Lichtsensor,

Mittels des Pert-Diagramms (englisch: *Program evaluation and review technique*, Pert) wurde der Prozessablauf sowohl für die informationstechnische Analyse als auch für die schulungsdidaktischen Inhalte entwickelt und aufgebaut (Abbildung 20). Das Produkt durchläuft drei Stationen: Verteilen, Fügen und Sortieren. Diese sind als Operationen in Form eines schwarzen Rechtecks dargestellt. Das Auswerfen des Werkstücks und das Reinfahren der Station stellt einen zu erfassenden Operationsschritt dar. Der jeweilige Schritt wird mit der entsprechenden Station (Verteilstation, Fügestation, Sortierstation) als Ressource durchgeführt. Zusätzlich werden an dieser Stelle das Beschreiben und Auslesen des RFID-Tags als Operation festgehalten. Lese- und Schreibgeräte hingegen werden als Ressource betrachtet. Das Bauteil, welches in der Produktion zu einer Baugruppe montiert wird, ist in der Abbildung 20 als Werkstück bezeichnet. Dabei handelt es sich um einen Behälter, welcher in verschiedenen Farben vorhanden vorliegt.

Im Operationsschritt „Fügen“ wird auftragspezifisch entschieden, ob ein Deckel montiert wird oder nicht. Daher existiert ein Parallelpfad. Die Deckel befinden sich auf einem Lagerband und werden bei Bedarf entsprechend durch einen Vakuumsauger aufgenommen und mit dem Werkstück zum Fertigteil zusammengesetzt. Im letzten Schritt wird das behandelte Werkstück in eine der drei Bahnen durch das Aktivieren eines Separators einsortiert.

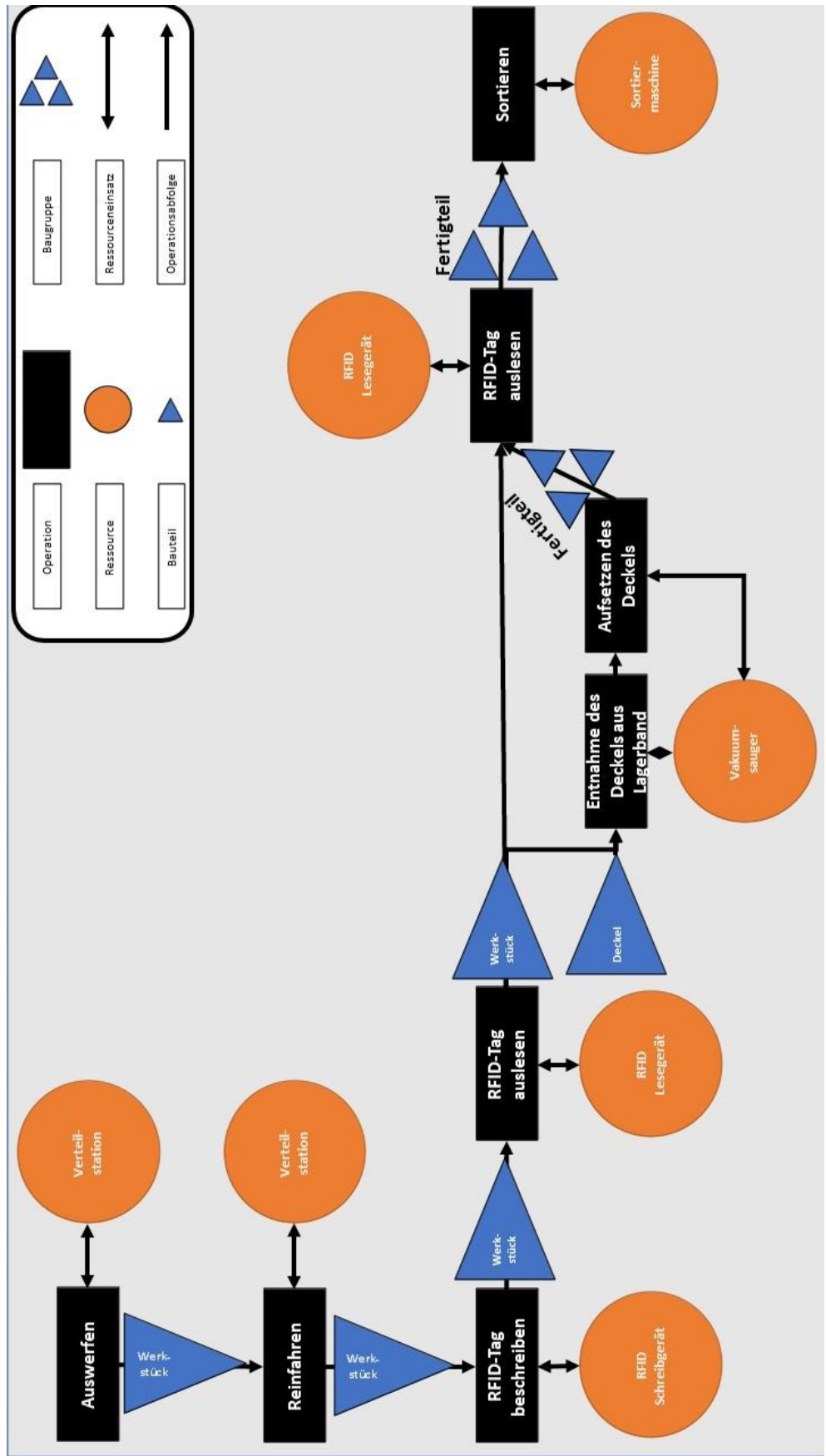


Abbildung 20: Pert-Diagramm des Prozessablauf der Lernfabrikumgebung mit Werkstück

5.5. Entwicklung und Umsetzung des didaktischen Konzepts

Auf Basis der gesammelten Kompetenzbedarfe wurde ein Schulungskonzept erarbeitet. In einem vorgelagerten E-Learning werden zunächst die Vorteile, Grundlagen der Technologie und Beispiele der drei Technologien gezeigt. Zusätzlich werden Grundlagen der Wertstromanalyse vermittelt, die für die Bearbeitung einiger Aufgaben benötigt werden. Vor Ort wird zunächst in die Bedienung und Funktionsweise der MPS eingeführt, bevor das Wertstromabbild einer fiktiven „CaMPuS-Company“ vorgestellt wird. Die MPS stellt die Montagelinie der CaMPuS-Company dar. Anschließend werden die Technologien vertieft (Abbildung 21).

E-Learning (im Vorfeld)	2-tägiges Training vor Ort	
<ul style="list-style-type: none"> • Traceability <ul style="list-style-type: none"> • Vorteile • Technologien • Beispiele • Werkerassistanzsysteme <ul style="list-style-type: none"> • Vorteile • Technologien • Beispiele • Cloud-Dienste für die Produktion <ul style="list-style-type: none"> • Vorteile • Technologien • Beispiele • Wertstromanalyse 4.0 <ul style="list-style-type: none"> • Grundlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Einführung in das MPS-System <ul style="list-style-type: none"> • Vorgehensweise bei der Inbetriebnahme • Einführung • Traceability <ul style="list-style-type: none"> • Rekapitulation der Theorie des E-Learnings • Verstehen der Technologie durch die Arbeit mit der MPS-Station • Auswirkung der Traceability auf den Wertstrom • Werkerassistanzsysteme (WAS) <ul style="list-style-type: none"> • Rekapitulation der Theorie des E-Learnings 	<ul style="list-style-type: none"> • Verstehen der Technologie durch die Arbeit mit der MPS-Station • Auswirkung der WAS auf den Wertstrom • Cloud-Dienste für die Produktion <ul style="list-style-type: none"> • Rekapitulation der Theorie des E-Learnings • Verstehen der Technologie durch die Arbeit mit der MPS-Station • Auswirkung der Cloud-Dienste auf den Wertstrom

Abbildung 21: Aufbau der Schulung

Für alle drei Technologien werden für die Aufgaben wichtige Grundlagen wiederholt und Handlungsaufgaben an die MPS gestellt. Es werden zum Beispiel Reichweite, Fehleranfälligkeit und die Logik in der aktiven Traceability ausprobiert, die Leistungsfähigkeit von WAS durch Augmented Reality erfahren und die Anbindung von einer modernen SPS in einen Cloud-Dienst erlernt. Über das Praktische hinaus erfolgt immer wieder eine Reflektion anhand der CaMPuS-Company, welche Vorteile diese Technologien im Wertstrom umsetzen können. Der anfangs eingeführte Zustand der Company ist an der Ausgangssituation der besuchten chinesischen Unternehmen orientiert. Die erste Aufgabe liegt in der Identifikation der Potentiale (Abbildung 22).

Campus company: waste analysis

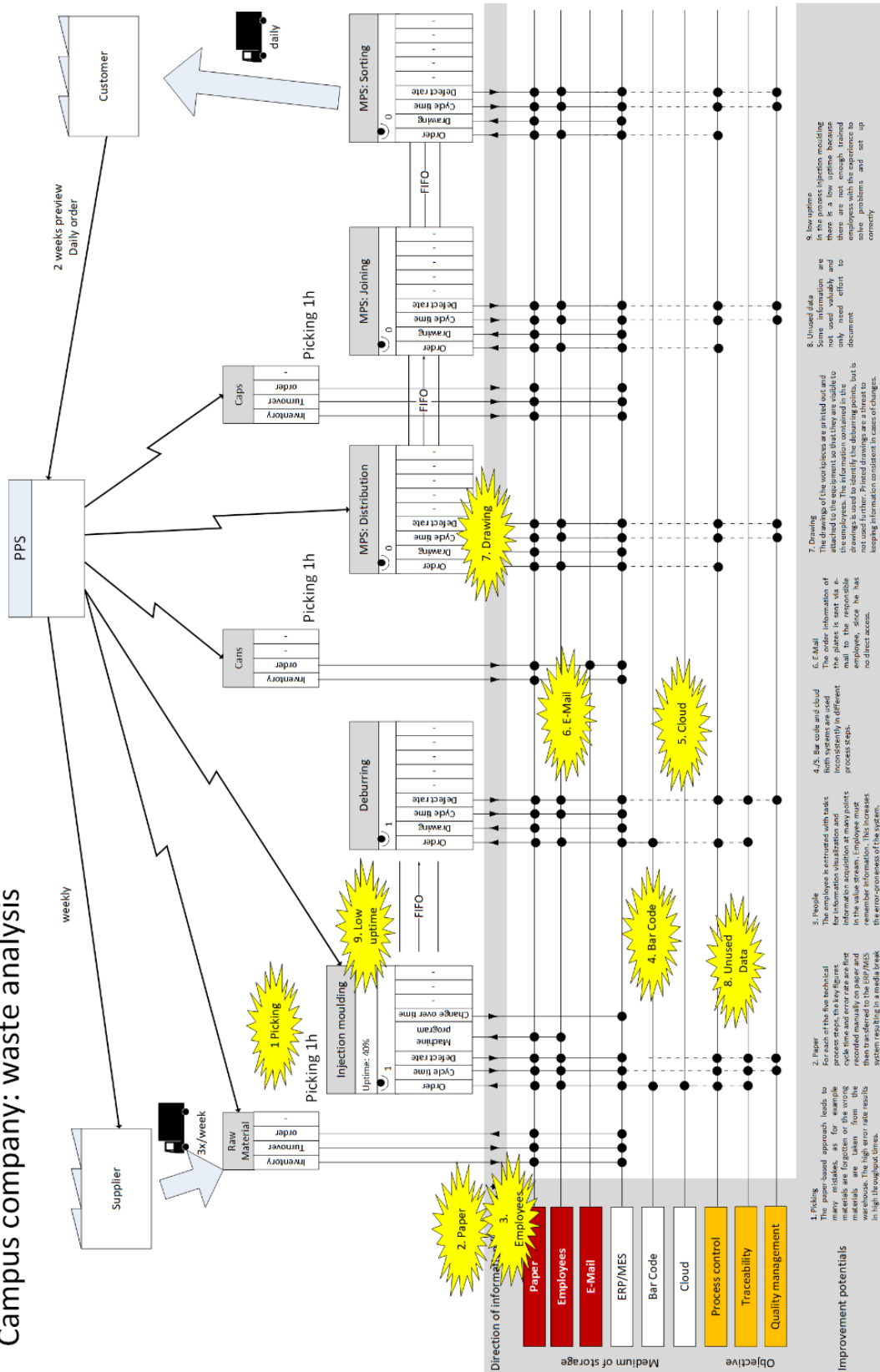


Abbildung 22: Potentiale in der Ausgangssituation der CaMPuS-Company

Im Laufe der Schulung werden die Potentiale nach und nach durch den Einsatz der Technologien behoben. Die Teilnehmenden erzeugen so den Zielzustand selbst (Abbildung 23).

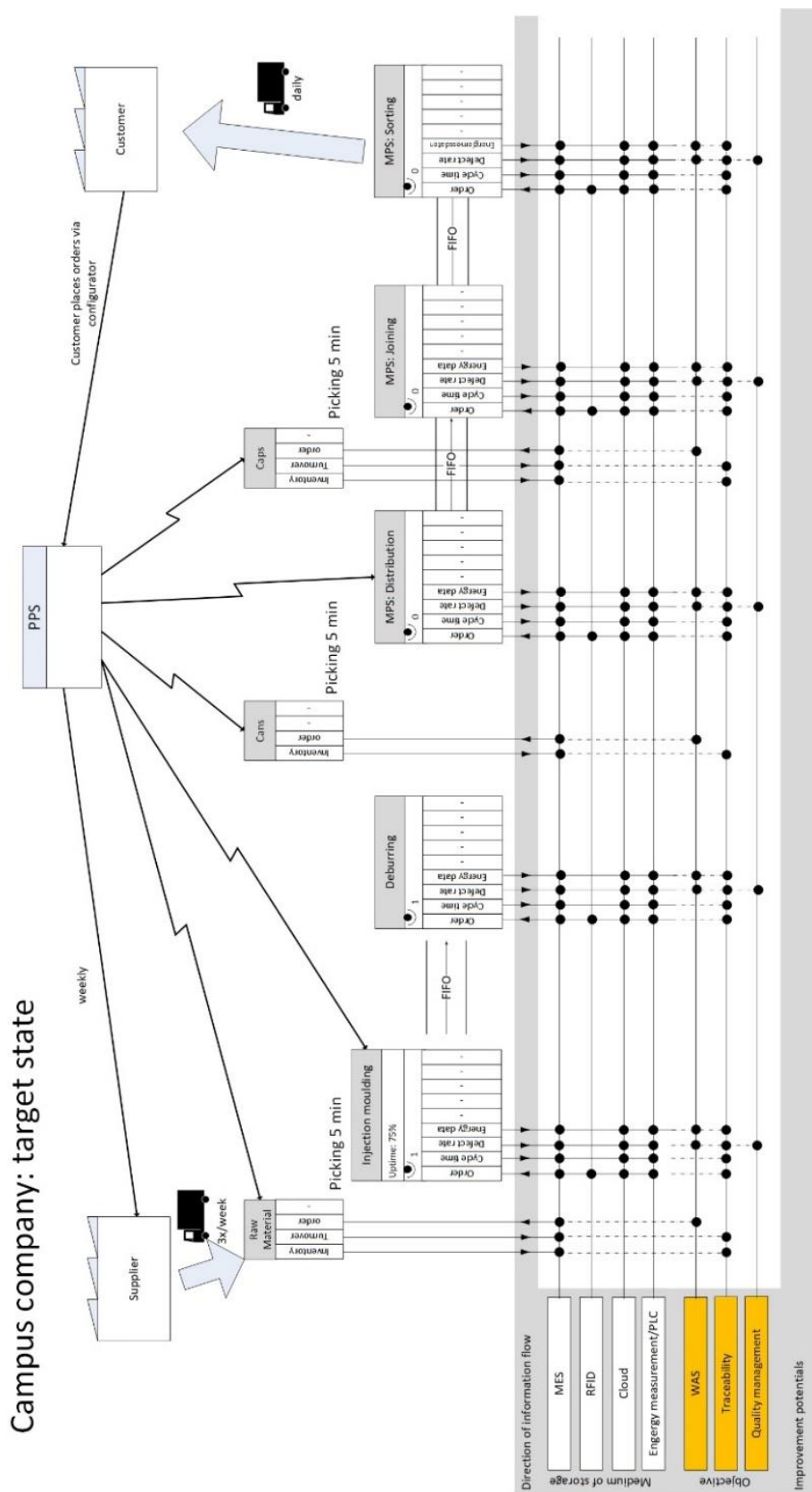


Abbildung 23: Zielzustand der CaMPuS-Company

Die Schulungsunterlagen liegen auf Englisch und Chinesisch vor und wurden in Deutschland sowie China getestet und nach deren Feedback angepasst. Die Vor-Ort Schulung war zunächst auf Gruppengrößen mit 8-12 Teilnehmenden und Trainern geplant. Aufgrund der Coronapandemie und dem Verbot von größeren Gruppen, insbesondere in geschlossenen Räumen, wurden auch die Vor-Ort Anteile selbsterklärend im CMS umgesetzt und sind im Selbststudium durchführbar. Zur Förderung des Austausches werden Kleingruppen von drei Personen empfohlen.

5.6. Transfer der Ergebnisse

Begleitend zu den inhaltlichen Fortschritten wurden die Ergebnisse auf Konferenzen und Veranstaltungen vorgestellt und über das Schulungsangebot zu informieren. Tabelle 3 und die folgenden Auflistungen zeigen die Austauschveranstaltungen, Konferenzen und Veranstaltungen mit Beteiligung von CaMPuS.

Tabelle 3: Austauschveranstaltungen

Stelle	Inhalt
Deutsch-Chinesische Arbeitsgruppe Unternehmen zu Industrie 4.0 und intelligenter Fertigung (AGU)	Regelmäßiger Austausch der Erfahrungen mit deutschen und chinesischen Experten aus drei Expertengruppen (Digitale Geschäftsmodelle, Industrielles Internet, Zukunft der Arbeit). Erkenntnisse des CaMPuS-Projekts sind in die Konzepte und Beispiele mehrerer Veröffentlichungen der Expertengruppen eingeflossen.
Sino-German Standardization Cooperation Commission	Regelmäßiger Austausch der Erkenntnisse und Erfahrungen mit deutschen und chinesischen Experten aus drei Expertengruppen (RAMI4.0 / IMSA, IT Security, Predictive Maintenance).
Forcam GmbH, Woco GmbH	Regelmäßiger Austausch der Erkenntnisse und Erfahrungen mit der Geschäftsführung. Gemeinsame Veranstaltungen der Sensibilisierung bezüglich der Thematik Cloud Technologie.
Baur Ltd., Baite Tech Co Ltd.	Regelmäßiger Austausch der Erkenntnisse und Erfahrungen mit der Geschäftsführung. Gemeinsame Veranstaltungen zur Sensibilisierung bezüglich der Thematik Cloud Technologie.
International Coalition of Intelligent Manufacturing (ICIM)	Regelmäßiger Austausch der Erkenntnisse und Erfahrungen mit dem Academic Committee. Veranstaltungen zur Sensibilisierung bezüglich der Thematik Cloud Technologie (CHN Prof. Sachsenmeier, USA Prof. Kusiak).

Chinese Academy of Engineering (CAE)	Regelmäßiger Austausch der Erkenntnisse und Erfahrungen mit Bereichsleitung Intelligent Manufacturing, Academician sowie Ehrenpräsident Prof. Zhou Ji. Veranstaltung zur Sensibilisierung bezüglich der Thematik Cloud Technologie.
Chinese Mechanical Engineering Society (CMES)	Regelmäßiger Austausch der Erkenntnisse und Erfahrungen mit dem Hauptverband in Peking sowie lokalen Provinzverbänden.
Huazhong University of Science and Technology (HUST); Shanghai Institute of Technology (SIT); Beijing University of Science and Technology (BUST); Suzhou University; Nanjing Tech University	Austausch der Erkenntnisse und Erfahrungen durch gegenseitige Besuche sowie Workshops für gemeinsame Projekte. Gemeinsamen Veranstaltungen zur Sensibilisierung bezüglich der Thematik Cloud Technologie. Ausbau eines Programms zur Förderung von Nachwuchswissenschaftler. Einladung zur Gastprofessur an der Shanghai Institute of Technology.
Chinese Ministry of Industry and Information Technology (MIIT)	Austausch der Erkenntnisse und Erfahrungen durch gegenseitige Besuche sowie Workshops für gemeinsame Projekte in Ministeriumsabteilungen in Peking sowie lokalen Provinzabteilungen.
Artificial Intelligence Commercialization Research Center (AICRC), Korea	Austausch der Erkenntnisse und Erfahrungen bezüglich der Thematik Cloud Technologie sowie Workshops für gemeinsame Projekte.

Konferenzveröffentlichungen, -vorträge und -keynotes:

- Wang, Yübo; Tran, Thi Diem My; Anderl, Reiner (2018): *Toolbox Approach for the Development of new Business Models in Industrie 4.0*. In: Lecture Notes in Engineering and Computer Science: Proceedings of World Congress on Engineering and Computer Science 2018, S. 682-690, UC Berkeley, CA, USA, International Association of Engineers (IAENG)
- Wang, Yübo; Kreß, Antonio; Bayer, Christian; Keller, Thimo; Anderl, Reiner; Metternich, Joachim (2018). *Research Project CaMPuS, Toolbox Industrie 4.0 – Selected Chinese Enterprise – Current Production Status*. World Intelligent Manufacturing Summit, Nanjing PR China. 2018.10.13

- Anderl, Reiner; Wang, Yübo; Xudong, Chai; Metternich, Joachim; Kreß, Antonio; Bayer, Christian; Hopfensitz, Anja (2018). *Cloud-basierte intelligente Produktion in Lernfabriken – Forschungsprojekt CaMPuS*. Zweites Deutsch-Chinesischen Industrie 4.0-Symposium zur Intelligenten Fertigung und Vernetzung der Produktionsprozesse 2018, Peking PR China 2018.11.19-20,
- Wang, Yübo; Zingel, Philipp; Anderl, Reiner (2019): *A Methodical Approach for Using SysML to Optimize Product Architectures for Industrie 4.0*. In: Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2019 IMECS 2019: March 13-15, In: Lecture notes in engineering and computer science, S. 368-390, Hong Kong, International Association of Engineers
- Wang, Yübo; Anderl, Reiner (2019). *TechTalks4.0 - What do workers do in an autonomous factory*. 2019 Sino-German Intelligent Manufacturing Cooperation Forum, Changsha PR China. 2019.05.23-24
- Wang, Yübo; Olbort, Johannes; Anderl, Reiner (2019). *Influence of Cloud Computing and AI for Workers and Vocational Training*. International Conference on Industrial Internet, Chengdu PR China. 2019.06.15
- Metternich, Joachim; Anderl, Reiner; Xudong, Chai; Wang, Yübo; Olbort, Johannes; Müller, Marvin; Bayer, Christian; Hopfensitz, Anja (2019). *Research Project CaMPuS*. Third Sino-German Annual Conference of State Secretaries and Vice Ministers on Intelligent Manufacturing, Berlin 2019.11.12-13
- Wang, Yübo; Xudong, Chai; (2019). *Teaching cloud-based skills in the Learning Factory*. Third Sino-German Annual Conference of State Secretaries and Vice Ministers on Intelligent Manufacturing, Berlin 2019.11.12-13
- Anderl, Reiner; Wang, Yübo; Olbort, Johannes (2020). *Smart Model-Based Engineering*. International Conference on Industrial Internet, Chengdu PR China. 2020.06.15
- Wang, Yübo; Olbort, Johannes; Anderl, Reiner (2020). *Potential of Cloud-/Edge Computing Technologies in Manufacturing Environment for Future Vocational Education and Workers*. International Conference on Industrial Internet, Chengdu PR China. 2020.06.15
- Anderl, Reiner; Wang, Yübo; Olbort, Johannes (2020). *Industrie 4.0 - Strategies, Research and Technology*. Founding Meeting of China-Germany Intelligent Manufacturing Science and Technology Innovation Cooperation Network (CGIMST) and Technical seminars. 2020.10.29

Veranstaltungen:

- Veranstaltung Keynote und Podiumsdiskussion auf der Hannover Messe 2019 „Chinesisch-Deutsches Kooperationsforum für intelligente Produktion 2019“ (2019.04.01 ca. 100 Teilnehmer)
- Veranstaltung mit BDI, IHK, Stiftung Tönissteiner Kreis zur Sensibilisierung der Thematik Cloud Technologie (2019.04.24-26, ca. 20 Teilnehmer)

- Veranstaltung mit „chn. Verband der Stahlproduktion“ und Beijing University of Science and Technology (virtuelles Meeting 2020.09.28, ca. 25 Teilnehmer)
- Virtueller Steckbrief und Kurzvorstellung CaMPuS “beyondwork2020“. (virtuelles Meeting 2020.10.21-22, 100-200 Teilnehmer)
- Veranstaltung mit „chn. Verband der Stahlproduktion“ und Beijing University of Science and Technology bei CASICloud (Vorort Veranstaltung 2020.10.23, ca. 15 Teilnehmer)
- Veranstaltung „Vernetzung China und Deutschland, Kontakt mit Hidden Champions“ (virtuelles Meeting 2020.11.04)

6. Fazit

CaMPuS hat es erreicht eine deutsch-chinesisches Lernfabrikfabriknetzwerk aufzubauen. Dazu wurden technologische Weiterentwicklungen im Bereich der MPS-Anlage umgesetzt: Integration der Energiemessung und von AR-Werkerassistenz. Neue Schulungsinhalte aufbauend auf der MPS wurden auf Englisch und Chinesisch erzeugt: Nicht nur können die betrachteten Technologien praktisch erlebt werden, auch deren Vorteile in der Verbesserung eines Wertstromes werden vermittelt. Mit der Anbindung der Cloud-Plattform Indics an die Lernfabrikmodule konnten die Arbeitspakete der chinesischen Partner unterstützt werden und in Deutschland existiert eine Instanz einer der führenden chinesischen Cloud-anbieter. Die identischen und vernetzten Lernfabrikstandorte in Deutschland und China ermöglichen den Austausch und die Weiterentwicklung der Didaktik und der Technologien im Bereich Industrie 4.0.

7. Literaturverzeichnis

- ABELE, EBERHARD; REINHART, GUNTHER. 2011. Zukunft der Produktion. Carl Hanser. München.
- ANDERL, REINER. 2015. Industrie 4.0 – technological approaches, use cases, and implementation. Automatisierungstechnik. Jg. 63. S. 753-765.
- BARNEY, JAY. 1991. Firm resources and sustained competitive advantage. Journal of management. Jg. 17. Nr. 1. S. 99-120.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF). 2013. Die neue Hightech-Strategie Innovationen für Deutschland. Publikationsverband der Bundesregierung. Rostock.
- KAGERMANN, HENNING; WAHLSTER, WOLFGANG; HELBIG, JOHANNES. 2013. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Securing the future of German manufacturing industry. acatech. Frankfurt.
- LIN TING YU; XIAO YINGYING; YANG CHEN; LIU XIAOLIANG; LI, BO HU; GUO, LIQIN; XING, CHI. 2016. Manufacturing Capability Service Modeling, Management and Evaluation for Matching Supply and Demand in Cloud Manufacturing. Springer. Singapore.
- MEIßNER, ALYSSA; GLASS, RUPERT; GEBAUER, CHRISTOPHER; STÜRMER, STÜRMER; METTERNICH, JOACHIM. 2017. Hindernisse der Industrie 4.0–Umdenken notwendig?. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Jg. 112. Nr. 9. S. 607-611.
- OLSEN, PETTER; BORIT, MELANIA. 2013. How to define traceability. Trends in food science & technology. Jg. 29. Nr. 2. S. 142-150.
- TISCH, MICHAEL, HERTLE, CHRISTIAN, CACHAY, JAN; ABELE, EBERHARD; METTERNICH, JOACHIM; TENBERG, RALF. 2013. A Systematic Approach on Developing Action-oriented, Competency-based Learning Factories. Procedia CIRP. Jg. 7, S. 580-585.
- ANDERL, REINER; PICARD, ANDRÉ; WANG, YÜBO; FLEISCHER, JÜRGEN; DOSCH, STEFFEN; KLEE, BENEDIKT; BAUER, JÖRG; VDMA UND PARTNER (URHEBER) (2015): Leitfaden Industrie 4.0 - Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. Frankfurt, VDMA Forum Industrie 4.0 ISBN: 978-3-8163-0677-1
- WANG, YÜBO; TRAN, THI DIEM MY; ANDERL, REINER (2018): Toolbox Approach for the Development of new Business Models in Industrie 4.0. In: Lecture Notes in Engineering and Computer Science: Proceedings of World Congress on Engineering and Computer Science 2018, S. 682-690, UC Berkeley, CA, USA, International Association of Engineers (IAENG)
- VOLKER P. ANDELFINGER UND TILL HÄNISCH, HRSG. INDUSTRIE 4.0: Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern. Wiesbaden und Heidelberg: Springer Gabler, 2017. isbn: 978-3-658-15556-8. doi: 10.1007/978-3-658-15557-5.

WANG, YÜBO; ZINGEL, PHILIPP; ANDERL, REINER (2019): A Methodical Approach for Using SysML to Optimize Product Architectures for Industrie 4.0. In: Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2019 IMECS 2019: March 13-15, In: Lecture notes in engineering and computer science, S. 368-390, Hong Kong, International Association of Engineers

Feldbuskommunikation. Hg. v. ACADEMIC - Academic dictionaries and encyclopedias. Online verfügbar unter: <https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/433519>

Martin, R.; Hering, E.; Gutekunst, J. Kempkes, J. (2018): Elektrotechnik und Elektronik für Maschinenbauer. Springer Vieweg. Berlin.

OPC Foundation (2021). OPC UA Online Reference: Client Server Overview. 2021. Online verfügbar unter: <https://reference.opcfoundation.org/Core/docs/Part1/6.1/>.