

# Hybride Lernfabrik im Anwendungszentrum Industrie 4.0

Szenariobasiertes Lernen im Industrial Internet of Things-Labor  
Norbert Gronau, André Ullrich, Benedict Bender

## 1. Einleitung

Industrielles Internet of Things (IIoT) bezeichnet den Einsatz von Internet of Things (IoT)-Technologien im Fertigungsumfeld (Palattella et al. 2013). IIoT-Technologien wie cyber-physische Systeme und Konzepte, wie intelligente Produktionsorganisation durch die Vernetzung von Entitäten, Informationsverfügbarkeit oder dezentrale Entscheidungsfindung durchdringen zunehmend industrielle Wertschöpfungsprozesse (Lee 2015, Broy/Geisberger 2012). Dies wird auch unter dem Paradigma Industrie 4.0 zusammengefasst (Kagermann et al. 2013). Die Vision von Industrie 4.0 ist die selbstorganisierte Fabrik, in der intelligente und teilautonome Objekte interagieren und es gelingt, die zunehmende Individualisierung der Produkte mit den Vorteilen von Großserienproduktion zu verbinden (Gronau 2015). Diese durch Technologien induzierte Transformation führt zu neuen Fabrikprozessen und Prozesslayouts. Damit einhergehend verändern sich auch die Aufgaben der Mitarbeiter. Dies wiederum bedingt neue Rollenbilder oder gar Aktivitätstypen bei den Mitarbeitern (Hirsch-Kreinsen 2015), wie z.B. den Systemregulierer (vgl. Schumann et al. 1990). Dementsprechend stehen Unternehmen und Mitarbeiter neuen Kompetenzanforderungen gegenüber. Diese sind unter anderem kontext-sensitive Anpassung und Steuerung wandlungsfähiger Prozesse oder Losgrößen, Maschinenparkorganisation sowie kollaborative und interaktive Arbeitsformen, auch über die Grenzen des eigenen Unternehmens hinweg. Konventionelle Kompetenzfacetten wie Fachkompetenz, Personalkompetenz, Kulturkompetenz, Methodenkompetenz, Führungskompetenz oder Sozialkompetenz sind nicht ausreichend, um diese neuen Anforderungen zu erfüllen (Pfeiffer 2015). Insbesondere Kompetenzfacetten wie Organisations-, Prozess- und Interaktionskompetenzen (im weiteren Verlauf werden diese als IIoT-Kompetenzen bezeichnet) sind von we-

sentlicher Bedeutung in diesem neuen IIoT-Umfeld (Böhle et al. 2013, Wiesner et al. 2016). Jedoch führt nur das ganzheitliche Zusammenspiel dieser Kompetenzfacetten zu einer kontextadäquaten Handlungskompetenz.

Lernfabriken bieten eine Basis für selbstgesteuertes und informelles Lernen (Enke et al. 2015). Konventionelle Lernfabriken entwickeln und transformieren sich zu digitalen Lernfabriken. Nichtsdestotrotz sind IoT-Technologien sowie deren Anwendung bei Qualifizierungsmaßnahmen in Lernfabriken bisher nur selten integriert. Bestehende Lernfabriken berücksichtigen IoT-Technologien nicht ausreichend. Dies führt zwangsweise zu Defiziten bei der Entwicklung von IIoT-Kompetenzen, welche sowohl in schulischer als auch in beruflicher Aus- und Weiterbildung deutlich unterrepräsentiert sind (acatech 2016). Um Mitarbeiter den Anforderungen entsprechend zu qualifizieren, müssen sich Lernfabriken an die neuen Anforderungen anpassen und ihre Weiterbildungskonzepte erweitern (Abele et al. 2015). Jedoch mangelt es an entsprechenden didaktischen Konzepten sowie damit verbundenen Lernumgebungen.

Diesem bedarfsgetriebenen Entwicklungspfad zur skizzierten Problemstellung steht ein forschungsgetriebener Entwicklungspfad gegenüber. Im BMWI-Verbundprojekt „Leistungsfähigkeitsbeurteilung unabhängiger Produktionsobjekte“ wurde unter anderem eine hybride Simulationsumgebung (Lass et al. 2012) entwickelt, mit der das Kontinuum zwischen zentraler und dezentraler Produktionssteuerung (Gronau et al. 2013) sowie damit einhergehend die Autonomie von Produktionsobjekten (Gronau 2016) untersucht wurden. Im BMBF-Verbundprojekt „MetamoFAB“ (Weinert et al. 2017) wurden unter anderem Industrie 4.0-relevante Kompetenzen von unterschiedlichen Tätigkeitstypen (Wiesner et al. 2016) untersucht sowie ein kontextsensitives Qualifizierungsvorgehen entwickelt (Ullrich et al. 2017). Aufbauend auf den generierten Artefakten und Erkenntnissen wurde die Wirksamkeit von szenariobasierten Qualifizierungsmaßnahmen unter Einsatz von IoT-Technologien untersucht. Die Weiternutzung der vorhandenen Infrastruktur und Kompetenzen bietet sich an, um die gewonnenen Erkenntnisse in die Breite zu tragen, indem ein Qualifizierungsangebot aufgebaut sowie entsprechende -Maßnahmen mit Studierenden als auch mit Arbeitnehmern durchgeführt werden.

Ziel des vorliegenden Beitrages ist die Vorstellung eines didaktischen Konzepts, welches die Entwicklung von IIoT-Kompetenzen in einem IIoT-Labor, das als digitale Lernfabrik genutzt wird, vorstellt. Zu diesem Zweck gliedert sich der vorliegende Beitrag wie folgt: In Abschnitt 2 werden die Anforderungen an die Mitarbeiter im Produktionsumfeld skizziert sowie entsprechende Kompetenzen und Kompetenzfacetten dargestellt. Ein Fokus wird dabei auf die IIoT-Kompetenzen gelegt. In Abschnitt 3 werden Lernfabriken im Allgemeinen sowie im Speziellen das IIoT-Labor des Anwendungszentrums Industrie 4.0 in Potsdam vorgestellt. Das didaktische Konzept, als Rahmen für die Lehr- und Lernmaßnahmen, sowie das vorhandene Bildungsangebot des Anwendungszentrums und eine beispielhafte Tagesschulung sind Bestandteile von Abschnitt 4. In Abschnitt 5 wird stellvertretend ein Lern- und Lehrszenario illustriert. Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

## 2. IIoT-Anforderungen und Kompetenzen

Das zweite Kapitel stellt basierend auf gegenwärtigen IIoT-Technologien zukünftig notwendige Anforderungen an Mitarbeiter sowie benötigte Kompetenzen, differenziert in Kompetenzfacetten, vor.

### 2.1. IIoT-Anforderungen

Das Internet der Dinge umfasst immer mehr Bereiche des täglichen Lebens. Im Kontext dieses Beitrags werden insbesondere für die Fertigungsumgebung relevante Aspekte und Anforderungen fokussiert. Im Fertigungsfeld zeigt sich die enge Verzahnung von Sensorik und Aktorik als ein wesentliches Element von automatisierten Regelkreisen. Daten werden mittels Sensoren erfasst und mittels Rechenkapazität weiterverarbeitet, so dass Aktoren zielführend auf die Umwelt einwirken können. Weitere Befähiger sind Maschine-zu-Maschine-Kommunikation sowie Automatisierungstechnologien (Gubbi et al. 2013). Dies führt zu einer neuen Ausgestaltung der Arbeits- und Betriebsorganisation sowie der Steuerung der Wertschöpfungskette über den gesamten Produktlebenszyklus (Spath et al. 2013). Die zwei wesentlichen Treiber dieser Entwicklung sind cyber-physische Systeme und das Internet der Dinge. Cyber-physische Systeme beschreiben eingebettete Systeme, Logistik- und Managementprozesse sowie Internetdienste (Geisberger/Broy 2012), die physische Daten via Sensoren erfassen und mittels Aktoren ihre Umwelt beeinflussen (Lee

2008). Sie analysieren und speichern große Mengen von Daten, um darauf aufbauend aktiv oder reaktiv mit der physischen oder digitalen Welt zu interagieren (Broy 2011). Zu diesem Zweck sind diese lokal und global mittels digitaler Netzwerke verbunden, nutzen weltweit verfügbare Daten und Dienste und verfügen über multi-modale Mensch-Maschine-Schnittstellen zur Interaktion und Kommunikation in Prozessen sowie zu deren Steuerung (Geisberger/Broy 2012). Hierbei ist besonders der Aspekt der Anbindung in zumindest internetähnlichen Strukturen hervorzuheben. Durch die Internetanbindung erhalten die Systeme neue Möglichkeiten in Bezug auf Datenverfügbarkeit und kooperativer, standortübergreifender Regelung. Das Internet of Things, auf der anderen Seite, ist ein selbstkonfigurierendes, adaptives und komplexes Netzwerk, das Objekte mit dem Internet durch die Verwendung von Standard-Kommunikationsprotokollen vernetzt (Minerva et al. 2015). Dabei ist der wesentliche Befähiger die Integration von Technologie- und Kommunikationslösungen (Atzori et al. 2010). Diese vernetzten Objekte verfügen über physische oder virtuelle Repräsentation in der digitalen Welt und sind eindeutig identifizierbar.

Ungeachtet der technischen Entwicklungen und den damit verbundenen Veränderungen bleiben die Mitarbeiter sowie deren Gestaltungsmöglichkeiten der kritische Erfolgsfaktor für Unternehmen (Schirner et al. 2013). Demzufolge müssen Mitarbeiter entsprechend qualifiziert werden, damit sie in der Lage sind, ihre Aufgaben zu erfüllen. Insbesondere die Mitarbeiter auf dem Hallenboden müssen sich an neue Aufgaben, Rollen und Technologien gewöhnen sowie andererseits darauf vorbereitet werden. Diese Vorbereitung bezieht sich auf die Sensibilisierung und Qualifizierung der Mitarbeiter. Neue Anforderungen sind u.a. das Teilen von Erfahrungen und Wissen über Produkte, Materialien sowie übergreifendes Arbeiten bezüglich Prozessen, Abteilungen und Hierarchien oder auch Kontexttransferfähigkeit. Die Mitarbeiter müssen sich selbst sowie andere Prozessbeteiligte, Werkstücke, Maschinen und Anlagen in dieser neuen Umgebung organisieren. Dazu ist ein grundlegendes Verständnis der Prozessstrukturen erforderlich. Weiterhin müssen die Mitarbeiter in der Lage sein, entstehende Probleme kreativ und dennoch adäquat im Rahmen des vorhandenen Spielraums lösen zu können, Überwachungsaufgaben zu übernehmen, Situationen richtig einschätzen und ganzheitlich denken zu können, sowie kommunikations- und anpassungsfähig sein (Prinz et al. 2016).

Die Durchdringung der Prozesse mittels Technologien könnte zu der Annahme verleiten, dass zukünftig Maschinen und Roboter nicht nur einfache Aufgaben übernehmen und dementsprechend eine Verarmung der Aufgabenvariabilität von einigen Tätigkeitstypen als Konsequenz auftritt. Jedoch werden auch Aktivitätstypen, die diese einfachen Aufgaben ausführen weiterhin in der Fabrik gebraucht (Steiger/Hartbrich 2014). Auf der anderen Seite können innovative technische Assistenzsysteme die Mitarbeiter unterstützen (Hummel et al. 2015). Darüber hinaus werden weitere Aktivitätstypen mehr Verantwortung übertragen bekommen, womit auch die Komplexität derer Aufgaben steigt.

## 2.2. Kompetenzen und Kompetenzfacetten

Kompetenzen sind „Fähigkeiten einer Person zum selbstorganisierten, kreativen Handeln in für sie bisher neuen Situationen“ (Erpenbeck 2010, S. 15). Sie sind durch „Wissen fundiert, durch Werte konstituiert, als Fähigkeiten disponiert, durch Erfahrungen konsolidiert und auf Grund von Willen realisiert“ (Erpenbeck/von Rosenstiel 2003, S. 366) und manifestieren sich in situationsadäquater Handlungsfähigkeit.

Die tatsächliche Leistungsfähigkeit eines Individuums wird u.a. wesentlich durch die Handlungskompetenz sowie die Einstellung eines Mitarbeiters in ihrer positiven Ausprägung, der Akzeptanz bestimmt (Kurz/Batram 2002, Motowildo et al. 1997). Hierbei ist darauf zu achten, dass eine Maximalausprägung der Handlungskompetenz nicht zwangsweise erstrebenswert ist, da die jeweiligen Anforderungen kontextabhängig sind und ein Übervorhalten zu Effizienzverlusten führt.

Die betriebliche Handlungskompetenz kann in unterschiedliche Kompetenzfacetten strukturiert werden (Clement 2002). Zusätzlich zu den konventionellen Kompetenzfacetten (Personale-, Fach-, Kultur-, Methoden-, Führungs- und Sozialkompetenz) sind die Facetten Organisations-, Prozess- und Interaktionskompetenz im IIoT-Kontext als relevant identifiziert (Böhle et al. 2013, Wiesner et al. 2016) (Tab. 1). Diese drei Facetten der Kompetenz werden unter dem Begriff IIoT-Kompetenzen subsumiert und im folgenden Abschnitt näher erläutert.

*Tabelle 1: Kompetenzfacetten*

| Facette | Kurze Beschreibung |
|---------|--------------------|
|---------|--------------------|

|                        |   |
|------------------------|---|
| Fachkompetenz          | Umfasst das Vorhandensein von fachlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten, die i.d.R. in Fortbildungen erworben und in Handlungskontexten angewandt werden.   |
| Personale Kompetenz    | Ist die Disposition und Bereitschaft die eigenen Handlungen zu reflektieren und einzuschätzen sowie die Entwicklung einer produktiven Einstellung und Werte, des eigenen Talents, von Motivation und Leistungsfähigkeit.        |
| Kulturkompetenz        | Integriert interkulturelle (Umgang mit Menschen unterschiedlicher Nationalkulturen) sowie berufskulturelle (Umgang mit berufsspezifischen Sozialisierungsprozessen) Kompetenz   |
| Methodenkompetenz      | Umfasst die situationsadäquate und interdisziplinär flexible Anwendung unterschiedlicher Methoden. Sie dient auch dazu, neues Wissen und Fähigkeiten anzueignen.  |
| Führungskompetenz      | Ist die zielorientierte Beeinflussung von Mitarbeitern sowie die Vermittlung von Visionen, das Vorleben von Werten sowie die Gestaltung der Arbeitsumgebung.  |
| Sozialkompetenz        | Ist die Gesamtheit der sozial-kommunikativen Fähigkeiten einer Person oder Gruppe sowie die kreative Gestaltung von sozialen Beziehungen und Prozesse in Gruppen oder Organisationen.   |
| Organisationskompetenz | Ist das zielorientierte Strukturieren, Planen, Organisieren der eigenen Ressourcen sowie von Maschinen und Anlagen, Werkstücke und Informationssysteme.   |
| Prozesskompetenz       | Ist die Verfügbarkeit von profundem Wissen über die gesamten relevanten Geschäftsprozessabläufe, deren Strukturen und Produktionsprozesse sowie deren Zusammenhänge und der zielgerichtete Gebrauch von technischer Ausrüstung. |
| Interaktionskompetenz  | Umfasst Kooperation und Kollaboration von Mitarbeitern mit anderen Mitarbeitern und intelligenten technischen Entitäten sowie die effiziente Bedienung von Interaktionsmedien.  |

### 2.3. IIoT-Kompetenzen

Durch die steigende Vernetzung von Maschinen und IT-Systemen werden monotone Arbeitsschritte automatisiert (Bauernhansl et al.

2014). Ziel ist es folglich, Mitarbeiter zukünftig weniger für Routinetätigkeiten einzusetzen (Spath et al. 2013). Somit werden Mitarbeitern mit steigendem Einsatz von cyber-physischen Systemen abwechslungsreichere Aufgaben zugewiesen. Darunter fallen die Überwachung, Wartung und Wiederherstellung von Maschinenfunktionen sowie die Kontrolle bestehender Programmierungen von IT-Systemen und damit verbundene Anlagen. Die damit einhergehende Kompetenz wird als **Organisationskompetenz** bezeichnet. Dabei müssen die Mitarbeiter ihre Zeit, die eigenen personellen Ressourcen (Wissen und Fähigkeiten) zielgerichtet strukturieren und (selbst-)reflexiv einteilen, planen, organisieren und Aufgaben durchführen können (Wilkens 2004). Sie müssen in der Lage sein, kollektiv-verbindliche Entscheidungen verlässlich umzusetzen.

Zukünftig wird die Organisationskompetenz um drei Aspekte von Organisationsfähigkeiten erweitert (Sauter et al. 2015). Der neue Betrachtungswinkel umfasst somit die Kompetenz zur Organisation von (1) Maschinen, (2) Werkstücken und (3) Informationssystemen. Diese können getrennt sowie gebündelt von den Mitarbeitern im neuen Umfeld verlangt werden. Insbesondere betrachtet die neue Sicht auf die Organisationskompetenz die Fähigkeit Maschine, Werkstück und Informationssystem, auf die sich wandelnden Anforderungen anzupassen. Dementsprechend ist Organisationskompetenz im Kontext der Fertigung die Fähigkeit eines Mitarbeiters zur zielorientierten Strukturierung, Planung und Organisation der eigenen Ressourcen, von Maschinen und Anlagen, Werkstücken und Informationssystemen. Der Mitarbeiter muss dabei in der Lage sein, das Zusammenwirken verschiedener, verknüpfter Entitäten als proaktives, selbstreflexives Bindeglied zu gewährleisten.

Die Veränderung, die eine besondere Fokussierung auf **Prozesskompetenz** notwendig macht, ergibt sich aus der neu entstandenen Prozessorientierung der Unternehmen (Botthof/Hartmann 2015). Im neuen Umfeld sind selbstständige und universell einsetzbare Mitarbeiter gefragt. Dabei sollen diese die Durchführung, Qualität aber auch die Verantwortung über ihre Arbeit zuverlässig übernehmen können (Zeller 2005). Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ergibt sich für die Mitarbeiter die Notwendigkeit, fundiertes Wissen über den gesamten Geschäftsprozessverlauf, die Prozessstruktur und den Fertigungsprozess zu besitzen (Zeller 2005). In diesem Zusammenhang beschreibt die Prozesskompetenz das Verständnis von Prozessabfolgen und -

strukturen sowie Einflussmöglichkeiten und deren Folgen. Die Schwerpunkte liegen im Bewusstsein bezüglich der Komplexität von Prozessen und deren Veränderungen, Prozessevaluation und der Unterscheidung von relevanten und nicht relevanten Prozessen. Weiterhin vermittelt sie das Gespür dafür, wo welche konkreten Informationen und Entscheidungen notwendig sind und an welcher Stelle im Prozess sich bewusst eingeräumte individuelle Spielräume positiv auswirken (Fischer et al. 2005). Erst auf Basis der Prozesskompetenz können Fachwissen, Erfahrungswissen und Prozesswissen ihre volle Wirkung entfalten (Fischer et al. 2005).

Eine weitere Kompetenzfacette im Kontext Industrie 4.0 ist die **Interaktionskompetenz**. Darunter sind die Interaktionsformen Kooperation und Kollaboration subsumiert, die häufig synonym verwendet werden. Jedoch existiert ein deutlicher Unterschied: Bei der **Kooperation** arbeiten Personen oder Gruppen an unterschiedlichen Teilen eines Gesamtergebnisses. Somit liefert eine Person oder Gruppe (nur) einen Teil eines Gesamtergebnisses und ist nicht an dem Entstehungsprozess aller Teile involviert (Arnold 2013). Alle anderen Teile werden von verschiedenen Personen oder Gruppen geliefert. In diesem Zusammenhang kann an unterschiedlichen Teilen des Gesamtergebnisses parallel gearbeitet werden und Ergebnisse können nachvollziehbar einer Person oder Gruppe zugeordnet werden (Stadermann 2010). Im Unterschied dazu arbeiten bei einer **Kollaboration** die Personen oder Gruppen zur selben Zeit gemeinsam an dem Gesamtergebnis. Somit ist eine Person oder Gruppe an der Entstehung aller Teile eines Gesamtergebnisses beteiligt. Eine Kollaboration kann aus diesem Grund nur sequentiell durchgeführt werden (Arnold 2003; Stadermann 2010). Teilergebnisse können hier nicht einer Person oder Gruppe nachvollziehbar zugeordnet werden. Beide Arbeitsweisen, die der Kooperation und die der Kollaboration, stellten bislang jeweils eigenständige Kompetenzen dar und sind meist unabhängig voneinander aufgetreten (Arnold 2003). Im neuen Umfeld Industrie 4.0 wird jedoch eine flexible Arbeitsweise gefordert, um im Rahmen einer angestrebten Wandlungsfähigkeit die Zusammenarbeit in Teams zu fördern. Einerseits müssen Mitarbeiter in der Lage sein, eigenständig und unabhängig Teilergebnisse zu einem Gesamtergebnis zu erarbeiten, jedoch zeitgleich an gemeinsamen Gesamtergebnissen arbeiten können. Diese Arbeitsweise erfordert ein hohes Maß an Flexibilität und Selbstorganisation seitens der Mitarbeiter sowie der Führung. Die Interaktionskompetenz

umschreibt die Fähigkeit, kooperatives und kollaboratives Arbeiten mit anderen Mitarbeitern, Maschinen und Anlagen sowie intelligenten Werkstücken zu gewährleisten. Insbesondere auf dem Shopfloor wird der sichere Umgang mit Kommunikationstechnologien und multi-modalen Mensch-Maschine Schnittstellen als signifikant eingestuft.

### 3. Lernfabriken

#### 3.1. Begriffsklärung

Lernfabriken sind realitätsnahe Repräsentationen von Produkten, Prozessen und Ressourcen in einer erlebnisorientierten (Wagner et al. 2012) sowie partizipativen digital-realen Lernumgebung, die aus Hard- und Softwarekomponenten besteht und interdisziplinäre sowie mehrdimensionale Lernsituationen abbildet. Zielstellung solcher Lernfabriken ist es, "Wissen, Qualifikationen und Kompetenzen zum Planen, Steuern, Kontrollieren und Verwenden von realen sowie digitalen Produkten, Prozessen und Ressourcen zu vermitteln" (Müller et al. 2013). Dies wird im Wesentlichen durch die direkte Anwendung der Lerninhalte sowie eine Abbildung realer Betriebsstrukturen, die nicht über Frontalunterricht abgedeckt werden können realisiert. Insbesondere die Anpassung des Settings der Lernfabrik an die Bedürfnisse der Lernenden sowie an die Lerninhalte und die Verbindung von didaktischem Konzept und praktischen Lerninhalten machen das Instrument der Lernfabrik zu einem sehr gangbaren Mittel bei der Adressierung individueller Handlungsproblematiken unter Berücksichtigung der Subjektorientierung.

Bei diesem innovativen und hochflexiblen Instrument können die am Prozess beteiligten Akteure in einer geschützten Lernumgebung neue Technologien, damit verbundene Abläufe und Aufgaben ausprobieren und sich somit individuell weiterentwickeln. So werden einerseits die individuellen Fähigkeiten und andererseits damit verbunden die betriebliche Innovationsfähigkeit erhöht.

#### 3.2. IoT-Labor im Anwendungszentrum Industrie 4.0

Das IoT-Labor (Abb. 1) ist eine hybride Simulationsumgebung, welche virtuelle und reale Produktionskomponenten und damit die Vorteile von virtueller und realer Simulation vereint (Gronau et al. 2004), um industrielle Produktionsprozesse oder Wertschöpfungsnetzwerke zu analysieren und zu gestalten. Damit ist es einer Sonderform konventioneller

Lernfabriken, da keine physischen Güter bearbeitet oder produziert werden. Die wesentlichen physischen Komponenten des Labors sind die Werkstücke und die Maschinendemonstratoren sowie das Transportsystem, das die Maschinendemonstratoren miteinander verbindet. Die Demonstratoren, die über eine hohe Interoperabilität durch diverse Schnittstellen verfügen, u.a. zur Kommunikation sowie das flexible Transportsystem ermöglichen eine aufwandsarme Integration neuer Hardwarekomponenten in die Umgebung. Die Betriebssoftware ist dazu ausgelegt, bspw. Sensoren oder Aktuatoren, die Standardkommunikationsprotokolle, wie OPC UA verwenden, schnell integrieren zu können.



*Abbildung 1: IoT-Labor des Anwendungszentrums Industrie 4.0*

Das Labor ermöglicht durch seinen hybriden Charakter die Konstruktion realitätsnaher und authentischer Lernszenarien. In diesen werden, angelehnt an reale Produktionsabläufe und deren spezifische Bedingungen, die Teilnehmenden darin befähigt, selbstständig und strukturiert Kompetenzen zu entwickeln (Gronau et al. 2016). Das Anwendungszentrum Industrie 4.0 eignet sich auf Grund des hybriden Charakters insbesondere zur Schulung, da die Produktionsprozesse (z.B. Maschinen) auf die Gegebenheiten und sonstig gewohnte Umgebung der Lernenden angepasst werden können. Die dadurch entstehende Identifikation mit dem Prozess ermöglicht es schnell in die Lernthematik einzusteigen.

## 4. Didaktisches Konzept und Bildungsangebot

Das vierte Kapitel stellt das Lehrkonzept sowie beispielhaft eine Schulung für Betriebsräte zu den Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Arbeitswelt vor. Ziele sind die Veranschaulichung der Möglichkeiten von Technologie und Organisationsprinzipien sowie die Verdeutlichung des zielgerichteten Lernens in der hybriden Simulationsumgebung.

### 4.1. Didaktischer Ansatz des Lehr- und Lernkonzept

Lernen ist notwendig, um Kompetenzen zu erlangen und kann als ein innerer Prozess eines Subjektes, der nicht von außen gesteuert werden kann, verstanden werden. Lehren andererseits ist die externe Unterstützung eines Lernenden bei dessen Entwicklung von Kompetenzen. Gerade bei top-down induzierten Transformationsvorhaben, wie sie gegenwärtig durch die Digitalisierung vorangetrieben werden, können dabei Lernwiderstände entstehen (Illeris 2003), auf die der Lehrende dezidiert eingehen muss. Dies kann mittels Subjektorientierung berücksichtigt werden. Die individuellen Standpunkte der Lernenden beachtend, werden diese als gleichberechtigte Partner in der Weiterbildung positioniert, so dass diesen auch aktive Gestaltungsmöglichkeiten des Wandels eingeräumt werden. Verweigerungshaltungen und etwaigen Lernwiderständen wird auf diese Weise proaktiv entgegengetreten.

Im Anwendungszentrum Industrie 4.0 steht die stetige Orientierung an den individuellen Bedürfnissen der Lernenden, das Eingehen auf etwaige Ängste oder Vorbehalte sowie deren stetige Partizipation zu jeder Zeit im Vordergrund des didaktischen Konzepts, dessen Grundzüge im Folgenden skizziert werden.

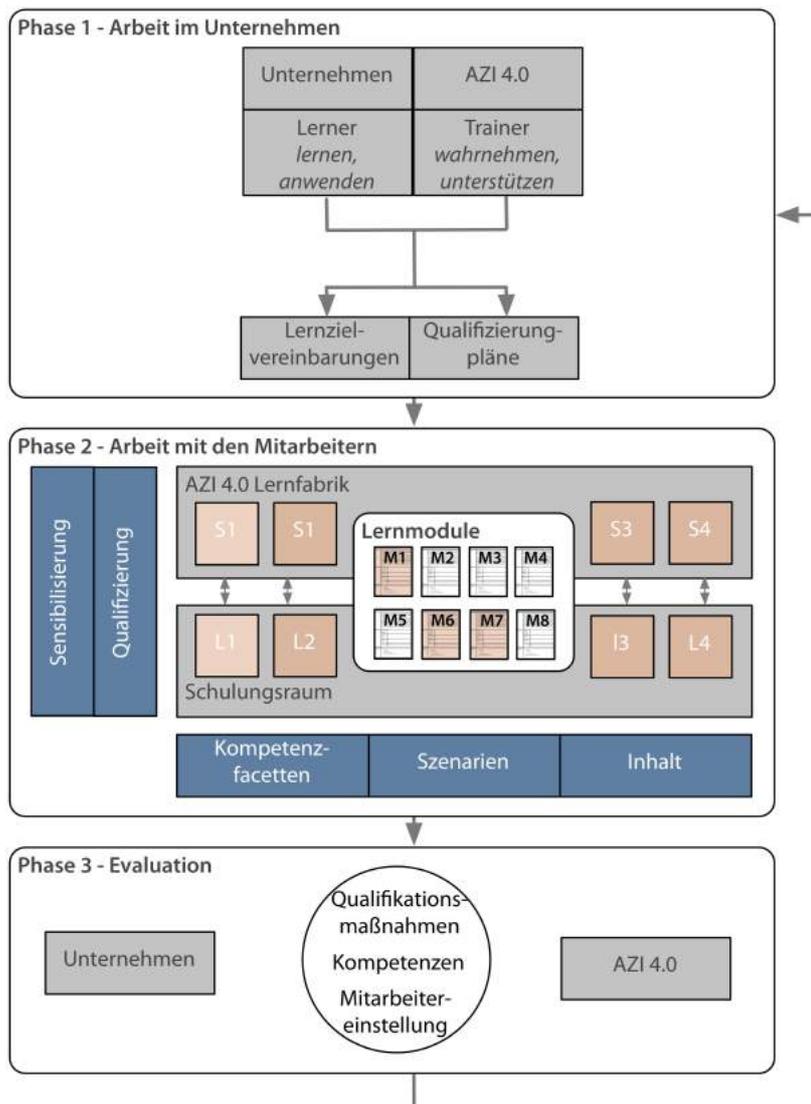


Abbildung 2: Didaktischer Ansatz

Die Durchführung geschieht in drei Phasen (Abb. 2): In der ersten Phase werden Gespräche zwischen der Unternehmensführung, Vertretern der Mitarbeiter sowie dem Team der Lernfabrik zu Lerninhalten und Themenschwerpunkten geführt. Den Mitarbeitenden wird dadurch die Möglichkeit eingeräumt, erste Anknüpfungspunkte mit der Thematik Industrie 4.0 zu erhalten und die eigene Rolle im Entwicklungsprozess zu reflektieren. Darüber hinaus können diese ihre individuellen Positionen einbringen und somit ihre zukünftige Arbeitsumgebung mitgestalten. Neben der Sensibilisierung und Aktivierung aller betrieblichen Anspruchsgruppen steht gleichermaßen die Ausarbeitung von Qualifizierungsplänen und Lernzielen im Vordergrund. Diese werden in der zweiten Phase realisiert. Je nach Zielstellung kann dies entweder in Tagesschulungen oder in längerfristigen Weiterbildungsprojekten ver-

wirklicht werden. Das didaktische Konzept des Anwendungszentrum Industrie 4.0 umfasst eine breite Palette an Lernmodulen, welche die Entwicklung von IIoT-Kompetenzen in den Vordergrund stellt und eine auf die Bedürfnisse von Mitarbeiter und Unternehmen angepasste Weiterbildung ermöglicht. Wissensinhalte werden dabei durch die stetige Einbindung des Anwendungszentrums Industrie 4.0 auf eine praktische Ebene gehoben. Die Lehrenden nehmen sowohl in den praktischen als auch den theoretischen Einheiten zu jeder Zeit die Rolle von begleitenden Unterstützern ein, wodurch eine Orientierung an den individuellen Handlungsproblematiken der Lerner gelingt. In der finalen dritten Phase wird unter Einbezug der Teilnehmenden schlussendlich erhoben, ob die Weiterbildung und die Sensibilisierungsmaßnahmen aus deren Sicht und im Hinblick auf die formulierten Qualifizierungspläne als effektiv beurteilt werden können. Dabei wird auf ein breites und bewährtes Repertoire aus qualitativen und quantitativen Methoden (bspw. Kirkpatrick 2009, Tisch et al. 2014, Ullrich et al. 2015) zurückgegriffen. So können sowohl weiterführende Qualifizierungsbedürfnisse aufgedeckt als auch weitere Kooperationen zwischen Unternehmen und Anwendungszentrum ermöglicht werden.

#### 4.2. Bildungsangebot

Das Bildungsangebot im IIoT-Labor des Anwendungszentrums Industrie 4.0 bietet ein- oder mehrtägige Schulungen, Workshops und Weiterbildungsmaßnahmen zu einer Vielzahl von Themen zur Kompetenzentwicklung und Aufklärung der Mitarbeiter bezüglich Industrial IIoT und Industrie 4.0 für Unternehmen, Gewerkschaften, aber auch Schulen und den zweiten Bildungsweg an. Neben der humanzentrierten und automatisierten Produktion, dem industriellen Internet der Dinge oder Organisationsprinzipien und Steuerungsverfahren stehen insbesondere die Entwicklung unterschiedlicher Kompetenzfacetten sowie Industrie 4.0-induzierte Chancen auf strategischer Unternehmensebene im Fokus. Die Konzeption und Aufbereitung der Themen ist dabei auf Partizipation ausgelegt, so dass interessierte Ziel- und Anspruchsgruppen bewusst eingebunden Erfahrungen sammeln und in höchstem Maße daran teilhaben können. Neben individuellen thematischen Schwerpunkten umfasst das Portfolio u.a. Maßnahmen zu folgenden Themengebieten:

- Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Arbeitsorganisation

- Auswirkungen von cyber-physischen Systemen auf die Fertigungsprozesse
- Neue Tätigkeitsanforderungen und Kompetenzen
- Fremdsteuerung und Handlungsspielraum neuer Rollen und Tätigkeitstypen
- Mensch-Maschine-Interaktion und Kollaboration
- Rolle von Erfahrungswissen der Mitarbeiter
- Augmented Reality
- Kontextsensitive Informationsbereitstellung
- Assistenzsysteme
- Dezentrale Produktionssteuerung
- Internet-of-Things und die digitale Fabrik
- Feedback-Schleifen in der Produktion

Der duale didaktische Ansatz ist gleichermaßen von theoretischen und praktischen Lehr- und Darstellungsinhalten gekennzeichnet. Dies ermöglicht eine passgenaue didaktische Ausgestaltung der Maßnahmen, welche die Bedürfnisse der jeweiligen Partnerunternehmen, beziehungsweise die individuellen Ausgangslagen unterschiedlicher Adressatengruppen in den Fokus rückt.

#### 4.3. Beispiel Tagesschulung

Im Folgenden wird als Beispiel für das Lern- und Lehrangebot des Anwendungszentrums Industrie 4.0 eine speziell für Betriebsräte konzipierte Tagesschulung zur Thematik „Industrie 4.0 – Herausforderungen, Chancen und Lösungen für die Arbeitswelt“ vorgestellt. Ziel der Tagesschulung ist es, die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Arbeits- und Betriebsorganisation theoretisch darzustellen und praktisch erfahrbar zu machen. Dieses Verständnis ist insbesondere für die Abschätzung von Implikationen für die zukünftige Ausgestaltung von Arbeit von großer Bedeutung.

Die Tagesschulung startet mit einer Begrüßung, bei der sich Lehr- und Lernteam kurz vorstellen, die Ziele für den Tag gemeinsam abstecken sowie den Tagesablauf besprechen. Anschließend wird ein kurzer Überblick über das Anwendungszentrum Industrie 4.0 gegeben und die relevante Infrastruktur vorgestellt sowie anhand der Vorführung eines typischen Szenarios konventioneller Produktion begonnen. Neben den Prozessabläufen mit nicht-„intelligenten“ Werkstücken, Anlagen und Maschinen stehen dabei manuelle Maschinenkonfiguration und Störungsbehebung sowie Produktionsineffizienzen/Kommunikationsstaus durch fehlende Feedbackschleifen im Zentrum der Betrachtung.

Anschließend erfolgen Vorträge zu den Themenbereichen Industrie 4.0, Internet-of-Things-Technologien sowie Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation. Dabei werden u.a. Chancen und Potenziale von Industrie 4.0 für die Mitarbeiter, Erfolgsgeschichten aus der Praxis und konkrete Einsatzbeispiele in der Praxis sowie die neuen Anforderungen an die Kompetenzen der Mitarbeiter behandelt. Die Vortragenden liefern Input, so dass schon hier ein partizipativer Diskurs zwischen allen Beteiligten initialisiert wird. Nach einer Pause geht es in die Darstellung und praktische Anwendung von IoT-Technologien. Dabei werden u.a. Augmented Reality (AR) Brillen, AutoID-Technologien, kontextsensitive Informationsbereitstellung sowie der Umgang mit Assistenzsystemen entsprechend des Kenntnisstands der Teilnehmer praktisch vorgeführt, so dass die Teilnehmer selbstständig mit diesen experimentieren können. In einem darauf folgenden interaktiven Lernszenario (vgl. Gronau et al. 2017) müssen die Teilnehmenden ihre gewonnenen Erkenntnisse dahingehend einbringen, als dass sie nun selbst als Mitarbeiter in einem Produktionsszenario agieren und unter Anleitung durch einen Lernbegleiter sowie Hilfestellung mittels zur Verfügung stehender Technologien, Kenntnisse und Kompetenzen ein Prioritätslos in das aktuelle Produktionsprogramm einschleusen sollen. Die unterschiedlich gestalteten Herausforderungen innerhalb des Lernszenarios erfordern bei den Teilnehmern eine aktive Auseinandersetzung und Entwicklung der eigenen Organisationskompetenz. Dabei zu realisierende Anforderungen (etwa bezüglich anstehenden Prozessmodifikationen) stellen darüber hinaus nicht zuletzt Anforderungen an die Prozesskompetenz der Teilnehmer dar. Dabei werden diese innerhalb des Szenarios dazu animiert, durch den Austausch von Informationen zwischen Mensch und Mensch bzw. Mensch und Maschinen via Be-

dienterminal, Tablet oder verbale Kommunikation die persönliche Interaktionskompetenz zu entwickeln.

Bei der Programmierung eines Raspberry Pi's wird mittels entdeckendem Lernen den Teilnehmern aufgezeigt, wie Sensordaten in unterschiedlichen betrieblichen Szenarien nutzbar gemacht werden. Weiterhin werden Anwendungsbeispiele aus dem Fertigungskontext repliziert.

|  |
|--|
| <b>Begrüßung</b>   |
| <b>Praktische Darstellung konventionelle Produktion</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Praxisbeispiel „Herstellung eines Kniegelenkes“ im AZI 4.0</li> </ul>   |
| <b>Vortrag „Einführung in die Industrie 4.0“</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chancen und Potenziale von Industrie 4.0 für MitarbeiterInnen, Erfolgsgeschichten aus der Praxis</li> </ul>   |
| <b>Vortrag „IoT – Technologien“</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chancen und Herausforderungen, Umsetzungsstand des IoT in Deutschland, zugrunde liegende Konzepte des IoT, Einsatzbeispiele im unternehmerischen Kontext, Auswirkungen von CPS auf Fertigungsprozesse</li> </ul>                  |
| <b>Vortrag „Auswirkungen auf die Arbeit“</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wandel der Arbeit und Rahmenbedingungen, neue Tätigkeitsanforderungen und Kompetenzen, Fremdsteuerung und Handlungsspielraum neuer Rollen und Tätigkeitstypen, Mensch-Maschine-Interaktion, Rolle von Erfahrungswissen</li> </ul> |
| <b>Mittagspause</b>  |
| <b>Praktische Anwendung „IoT – Technologien“</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Praktische Vorführung und Anwendung</li> <li>• Dezentrale Produktionssteuerung</li> <li>• Feedback-Schleifen in der Produktion</li> </ul>   |
| <b>Praktische Anwendung im Lernszenario „Produktionsstörung mit IoT Technologien“</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozess „Einschleusen eines Eilauftrages“</li> </ul>  |
| <b>Kaffeepause</b>   |
| <b>Praktische Anwendung „Programmierung eines Raspberry Pi“</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzbarmachung von Sensordaten, Demonstration von betrieblichen Szenarien mittels IoT, Anwendungsbeispiele aus dem Fertigungskontext</li> </ul>   |
| <b>World Café - Reflexion durch Diskussion</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Impulsvortrag Auswirkungen von CPS auf die Arbeitsorganisation und Gestaltungsmöglichkeiten</li> <li>• Diskussion von Leitfragen</li> </ul>   |
| <b>Evaluation</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluation der Veranstaltung durch Fragebogen</li> </ul>  |
| <b>Schluss</b>   |

Abbildung 3: Beispiel Tagesschulung: Auswirkungen auf die Arbeitswelt

In Form eines World Cafés erfolgt eine abschließende Diskussion der wesentlichsten Fragestellungen. Dabei wird mittels eines Impulsvortrages der Anstoß zur Diskussion gegeben. Dieses Format ermöglicht insbesondere die Reflexion und somit die Verinnerlichung der Erfahrungen und Inhalte des Tages. Zwischen den einzelnen Einheiten werden gezielt Evaluationen der Inhalte sowie Fragestellungen zu den Inhalten mittels einer Applikation auf einem Tablet durch die Teilnehmenden durchgeführt. Dies verfolgt zwei Ziele: Einerseits sind die Teilnehmenden dadurch angehalten, mehr oder weniger fokussiert sich mit den Inhalten auseinander zu setzen. Andererseits können auf Basis der Antworten die Inhalte des folgenden Programms dem Stand der Teilnehmer angepasst werden, es kann auch gezielt nochmal wiederholt werden.

## 5. Lehr- und Lernszenario

Lernszenarien stellen ein zentrales didaktisches Instrument des Anwendungszentrums Industrie 4.0 dar. Die Lernfabrik verfügt über eine Vielzahl von Szenarien, welche sich insbesondere durch simulierte Produktionsprozesse, unterschiedliche Arbeitsaufgaben und -situationen sowie durch die kontinuierliche Einbindung relevanter IIoT-Technologien (z.B. AR-Brillen, AutoID-Technologien, CPS sowie intelligente Werkstücke und Maschinen) auszeichnet. Durch die variable Prozessstruktur, die allen zur Lernbefähigung eingesetzten Szenarien inhärent ist, gelingt es, die Entwicklung der individuellen Prozess- als auch Organisationskompetenz in Abhängigkeit von der jeweiligen Zielstellung auf unterschiedliche Art an die Lernenden heranzutragen. Die Interaktionskompetenz wird durch realitätsnah konstruierte Problemstellungen trainiert, welche die Kollaboration und Kommunikation zwischen menschlichen Akteuren untereinander und mit verschiedenen technischen Entitäten auf diversen Kommunikationswegen erfordern.

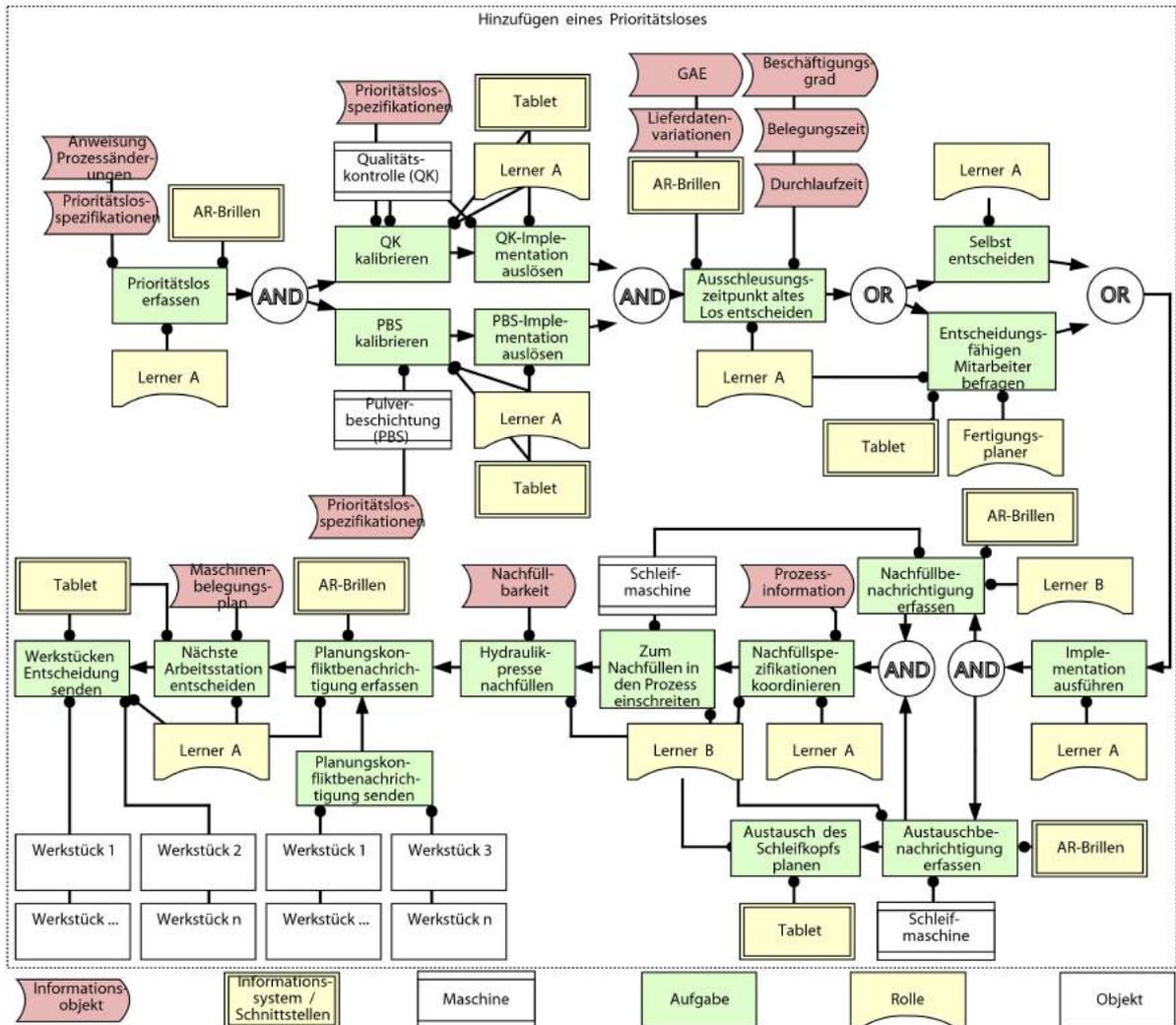


Abbildung 4: Prozessmodell des Szenarios „Einschleusen eines Prioritätsloses“

Zur Illustration des szenariobasierten Lehr- und Lernansatzes wird das Szenario „Einschleusen eines Prioritätsloses“ dargestellt (Abbildung 4). Basis des Szenarios bildet dabei die Standardkonfiguration einer Produktionsstraße für Kniegelenkprothesen, welche aufgrund eines Eilauftrages – Kniegelenkprothesen mit einer Pulverbeschichtung sowie weitere unterschiedliche Produktspezifikationen – modifiziert werden muss. Die Lernenden werden somit im laufenden Produktionsprozess mit einer Umstellung auf eine andere Produktvariante und damit verbundenen Produktionsprozessmodifikationen konfrontiert. Dabei müssen sie mithilfe von AR-Brillen und Tablets die jetzt notwendig gewordenen Maschinen (Pulverbeschichtung und Qualitätskontrolle) entsprechend den Produktspezifikationen kalibrieren und in den Produktionsprozess einbinden. Den Teilnehmern wird dadurch die Möglichkeit eingeräumt, die eigene Organisationskompetenz in dynamischen Pro-

duktionsumgebungen zu schärfen. Bestimmte Prozessmodifikationen initiieren in Folge dessen weitere Veränderungen, wodurch das Aufgabenportfolio stetig erweitert und durch neue Herausforderungen hinsichtlich der eigenen Prozesskompetenz ergänzt wird. Im Laufe des Szenarios drohen die initiierte Umstellung als auch notwendige Wartungsarbeiten an relevanten Produktionsbestandteilen den Ablauf signifikant zu behindern. Die Teilnehmenden müssen dabei auf ihre Interaktionskompetenz zurückgreifen, untereinander kommunizieren und kollaborative Arbeitsprozesse entwickeln, um den drohenden Produktionsausfall zu verhindern. Zusammenfassend werden die Lernenden kontinuierlich dazu animiert, relevante IIoT-Kompetenzen in realitätsnahen Lernumgebungen anzuwenden und auf diesen aufbauend, eigene Handlungsoptionen in kritischen Produktionssituationen zu entwickeln.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellte Lernfabrik des IoT-Labors des Anwendungszentrums Industrie 4.0 stellt eine Möglichkeit zur Qualifizierung im Rahmen einer hybriden Lernumgebung dar. Diese ermöglicht es auf die individuellen Bedürfnisse, sowie durch ihre Anpassungsfähigkeit das gewohnte Umfeld einzugehen sowie gleichzeitig gezielt die jeweils relevanten Kompetenzen zu schulen. Im Kontext des industriellen Internets der Dinge wurden hierbei Organisations-, Prozess- und Interaktionskompetenz als wesentlich identifiziert und entsprechend untergliedert sowie voneinander abgegrenzt.

Ziel ist es, möglichst allen relevanten Anspruchsgruppen die Kompetenzen in Bezug auf Industrie 4.0 vermitteln zu können und damit gleichzeitig die Basis für den Abbau von Akzeptanzhürden als auch die notwendigen Kompetenzen zu schaffen.

Das Schulungsangebot des Anwendungszentrums Industrie 4.0 wird fortwährend ausgebaut und zunehmend auf die Anforderungen der jeweiligen Anspruchsgruppen hin verbessert.

## Literatur

- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., ElMaraghy, H., Hummel, V., Ranz, F. (2015) Learning factories for research, education, and training. *Procedia CIRP*, 32, pp. 1-6.
- acatech (2016). Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. Munich.
- Arnold, P. (2013). Kooperatives Lernen im Internet: Quantitative Analyse einer Community of Practice im Fernstudium. Münster: Waxmann Verlag.
- Atzori, L., Iera, A., Morabito, G. (2010) The Internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), pp. 2787-2805.
- Bauernhansl, T., Ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B. (2014). Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag
- Botthof, A., Hartmann, E.A. (2015). Digitales Neuland – Warum Deutschlands Manager jetzt Revolutionäre werden. Springer Gabler Verlag.
- Böhle, F., Pfeiffer, S. Sevsay-Tegethoff, N. (2013). Die Bewältigung des Unplanbaren. Wiesbaden: Springer Verlag für Sozialwissenschaften.
- Broy, M. (2011). Cyber-physical systems: Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme. Springer.
- Broy, M., Geisberger, E. (2012). Cyber-physical systems, driving force for innovation in mobility, health, energy and production. Acatech.
- Clement, U. (2002). Kompetenzentwicklung in der beruflichen Bildung. Berlin: Springer.
- Enke, J., Kraft, K., Metternich, J. (2015) Competency-oriented design of learning modules. *Procedia CIRP*, 32, S. 7-12.
- Erpenbeck, J., Rosenstiel, L. von (2003). Handbuch Kompetenzmessung. Schäffer Poeschel Verlag.
- Erpenbeck, J., (2010). Kompetenzen - Eine begriffliche Klärung. In: Heyse, V., Erpenbeck, J., Ortman, J. (Hrsg.): Grundstrukturen menschlicher Kompetenzen: Praxiserprobte Konzepte und Instrumente, Waxmann Verlag, S. 13-20.
- Fischer, V., Springer, M., Zacharaki, I. (2005). „Interkulturelle Kompetenz“ Fortbildung-Transfer-Organisationsentwicklung. Schwallbach/TS.
- Geisberger, E., Broy, M. (2012). agendaCPS: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (Vol. 1). Springer; 2012.
- Gronau, N. (2015). Industrie 4.0. <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/informationssysteme/Sektorspezifische-Anwendungssysteme/cyber-physische-systeme/industrie-4.0/?searchterm=industrie%204.0> (letzter Abruf: 22.05.2017)
- Gronau, N. (2016). Determinants of an Appropriate Degree of Autonomy in a Cyber-physical Production System. *Procedia CIRP*, 52, 1-5.

- Gronau, N., Lass, S., Fohrholz, C. (2011). Hybrider Simulator – Neuer Ansatz zum Produktionsmanagement. ZWF 106/4, pp. 204-208.
- Gronau, N., Theuer, H., Lass, S. (2013). Evaluation of Production Processes using Hybrid Simulation. In: K. Windt (Hrsg.), Robust Manufacturing Control, Lecture Notes in Production Engineering, Springer-Verlag (Berlin) 2013, S. 401-413.
- Gronau, N., Ullrich, A., Teichmann, M. (2017). Development of the Industrial IoT Competences in the Areas of Organization, Process, and Interaction based on the Learning Factory Concept. Procedia Manufacturing. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.04.029.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M. (2013). Internet of Thing (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems (29), S. 1645-1660
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). Wandel von Produktionsarbeit-"Industrie 4.0". TU Darmstadt.
- Hummel, V., Hyra, K., Ranz, F., Schuhmacher, J. (2015). Competence development for the holistic design of collaborative work systems in the Logistics Learning Factory. Procedia CIRP, 32, S. 76-81.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., Wahlster, W. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion.
- Kirkpatrick, D.L. (2009). Implementing the Four Levels: A Practical Guide for Effective Evaluation of Training Programs: Easyread 2009.
- Kurz, R., Bartram, D. (2002). Competency and individual performance: Modelling the world of work. Organizational effectiveness: The role of psychology, 227-255.
- Illeris, K. (2003) Workplace learning and learning theory. Journal of workplace learning, 15(4), 2003, pp. 167-178.
- Lass, S., Theuer, H., Gronau, N. (2012). A new approach for simulation and modeling of autonomous production processes. In *System Science (HICSS), 2012 45th Hawaii International Conference on* (pp. 1247-1256). IEEE.
- Lee, E.A. (2008) Cyber physical systems: Design challenges, In: Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 2008, pp. 363-369.
- Lee, J. (2015). Smart Factory Systems. Informatik Spektrum 38(3), 2015, pp. 230–235, DOI 10.1007/s00287-015-0891-z.
- Minerva, R., Biru, A., Rotondi, D. (2015). Towards a definition of the Internet of Things (IoT). IEEE Internet Initiative, Torino, Italy.
- Motowildo, S.J., Borman, W.C., Schmit, M.J. (1997). A theory of individual differences in task and contextual performance. Human performance, 10(2), 71-83.
- Müller, E., Plorin, D., Ackermann, J. (2013). advanced Learning Factory (aLF) Ein ganzheitliches Konzept zur Fachkompetenzentwicklung als Antwort auf den demografischen Wandel. Industrie Management 3/2013, S. 59-62

- Palattella, M.R., Accettura, N., Grieco, L.A., Boggia, G., Dohler, M., Engel, T. (2013). On optimal scheduling in duty-cycled industrial IoT applications using ieee802. 15.4 e tsch. *IEEE Sensors Journal*, 13(10), 2013, pp. 3655-3666.
- Pfeiffer, S. (2015). Effects of Industry 4.0 on vocational education and training. Working Paper 15-04. IoTA. Austrian Academy of Science.
- Prinz, C., Morlock, F., Freith, S., Kreggenfeld, N., Kreimeier, D., Kuhlenkötter, B. (2016). Learning Factory Modules for Smart Factories in Industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 2016, pp. 113-118.
- Sauter, R., Bode, M., Kittelberger, D. (2015). Wie Industrie 4.0 die Steuerung der Wertschöpfung verändert. Horvath und Partners.
- Schenk, M., Wirth, S. (2004). *Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik*. Berlin, Heidelberg, New York, Hong Kong, London, Milan, Paris: Springer Verlag.
- Schirner, G., Erdogmus, D., Chowdhury, K., Padir, T. 2013. The future of human-in-the-loop cyber-physical systems *Computer* 46(1), 2013, pp. 36-45.
- Schumann, M., Baethge-Kinsky, V., Kurz, C., Neumann, U. (1990). Reprofessionalisierung der Industriearbeit: ein Selbstläufer. *Gewerkschaftliche Monatshefte*, 7(90), 417-437.
- Spath, D., Ganschar, O., Gerlach, S., Hämmerle, M., Krause, T., Schlund, S. (2013). *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Fraunhofer Verlag.
- Stadermann, M. (2010). Schülerinnen und Lehrpersonen in mediengestützten Lernumgebungen. Zwischen Wissensmanagement und sozialen Aushandlungsprozessen. Wiesbaden: VS Verlag.
- Steiger, H., Hartbrich, I. (2014). "Industrie 4.0": Wir brauchen eine neue Arbeitskultur. *VDI Nachrichten*, No. 29, 2014.
- Tempelmeier, H. (2006). *Material-Logistik – Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung Advanced Planning-Systemen* (6. Aufl.). Berlin: Springer Verlag.
- Tisch, M., Hertle, C., Metternich, J., Abele, E. (2014) *Lernerfolgsmessung in Lernfabriken - Kompetenzorientierte Weiterentwicklung praxisnaher Schulungen*. In: *Industrie Management*, GITO Verlag, Berlin, 30 (3) pp. 20-24.
- Ullrich, A., Vladova, G., Thim, C., Gronau, N. (2015) Akzeptanz und Wandlungsfähigkeit im Zeichen der Industrie 4.0. *HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik* Heft 305, 52(5):769-789. DOI: 10.1365/s40702-015-0167-8
- Ullrich, A., Vladova, G., Gronau, N. (2017). Kontextsensitive Mitarbeiterqualifizierung. In: Weinert, N., Plank, M., Ullrich, A. (Hrsg.). *Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik: Ergebnisse des Verbundforschungsprojekts MetamoFAB*. Springer-Vieweg, S. 56-68.
- Wagner, U., AlGeddawy, T., ElMaraghy, H., Müller, E. (2012). The State-of-the-Art and Prospects of Learning Factories. In: *Procedia CIRP* 3, S. 109-114.

- Weinert, N., Plank, M., Ullrich, A. (2017). Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik: Ergebnisse des Verbundforschungsprojekts MetamoFAB. Springer-Vieweg, 2017. ISBN 978-3-662-54316-0.
- Wiesner, F., Ullrich, A., Vladova, G. (2016). Die Ausgestaltung von Kompetenzfacetten im Kontext Industrie 4.0. Arbeitsbericht WI-2016-01. Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Prozesse und Systeme.
- Zeller, B. (2005). Die Zukunft einfacher Arbeit oder: Der Trend zu steigenden Kompetenzanforderungen für gering Qualifizierte. In Kreklau/Siegers (Hrsg.): Handbuch der Aus und Weiterbildung. Nürnberg: Forschungsinstitut Betriebliche Bildung.