

The AM Workshop 4.0 Framework

04





The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



This work is licensed by the EXAM 4.0 Partnership under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

EXAM 4.0 partners:

TKNIKA – Basque VET Applied Research Centre, CIFP Miguel Altuna, DHBW Heilbronn – Duale Hochschule Baden-Württemberg, Curt Nicolin High School, Da Vinci College, AFM – Spanish Association of Machine Tool Industries, 10XL, and EARLALL – European Association of Regional & Local Authorities for Lifelong Learning.





"Die Unterstützung der Europäischen Kommission für die Erstellung dieser Publikation stellt keine Billigung des Inhalts dar, der ausschließlich die Meinung der Autoren wiedergibt, und die Kommission kann nicht für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen verantwortlich gemacht werden."

Abstrakt

Industrie 4.0 stellt neue Anforderungen an die Arbeitnehmer, neue Technologien erfordern innovative Lösungen, also innovative Arbeitnehmer, die sich an die erforderlichen Anpassungen anpassen können und einen Mehrwert für den Industriesektor bieten. Die neuen Anforderungen an die Arbeitnehmer erzeugen wiederum neue Anforderungen an die Bildung. Aufgrund der neuen Anforderungen haben das Curt Nicolin Gymnasiet und die Partner des EXAM 4.0-Konsortiums Forschungen bezüglich der Methoden für die Entwicklung der Industrie 4.0-Ausbildung durchgeführt. EXAM 4.0 hat Berichte erstellt, die Definitionen von Anforderungen enthalten, die ein VET/HVET-Zentrum erfüllen muss, um in der Lage zu sein, Studenten mit Schlüsselqualifikationen und -kompetenzen auszustatten, die im Advanced Manufacturing Sektor entscheidend sind. Dieser Bericht enthält Informationen über die Lehre in der Industrie 4.0 und die Verantwortlichkeiten der Personen, die an diesem Prozess beteiligt sind. Alle Arbeiten dienen auch dazu, einen Rahmen zu schaffen, der den idealen Prozess beschreibt, der bei der Schaffung neuer AM LABs 4.0 zu implementieren ist.





Inhaltsübersicht

Abstrakt	2
Inhaltsübersicht	3
Abkürzung	4
Einführung	5
4.1 Industrie 4.0	6
4.2 Merkmale des AM Workshop 4.0 Framework	6
4.3 Anzahl der Technologien	11
4.4 Methoden für I4.0-Lernen	18
4.5 Wie man Industrie 4.0 lehrt	21
4.6 Rollen und Verantwortlichkeiten	24
4.7 Definition der neuen EXAM 4.0 LABs	24
4.8 Normen, Kriterien, für EXAM 4.0 LAB-Modelle	27
Referenzen	28



Abkürzung

AI= Künstliche Intelligenz

AM = Advanced Manufacturing

AR = Augmented Reality (Erweiterte Realität)

CAD = Computer Aided Design

CAM = Computerunterstützte Fertigung

CoVE = Centres of Vocational Excellence

CPS = Cyber-Physische Systeme

D = Lieferbar

EQF = Europäischer Qualifikationsrahmen

EXAM 4.0 = Excellent Advanced Manufacturing 4.0

HVET = Higher Vocational Education and Training

I4.0 = Industrie 4.0

ICT = Informations- und Kommunikationstechnologien

IoT = Internet der Dinge

IIoT = Industrielles Internet der Dinge

IT = Informationstechnologie

KETs = Key Enabling Technologies

M2M = Maschine zu Maschine Kommunikation

OT = Operative Technik

RFID = Radiofrequenz-Identifikation

VET = Vocational Education and Training (Berufsbildung)

VR = Virtuelle Realität





Einführung

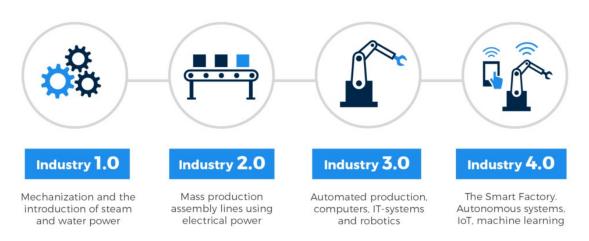
Der vierte Abschnitt des Berichts enthält Grafiken und Charakteristiken der verschiedenen Elemente im AM Workshop 4.0 Framework. Verschiedene Grafiken, die wichtige Aspekte von Industrie 4.0 und der beteiligten Technologien visuell darstellen. Diverse Lernansätze wie z. B. Challenge based Learning als eine ideale Methodik. Informationen zur Lehre in Industrie 4.0 und zu Rollen und Verantwortlichkeiten der beteiligten Personen. Dieser Abschnitt enthält auch Empfehlungen zur Planung, Programmierung, Implementierung und Überwachung neuer AM LABs.



Das AM Workshop 4.0 Framework

4.1 Industrie 4.0

The Four Industrial Revolutions



Wir befinden uns derzeit in einer Transformation, die Art zu produzieren verändert sich durch die Digitalisierung. Diese Transformation ist als Industrie 4.0 bekannt, oder ihrem Akronym I4.0, und ist die vierte industrielle Revolution. Die Transformation erweitert, was in der dritten industriellen Revolution begonnen wurde. Computer, Automatisierung, Robotik verschmelzen mit neuen Technologien wie autonomen Systemen, die durch maschinelles Lernen und Daten gefördert werden (Marr 2018). Interkonnektivität, Automatisierung, maschinelles Lernen und Echtzeitdaten sind die Schwerpunkte von Industrie 4.0. Die Idee von I4.0 ist die Verschmelzung der physischen Produktion mit intelligenten digitalen Technologien, um gut vernetzte Ökosysteme in Bezug auf die Fertigung und das Lieferkettenmanagement zu schaffen (Epicor n.d).

4.2 Merkmale des AM Workshop 4.0 Frameworks

Um fortschrittliche Fertigungswerkstätten für Berufsbildungszentren zu definieren bzw. zu charakterisieren, ist ein technologischer Referenzrahmen erforderlich, der die wichtigsten Merkmale, die die digitale Transformation hervorbringt, zusammenfasst.

Der Referenzrahmen basiert auf den Anpassungen, die in Unternehmen durchgeführt werden, der Art und Weise, wie Unternehmen, die mit fortgeschrittener Fertigung zu tun haben, die Transformation hin zu intelligenten Fabriken integrieren und umsetzen.





Es ist wichtig, sich daran zu erinnern, dass wir über Lehr- und Lernumgebungen sprechen, in denen die Implementierung von Technologie direkt mit den Kompetenzen, die ausgebildet werden, und den Lernergebnissen, die erreicht werden sollen, verbunden ist.

In Anlehnung an die weit verbreiteten Ebenen und Elemente der in Abbildung 16 gezeigten Automatisierungspyramide und unter Einbeziehung einiger weiterer Elemente können wir uns ein Lernsystem vorstellen, das einer ähnlichen Architektur folgt.

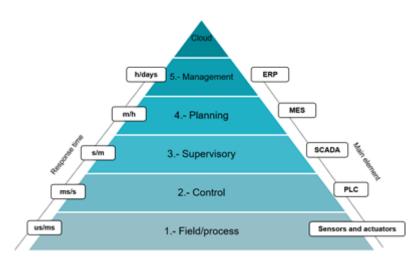


Abbildung 16 Automatisierungspyramide (EXAM4.0)

Eine vereinfachte Darstellung der potenziellen Struktur eines LABs für die Berufsausbildung ist in Abbildung 17 zu sehen. Die vorgeschlagenen LABs sollten auf einer repräsentativen Ebene digitalisiert werden, die es ermöglicht, zahlreiche der digitalen Funktionen anzuwenden, die potenziell in Smart Factories eingesetzt werden könnten. In Anlehnung an die typischen Schichten einer automatisierten Produktionslinie würden die vorgeschlagenen AM LABs für die Berufsbildung um einen Produktionsprozess herum konfiguriert werden. Da diese Architektur für Lernzwecke konzipiert ist, wäre die Konfiguration offen, modular und flexibel.

Grafiken und Merkmale der verschiedenen Elemente von Industrie 4.0, die für den AM Workshop 4.0 relevant sind.



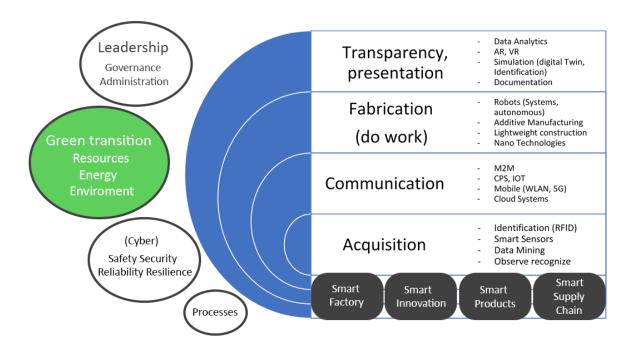


Abbildung 17 Konfiguration eines AM-Labors für VET (EXAM 4.0)

Die erste Feldebene ist die Erfassungsebene. Die zweite ist die Kommunikationsebene, in der verschiedene Kommunikationsprotokolle und -systeme implementiert würden, die nicht nur alle Feldelemente miteinander verbinden und steuern, sondern auch mit verschiedenen Maschinen und Geräten kommunizieren. Die dritte ist die "Fabrikationsschicht", auf der die Produktion stattfindet. Die Konfiguration und das Layout der Produktionsmaschinen, mit Lernzwecken, würden den entsprechenden Produktionsablauf sicherstellen. Ergänzende Technologie würde implementiert werden: Roboter und Cobots, additive Fertigung, Linienmesstechnik, Rückverfolgbarkeit usw. Die vierte Schicht ist die Transparenzdarstellung.

Beachten Sie, dass diese Darstellung komplementär zu der in Abbildung 16 dargestellten *Automatisierungspyramide* ist. Die AM LABs für die Berufsbildung müssen die Leitebenen, Scada-Systeme, MES-Systeme und sogar ERPs enthalten, um die Daten aus den LABs mit anderen digitalisierten Bereichen der Berufsbildungszentren zu verbinden.

Treibende Geschäftsmodelle

Ein weiterer relevanter Aspekt, den es zu berücksichtigen gilt, ist das Geschäftsmodell, das die Aktivitäten in der Industrie antreibt. In einem früheren EXAM 4.0-Bericht haben wir die Haupttreiber beschrieben, die in verschiedenen Branchen wirken werden. Smart Solutions, Smart Innovation, Smart Supply Chains und Smart Factories sind Felder, in denen Hersteller durch die Digitalisierung ihres Geschäfts enorme Potenziale realisieren werden. Während Smart Solutions und Innovationen vor allem das Unternehmenswachstum vorantreiben, geht es bei Smart Supply Chains und Factories vor allem um Effizienz.

Je nach Haupttreiber werden alle Betriebsmodelle variieren, einschließlich der wichtigsten Technologie-Enabler, die auf den Prozess einwirken. Es ist wichtig zu berücksichtigen, wie sich dies auf die Geschäftsmodelle auf das operative Modell in unseren AM LABs für die Berufsbildung auswirkt. In Abbildung 18 sind die wichtigsten Technologie-Enabler dargestellt, die in Abhängigkeit vom treibenden Geschäftsmodell wirken.



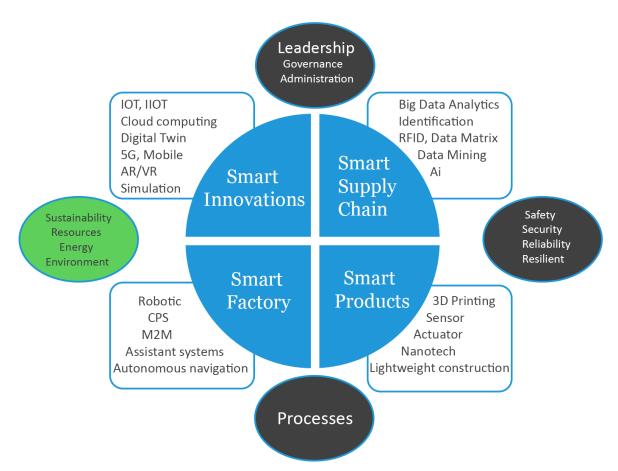


Abbildung 18 Wichtigste Technologie-Enabler und I4.0-Elemente, die abhängig vom treibenden Geschäftsmodell wirken (EXAM 4.0)

Dieses Modell gibt ein allgemeines Bild von Technologien, Methoden und Elementen, die wichtig sind, um im Rahmen von I4.0 erfolgreich zu sein.

In den folgenden Abschnitten werden Details zu den vier Hauptgeschäftsmodellen gegeben:

Intelligente Fabrik:

"Die Smart Factory ist ein Konzept, um das Endziel der Digitalisierung in der Fertigung auszudrücken" (Koo 2020).

Der Begriff Smart Factory wird meist im Zusammenhang mit hochdigitalisierten Fabriken verwendet. Diese Fabriken sammeln ununterbrochen Produktionsdaten und teilen Daten zwischen verbundenen Maschinen und Geräten. Die Geräte nutzen die Daten zur Selbstoptimierung und die Organisation kann damit Probleme innerhalb der Fabrik angehen, um die Produktion zu verbessern. Innerhalb von Smart Factories werden zahlreiche Technologien eingesetzt, um sie funktionsfähig zu machen, zum Beispiel KI, Big Data Analytics, Cloud Computing und IIoT. (Koo 2020).

Intelligente Lieferketten:

Industrie 4.0 umfasst mehr als nur Smart Factories und die Implementierung von Technologien. Logistik 4.0 und Smart Supply Chain Management betrifft eine Vielzahl von Merkmalen in Bezug auf End-to-End-Logistik und Supply Chain Management in der Industrie 4.0, wie IoT, CPS und fortschrittliche Datenanalyse. (i-SCOOP n.d).





Intelligente Fabriken nutzen Technologien wie Sensoren, die in Geräten implementiert sind, die mit dem IoT verbunden sind, zusammen mit zahlreichen anderen fortschrittlichen Technologien wie cyberphysikalischen Systemen, Datenanalyse, Robotik und KI. Diese Technologien spielen eine Schlüsselrolle bei der Verwaltung von intelligenten Lieferketten.

Ein intelligentes Lieferkettenmanagement hat zahlreiche Vorteile, z. B. die Vorhersage von Engpässen. Die Lieferkette kann aufgrund von Echtzeitdaten von Sensoren in der Fabrik selbstorganisierend und selbstoptimierend sein. Smarte Systeme, die im Smart Supply Chain Management eingesetzt werden, können zukünftige Engpässe vorhersagen und die Umsetzung einer schlanken Produktion unterstützen (Throughput 2019).

Intelligente Produkte:

Konzepte der Industrie 4.0 wie Smart Factories und fortgeschrittene Fertigungstechnologien treiben Innovationen und Entwicklungen voran, die sich sowohl auf Prozesse als auch auf Produkte auswirken; dies ermöglicht die Schaffung von Smart Products. (Schmidt et al. 2015, referenziert in Nunes et al. 2017)

Der Begriff "Smart" hat keine wirkliche Definition, aber der Begriff bezieht sich in der Regel auf Geräte, die selbstständig mit anderen Geräten in einem Netzwerk kooperieren und mit eingebetteten Systemen Aktionen basierend auf Echtzeit-Updates durchführen (Raji 1994, referenziert in Nunes et al. 2017). Die Entwicklung von smarten Produkten und Prozessen steht im Fokus der vierten industriellen Revolution, die Entwicklungen werden durch den Wandel von konventionellen Fabriken zu Smart Factories vorangetrieben (Radziwon 2014, referenziert in Nunes et al. 2017). Smarte Fabriken haben die Möglichkeit, die Komplexität zu kontrollieren und die Produktionseffizienz zu verbessern. Eine smarte Fabrik definiert sich durch die Kommunikation in Netzwerken mit Menschen, Maschinen und Geräten wie z. B. Smart Products (Kagermann 2013, referenziert in Nunes et al. 2017).

Smarte Produkte sind wichtig für die I4.0-Fertigung, diese Produkte werden in den gesamten Prozess der Fertigung implementiert und unterstützen diesen ständig und steuern bestimmte Teile der Produktion autonom. Smarte Produkte sind auch über die Parameter und die zukünftige Nutzung ihrer selbst informiert und werden daher während ihres gesamten Lebenszyklus Statusinformationen über sich selbst liefern (Kagermann 2013, referenziert in Nunes et al. 2017). Der Hauptzweck von Smart Products ist ihre Interaktion mit der Umwelt durch Berechnung, Datenspeicherung und Kommunikation. Smarte Produkte können über ihre gesamte Wertschöpfungskette hinweg Informationen über ihren Fortschritt geben, Informationen über frühere Prozessschritte speichern und auch Informationen über zukünftige Produktions- und Wartungsprozesse bereitstellen. Smarte Produkte können auch ohne menschliches Zutun mit der physischen Umgebung interagieren (Schmidt et al. 2015, referenziert in Nunes et al. 2017).

Intelligente Innovationen:

Die Digitalisierung der Industrie wird nicht nur Wertschöpfungsprozesse verändern, sondern auch neue Geschäftsmodelle und neue Innovationen hervorbringen. Smarte, digitale Produktionsprozesse bieten große Chancen für Unternehmen - insbesondere für KMU. Neue Impulse kommen aus einer Vielzahl von Quellen außerhalb der eigenen Organisation und müssen proaktiv in einen offenen Innovationsprozess integriert werden. In einer vernetzten Industrie 4.0 sind Ideen jedoch viel wertvoller, wenn sie in eine ebenso innovative Peripherie von Geräten oder verwandten Lösungen eingebettet sind. Extended Innovation umfasst die Erstellung und Verteilung von Ideen über Organisationsgrenzen hinweg, während Connected Lifecycle Innovation Produktlebenszyklusdaten als Quelle für Innovationen nutzt. Extended Innovation erfordert die Öffnung von Innovationsprozessen in produzierenden Unternehmen für externe Partner und Kunden. Kommunikation und Konnektivität ermöglichen unternehmensübergreifende Innovationsaktivitäten. Extended Innovation ist ein wechselseitiger Austausch, bei dem Informationen in und aus dem Unternehmen fließen. Während Impulse von außen aktiv in das Unternehmen hineingetragen werden, fungiert es als Drehscheibe, um diese dann in das Partnernetzwerk einzuspeisen und so Innovation und Ideengenerierung auf breiter Basis zu unterstützen. Die Zusammenarbeit im Innovationsprozess sowohl mit Kunden als auch mit Partnern wird die Time-to-Market verkürzen und die



Innovationsgeschwindigkeit in Richtung eines konstanten Flusses treiben. Schließlich werden Innovationen durch den Austausch von Informationen im gesamten Ökosystem des Herstellers nachhaltiger. Connected Lifecycle Innovation unterscheidet sich vom "gewöhnlichen" Product Lifecycle Management durch seinen ganzheitlichen Ansatz: Produktbezogene Informationen werden mit anderen relevanten Daten, wie Maschinenparametern oder Kundenauftragsdaten, gekoppelt. Diese werden dann analysiert, verarbeitet und für die Generierung von Innovationen genutzt, was datengetriebene F&E-Entscheidungen und Geschäftsprozessinnovationen in der gesamten Organisation ermöglicht, z. B. in Vertriebsprozessen. Wie Extended Innovation wird auch Connected Lifecycle Innovation zu einer Erhöhung der Innovationsfrequenz führen. Sie wird die Zeit bis zur Markteinführung verkürzen, was ein Wachstumspotenzial sowie eine verbesserte Effizienz im Betrieb bei geringeren F&E-Kosten bedeutet.

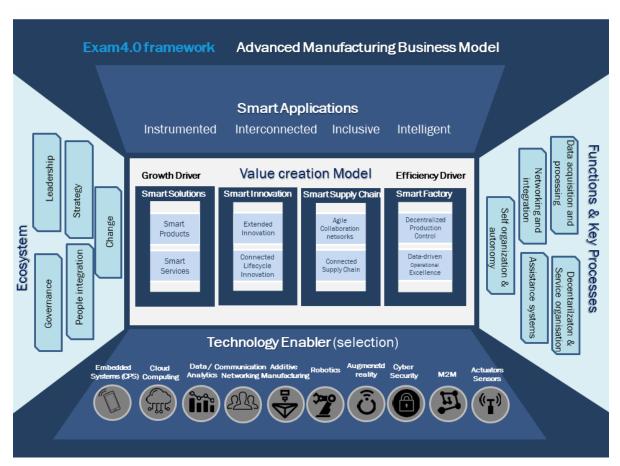


Abbildung 19 Geschäftsmodell für die Fertigung (EXAM 4.0)

EXAM 4.0 LABs sollten mit dem Exam 4.0 Framework und dem Exam 4.0 Competency Framework, die in einem früheren EXAM 4.0 Bericht geschrieben wurden, übereinstimmen oder darauf basieren.

Der halbstrukturierte Fragebogen, der von den Partnern des Konsortiums durchgeführt wurde, kann nicht nur bei der Beschreibung bestehender LABs, sondern auch bei der Beschreibung neuer EXAM 4.0 LABs verwendet werden.

4.3 Anzahl der Technologien



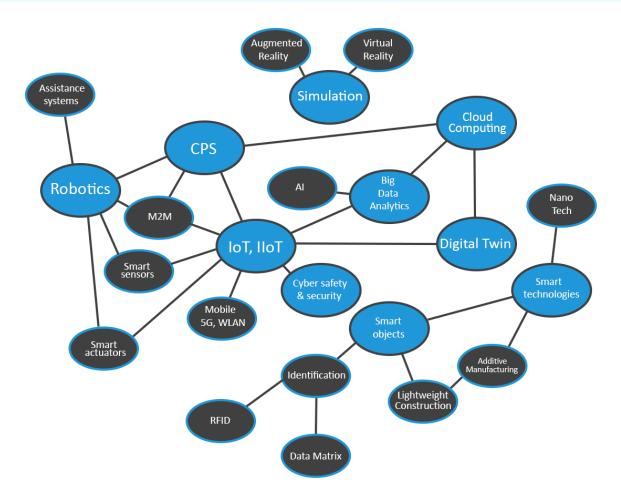


Abbildung 20 Grafiken zu fortschrittlichen Fertigungstechnologien (EXAM 4.0)

Die Schlüsseltechnologien und die mit Industrie 4.0 und fortgeschrittenen Fertigung verbundenen Technologien wurden in Abschnitt 2 dieses Papiers beschrieben. Abbildung 20 ist eine grafische Darstellung der Technologien und ihrer Beziehungen zueinander. Die Grafik basiert auf der PowerPoint-Präsentation "Framework EXAM 4.0, technology enablers" aus einem früheren EXAM 4.0-Bericht. Die grauen und blauen Ellipsen stellen Ebenen der verschiedenen Technologien dar und die Linie dazwischen zeigt die Beziehung zwischen diesen Technologien in einer grundlegenden Weise.

Additive Fertigung / 3D-Druck

Welcher Begriff auch immer verwendet wird, additive Fertigung oder 3D-Druck ist die Definition für ein Fertigungsverfahren, bei dem Material Schicht für Schicht auf der Grundlage eines geschnittenen CAD-Modells hinzugefügt wird. Beide Begriffe sind korrekt, sollten aber in unterschiedlichen Kontexten verwendet werden. Additive Manufacturing wird häufiger in Bezug auf die Fertigung im industriellen Maßstab oder als Sammelbezeichnung für verschiedene 3D-Druckverfahren verwendet. Der Begriff 3D-Druck wird vorzugsweise von Personen verwendet, die nicht in der Fertigung oder im technischen Bereich tätig sind (K3 Syspro n.d).

Bei der additiven Fertigung werden Produkte, wie bereits erwähnt, durch schichtweises Hinzufügen von Material erzeugt, im Gegensatz zu traditionellen Fertigungsverfahren, bei denen Materialien vom Rohmaterial abgezogen werden (Linke 2017).

Rapid Prototyping (RP) und Direct Digital Manufacturing (DDM) werden beide im Rahmen der Additiven Fertigung eingesetzt, um 3D-Teile zu erzeugen, insbesondere durch die Lagerung und Verbindung der Produkte mit geeigneten Polymeren, Keramiken oder Metallen.





3D-Druck-Verfahren:

Additive Fertigung für Polymer:

Pulverbettfusion (PBF) ist ein additives Fertigungsverfahren, das häufig im industriellen Maßstab eingesetzt wird. PBF hat zwei Untermethoden. Multi Jet Fusion (MJF), bei der die Materialien mit einem Mittel und Energie verschmolzen werden. Winzige Flüssigkeitstropfen werden auf das Material aufgetragen, die die Wärmeaufnahme des Pulvers erhöhen oder unterdrücken. Eine Infrarotquelle verschmilzt das Pulver später zu festem Material. Das andere Verfahren ist das Selektive Laser-Sintern (SLS), bei dem das Pulvermaterial mit einem Laser verschmolzen wird. Der bewegliche Laser sintert die Schichten und verfestigt das Pulver.

Die Materialextrusion (MEX) hat zwei Untermethoden. Fused Deposition Modeling (FDM) ist die Methode, an die die meisten Menschen denken, wenn sie von 3D-Drucken hören, oft in Form von kleinen Druckern, die in eine Bürolandschaft passen. Das Filament ist drahtförmiger Kunststoff, der Drucker hat eine Düse, die das Filament Schicht für Schicht aufträgt. Die andere Methode ist das Arburg Plastic Freeforming, das ähnlich wie FDM funktioniert, aber stattdessen Polymergranulat verwendet, das Schicht für Schicht hinzugefügt wird.

Material Jetting (MJT) verwendet mehrere Düsen, um Tröpfchen von Photopolymer auf die Schichten aufzutragen. Das Photopolymer wird anschließend sofort durch UV-Licht ausgehärtet.

Vat Photopolymerization (VPP) verwendet einen Bottich mit flüssigem Photopolymerharz (Loughborough University n.d). VPP hat zwei Untermethoden, die Stereolithografie (SLA) und Direct Light Processing (DLP). SLA verwendet einen beweglichen Laserstrahl, der das Photopolymer verfestigt. DLP verwendet einen Projektor, um jede Schicht zu belichten, das belichtete Material wird polymerisiert und verfestigt.

Additive Manufacturing für Metall:

Das Pulverbettschmelzen (Powder Bed Fusion, PBF) für Metall hat zwei Untermethoden. Selektives Laserschmelzen (SLM), bei dem das Pulvermaterial mit einem Laser verschmolzen wird. Elektronenstrahlschmelzen (EBM) verwendet einen beweglichen Elektronenstrahl, um das Metallpulver selektiv zu schmelzen.

Direct Energy Deposition (DED) hat drei Untermethoden. Laser Engineering Net Shape (LENS) trägt Schichten auf und schmilzt sie gleichzeitig mit einem Laserstrahl auf. Metal Powder Application (MPA) verwendet Kaltkontaktschweißen, Metallpulvermaterialien werden schichtweise mit sehr hoher kinetischer Energie aufgetragen. Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM) verschmilzt Metalldraht mit einem Lichtbogen schichtweise, um große Metallstrukturen zu erzeugen.

Materialextrusion (MEX), Fused Deposition Modeling (FDM) verwendet drahtförmiges Metall, das auch Kunststoff als Stützstruktur enthält. Das Material wird schichtweise über eine Düseneinheit aufgetragen, das fertige Teil wird anschließend gesintert.

Beim Binder Jetting (BJT) werden mit vielen Düsen gezielt winzige Bindertröpfchen auf das Metallpulver gesetzt. Die Tröpfchen mit Bindemittel verbinden das Pulver zu einem festen Material. Das fertige Teil wird anschließend gesintert.

Material Jetting (MJT), Nano Particle Jetting (NPJ) verwendet eine Metallpartikel-Lösungsmittel-Flüssigkeit, um Schichten durch eine Düseneinheit zu erzeugen. Das Lösungsmittel verdampft und die Nanopartikel verbinden sich miteinander, das fertige Produkt wird anschließend gesintert.

Additive Manufacturing für andere Materialien:

Bei der Materialextrusion (MEX) für Verbundwerkstoffe wird ein Verfahren namens Continuous Filament Fabrication (CFF) verwendet. Das Material ist drahtförmig und wird selektiv Schicht für Schicht hinzugefügt.

MEX mit pastösen Materialien verwendet eine Methode namens Paste Extrusion Modeling (PEM). Die Methode ist der CFF sehr ähnlich. Die Düseneinheit steigt bei PEM jedoch nicht auf die gleiche Temperatur.

Material Jetting (MJT) verwendet "Drop on Demand", um mehrere Tropfen erhitzten Wachses Schicht für Schicht aufzutragen. Das Material verfestigt sich zu einem 3D-Objekt, wenn das Wachs abgekühlt wird.





Sheet Lamination (SHL) laminiert Verbundwerkstoff oder Papier über Selective Deposition Lamination (SDL) / Laminated Object Manufacturing (LOM). Die Düse trägt Tröpfchen auf, die das Material laminieren. (AM FELDFÜHRER KOMPAKT 2020).

Eingebettete Systeme (Cyber-physische Infrastruktur) und mobile Technologien

Eingebettete Systeme, Cyber-Physical Systems (CPS), können als unterstützende Technologie für die Organisation und Koordination von vernetzten Systemen zwischen ihrer physischen Infrastruktur und den rechnerischen Fähigkeiten erklärt werden. In dieser Hinsicht sollten physische und digitale Werkzeuge integriert und mit anderen Geräten verbunden werden, um dezentralisierte Aktionen zu erreichen. Mit anderen Worten: Eingebettete Systeme integrieren im Allgemeinen die physische Realität in Bezug auf innovative Funktionalitäten, einschließlich der Rechen- und Kommunikationsinfrastruktur (Zhong et al., 2017 referenziert in State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).

Cloud-Technologien

Cloud-basiertes Arbeiten ist ein weiteres wesentliches Thema für den Beitrag der vernetzten Systemintegration in der Industrie 4.0-Transformation. Der Begriff "Cloud" in I4.0 umfasst sowohl Cloud Computing als auch cloudbasierte Fertigung und Konstruktion. Cloud Manufacturing impliziert die koordinierte und vernetzte Produktion, die "on-demand" zur Verfügung steht. Die bedarfsbasierte Fertigung nutzt die Sammlung verteilter Fertigungsressourcen, um rekonfigurierbare cyber-physische Fertigungsprozesse zu erstellen und zu betreiben. Der Hauptzweck dabei ist die Steigerung der Effizienz durch die Senkung der Produktlebenszykluskosten und die Ermöglichung einer optimalen Ressourcennutzung durch die Bewältigung von kundenorientierten Arbeiten mit variabler Nachfrage (Thames & Schaefer, 2016 referenziert in State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).

Virtualisierungstechnologien (Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR)

Virtuelle Realität (VR) ist eine künstliche, computergenerierte Simulation oder Nachbildung einer realen Umgebung oder Situation. Sie lässt den Benutzer eintauchen, indem sie ihm das Gefühl gibt, die simulierte Realität hautnah zu erleben, vor allem durch die Stimulierung seines Seh- und Hörvermögens. VR wird vor allem auf zwei verschiedene Arten eingesetzt:

Zur Erzeugung und Verbesserung einer imaginären Realität für Spiele und Unterhaltung (z. B. Video- und Computerspiele oder 3D-Filme, Head Mounted Display).

Verbesserung der Ausbildung für reale Umgebungen durch die Schaffung einer Simulation der Realität, in der Menschen vorher üben können (wie Flugsimulatoren für Piloten) (State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).

Augmented Reality (AR) ist eine Technologie, bei der computergenerierte Erweiterungen über eine bestehende Realität gelegt werden, um diese durch die Möglichkeit der Interaktion mit ihr aussagekräftiger zu machen. AR wird in Apps entwickelt und auf mobilen Geräten eingesetzt, um digitale Komponenten so mit der realen Welt zu verschmelzen, dass sie sich gegenseitig verstärken. Die Anwendung von AR im Industriebereich ist wertvoll, da sie die Kommunikation im Produktdesign und in der Produktionsentwicklung stark verbessert: Sie hilft, Designfehler in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses zu erkennen und zu vermeiden, sie reduziert die Anzahl der physischen Prototypen und spart Zeit und Kosten für Unternehmen. AR wird als nützliches Werkzeug zur Verbesserung und Beschleunigung der Produkt- und Prozessentwicklung in vielen industriellen Anwendungen angesehen. Die fünf wichtigsten Anwendungsbereiche für AR in der Industrie 4.0 sind: Mensch-Roboter-Kollaboration, Wartung-Montage-Reparatur, Schulung, Produktkontrolle und Gebäudeüberwachung. Im Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration wird AR eingesetzt, um effiziente Schnittstellen zur Interaktion mit Industrierobotern zu schaffen. In den Bereichen Wartung-Montage-Reparatur verbessert AR die eigene





Produktivität. Bei Schulungsmaßnahmen können Anwender in AR eine leistungsfähige Lösung finden, um ihre Fähigkeiten zu verbessern. Bei der Inspektion von Produkten können Kontrolleure mithilfe von leistungsstarken und vielseitigen AR-Systemen jegliche Unstimmigkeiten von Artikeln feststellen. Bei der Gebäudeüberwachung hebt AR jeden Fehler oder jede Abweichung einer Anlage auf einfache und intuitive Weise hervor (State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).

AR verbessert die Zuverlässigkeit und Sicherheit von Robotersystemen, indem es den Arbeitern die Absichten der Roboter zeigt, es senkt die Kosten und verbessert die Leistung von Wartungssystemen, es zeigt jegliche Diskrepanzen von Produkten, indem es Modelle dem realen Objekt präzise überlagert (Stand der Technik von AM und HVET/VET in Europa, 2020)

Datenanalyse (Big Data) und Künstliche Intelligenz (KI)

Die Begriffe Datenanalytik/-wissenschaft, maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz (KI) fallen in denselben Bereich und sind miteinander verbunden, sie haben spezifische Anwendungen und Bedeutungen. Datenwissenschaft und -analytik konzentrieren sich auf Datenmodellierung und Data Warehousing, um die ständig wachsende Datenmenge zu verfolgen. Die durch Data-Science-Anwendungen extrahierten Informationen können zur Steuerung von Geschäftsprozessen verwendet werden.

Künstliche Intelligenz (KI) wird mit Robotern und einer maschinellen Welt assoziiert, die es Maschinen ermöglicht, durch die Nachahmung menschlicher Intelligenz Argumente auszuführen. Maschinelles Lernen ist ein Teilbereich der Künstlichen Intelligenz. Es handelt sich um Systeme, die automatisch aus Erfahrungen lernen und sich verbessern können.

KI spielt eine wesentliche Rolle in einem Advanced Manufacturing System (AMS), indem sie typische Funktionen wie Lernen, Schlussfolgern und Handeln bereitstellt. Durch den Einsatz von KI-Technologie kann die menschliche Beteiligung an AMS minimiert werden. Materialien und Produktionszusammensetzungen können automatisch angeordnet werden und Produktionsprozesse und Fertigungsvorgänge können z. B. in Echtzeit überwacht und gesteuert werden.

Datenanalytik und künstliche Intelligenz ermöglichen die Verknüpfung von Daten, um Erkenntnisse über Kunden zu gewinnen, das Geschäft auszubauen und die Geschwindigkeit und Qualität der Logistik zu optimieren. Infolgedessen beginnen die Fertigungsunternehmen, fortschrittliche Informations- und Wissenstechnologien zu übernehmen, um ihren Informationsfluss zu erleichtern; eine riesige Menge an Echtzeitdaten im Zusammenhang mit der Fertigung wird aus verschiedenen Quellen angesammelt. Die gesammelten Daten, die während der F&E-, Produktions-, Betriebs- und Wartungsprozesse gesammelt werden, nehmen mit exponentieller Geschwindigkeit zu (Zhong et al., 2017 referenziert in State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).

Kommunikation und Vernetzung (Industrielles Internet der Dinge IIoT)

Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) ist die Infrastruktur der Vernetzung von Objekten untereinander. In Fertigungssystemen ist jedes Gerät mit elektronischer Software, Sensoren und Aktoren ausgestattet. Diese Systeme sind mit Internet-Netzwerken verbunden. Das IoT ermöglicht es Fertigungsgeräten, Daten innerhalb von Fertigungsgeräten und zwischen Fertigungsgeräten und ihren Dienstleistern oder Verbrauchern auszutauschen. Aus technischer Sicht können wir das IoT als eine Kombination aus Sensoren wie RFID, anderen Kommunikationsgeräten (d. h. eingebetteten Computern), CM-Anwendungen, Enterprise Resource Planning (ERP)-Integration und Business Intelligence-Technologie beschreiben (State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).

Aus kommunikationstechnischer Sicht stützen sich IoT und CPS weitgehend auf das mobile Internet, d. h. auf Telekommunikationsnetze. Die Entwicklungen im Bereich der Kommunikations- und Netzwerktechnologien sowie die einheitliche und semantische Informationsmodellierung auf der Grundlage von Webstandards verändern die Struktur industrieller Netzwerke und sind zur Voraussetzung für die tatsächliche Umsetzung von industriellem IoT (IIoT) und CPS geworden (State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).





Kommunikation und Vernetzung kann als Verbindung zwischen physikalischen und verteilten Systemen beschrieben werden, die individuell definiert sind. Mithilfe von Kommunikationswerkzeugen und -geräten können Maschinen interagieren, um vorgegebene Ziele zu erreichen. Der Schwerpunkt liegt auf der Einbettung intelligenter Sensoren in reale Umgebungen und Prozesse. Das industrielle Internet der Dinge (IIoT) beruht sowohl auf intelligenten Objekten als auch auf intelligenten Netzwerken und ermöglicht auch die Integration physischer Objekte in das Netzwerk in Fertigungs- und Dienstleistungsprozessen (State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).

Machine-to-Machine-Kommunikation (M2M)

M2M, zentral für den Shopfloor, wirkt sich auf Industrie 4.0 aus und bezieht sich auf Technologien, die den automatisierten Austausch von Informationen zwischen den CPS ermöglichen, die die Industrie 4.0-Produktionsumgebung bilden. M2M kann als integrale Technologie des "Internet der Dinge" (IoT) betrachtet werden. Durch fortschrittliche eingebettete Sensor- und Aktor-Anwendungstechnologie kann die gesamte Produktionshalle aussagekräftige Informationen übermitteln und bildet die Schnittstelle zwischen der physischen und der virtuellen Welt. Dies bietet ein Maß an Transparenz, das enorme Verbesserungen in der Fertigung ermöglicht, vom Leistungsmanagement bis hin zu ganz neuen Geschäftsmodellen. Während die offensichtlichsten Nutzungsformen von M2M in der unternehmensinternen Verknüpfung von Produktionsanlagen liegen werden, ist M2M auch der Schlüssel-Enabler, wenn es um unternehmensübergreifende Operationen geht (State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).

In Anbetracht der Fortschritte in der Fertigung, die durch Kommunikations- und Netzwerktechnologien unterstützt werden, ist die Fertigungsindustrie bereit, die Produktionsprozesse mit Big-Data-Analysen zu verbessern, um die Vorteile einer höheren Rechenleistung mit offenen Standards zu nutzen und die Verfügbarkeit von Branchen-Know-how im Voraus zu erreichen. Als Ergebnis der Durchdringung von Fertigungsintelligenz können Hersteller in der Lage sein, die Qualität zu verbessern und den Fertigungsoutput zu erhöhen (State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).

RTLS- und RFID-Technologien: Die RFID-Methode gilt als Nachfolger der Optical Mark Recognition (OMR), einer der bekanntesten und am häufigsten eingesetzten AutoID-Methoden, insbesondere im Bereich der Barcode-Anwendungen. Die RFID-Technologie wird in vielen Bereichen der Wirtschaft eingesetzt. Zu den am häufigsten verwendeten Anwendungen der RFID-Technologie von ernsthafter geschäftlicher Bedeutung gehören:

- Logistik,
- Apotheke,
- Flughäfen,
- Bibliotheken,
- Lebensmittelindustrie.

Smart Factory hat einige kritische Operationen wie intelligente Logistik, Transport und Lagerung durch effiziente Koordination von eingebetteten Systemen und Informationslogistik zu erfüllen. Diese Vorgänge umfassen die Identifizierung, Standorterkennung und Zustandsüberwachung von Objekten und Ressourcen innerhalb der Organisation und unternehmensübergreifend unter Verwendung von Auto-ID-Technologien. Die Anwendung der RFID-Technologie ermöglicht ein Höchstmaß an Überwachung der Warenströme in der gesamten Lieferkette (Rückverfolgbarkeit). Die genaue Verfolgung des Warenweges ist durch die Erfassung von Informationen in jedem Element der Lieferkette vom Hersteller, über Großhändler und Distributoren bis hin zum Einzelhändler möglich. Sie ermöglicht es, den Lieferprozess zu optimieren und alle Fehler und Unzulänglichkeiten zu beseitigen, wie z. B. ungerechtfertigte Zurückbehaltung von Waren, Verluste und Diebstahl usw. Die Information über die aktuellen Standorte bestimmter Produktionschargen ist für einige Industriezweige äußerst wichtig (State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).





Cyber-Sicherheit

Wie in den vorangegangenen Abschnitten erwähnt, erfordert die Transformation der Industrie 4.0 intensive -verarbeitungsaktivitäten. Integration Datenerfassungsund Die von IoT-Geräten Cybersicherheitstechnologien in die Kommunikationsnetzwerke kritischer Infrastrukturen impliziert wichtige ethische Aspekte, die Menschen spüren und verstehen sollten, während sie von einem höchstmöglichen Maß an Vertrauen und Privatsphäre profitieren. Dieses Anliegen wird durch den Bedarf IoT-Vertikale IoT-Vertikalen repräsentiert. verschiedenen müssen Cybersicherheitsrahmen entwickeln, um Missbrauch durch böswillige Eingriffe zu verhindern, einschließlich solcher, die von der organisierten Kriminalität, Terrororganisationen oder staatlich geförderten Angreifern ausgehen (Stand der Technik von AM und HVET/VET in Europa, 2020).

Sensoren und Aktoren

Alles wird intelligenter und die auf allen Ebenen des Produktionsprozesses generierten Daten werden genutzt, um die Produktqualität, Flexibilität und Produktivität zu verbessern. Dies wäre nicht möglich ohne smarte Sensoren, die die Daten generieren und weitere Funktionalitäten von der Selbstüberwachung und Selbstkonfiguration bis hin zur Zustandsüberwachung komplexer Prozesse ermöglichen. Analog zu Industrie 4.0 hat die Entwicklung der Sensoren ausgeprägte Stufen durchlaufen, die in den heutigen smarten Sensoren oder "Sensor 4.0" gipfeln. Sensoren und Aktoren sind die Basistechnologie für eingebettete Systeme, da das gesamte System eine Steuereinheit erhält, in der Regel einen oder mehrere Mikrocontroller, die die Sensoren und Aktoren überwachen, die für die Interaktion mit der realen Welt notwendig sind (State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).

Sensoren und Messtechnik sind zentrale Innovationstreiber, nicht nur für Industrie 4.0, sondern auch für andere Megatrends, die mit dem Adjektiv smart beschrieben werden, z. B. Smart Factory, Smart Production, Smart Mobility, Smart Home oder Smart City. Intelligente Entscheidungen komplexer Systeme basieren auf dem Wissen über das System sowie Umgebungsbedingungen und Einflussfaktoren, die von Sensoren mit hoher Genauigkeit bereitgestellt werden (State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020).

Erweiterte Robotik

Hersteller setzen jetzt fortschrittliche Robotik als ein wesentliches Element der fortschrittlichen Automatisierung ein, die die selbstgesteuerte Fabrik der Zukunft ermöglicht. Die Verbesserung von Werksstrukturen und Prozessen mit digitalen Technologien kann die Produktivität und Flexibilität sowohl in der Fabrik als auch in der Lieferkette erhöhen und ermöglicht es den Produzenten, sich schnell an veränderte Kundenbedürfnisse anzupassen.

Die fortschrittliche Robotik ist ein Schlüsselelement in der Bewegung hin zu einer fortschrittlichen Automatisierung, die dazu beiträgt, die Fabrikabläufe dramatisch zu verbessern. Was macht Automatisierung "fortschrittlich"? Das entscheidende Merkmal ist die dezentrale Intelligenz, die es Geräten und Anlagen ermöglicht, Entscheidungen zu treffen und Aktionen autonom, ohne menschliches Eingreifen, durchzuführen. Diese Autonomie bildet die Grundlage für den selbstgesteuerten Betrieb in der Fabrik der Zukunft. Fortgeschrittene Automatisierung besteht aus vier Bausteinen (Buchner et al., 2019 referenziert in (State of the art of AM and HVET/VET in Europe, 2020):

Ganzheitliche Datenmodelle. Ein holistisches Datenmodell (auch als digitaler Zwilling bezeichnet) besteht aus einer digitalen Darstellung von Produkten und der Produktionsanlage entlang ihres Lebenszyklus. Es ermöglicht die virtuelle Inbetriebnahme von Produktionssystemen, einschließlich der Einrichtung und Integration von Geräten, durch Simulationstechnologien. Produktionsanlagen (wie z. B. fortschrittliche Roboter) können auf die Modelle zugreifen, um z. B. den benötigten Weg on the fly zu planen.





Cloud-Edge-Infrastruktur. Die Cloud-Edge-Infrastruktur verlagert Rechenleistung und Speicherplatz an die Ränder des Produktionsnetzwerks und überbrückt so die Bereiche IT und Betriebstechnologie. Diese Infrastruktur ist effektiver als die herkömmliche IT-Infrastruktur, wenn es darum geht, Herausforderungen wie Datenlatenz, begrenzte Bandbreite und unterbrochene Konnektivität in der Produktion zu überwinden. Sie ermöglicht es Produzenten, Daten zu sammeln und sie zur Verarbeitung an Cloud-Dienste zu übertragen. Darüber hinaus ermöglicht sie es den Prozessen in der Fertigung, sich selbstständig an Umgebungsänderungen anzupassen.

Technologien für die Datenverarbeitung. Daten unterschiedlicher Größe, Geschwindigkeit und Form - von transaktionalen Objekten (z. B. Bilder) bis hin zu Daten aus dem Internet der Dinge - müssen zeitnah verarbeitet werden, wenn sie in sinnvolle Informationen umgewandelt werden sollen. Jüngste Fortschritte bei den Datenverarbeitungstechnologien ermöglichen es den Herstellern, Prozesse (wie z. B. die Bahnplanung) kontinuierlich zu optimieren.

Workflow-Steuerungssystem. Ein Workflow-Steuerungssystem synchronisiert alle Aufgaben, die Maschinen oder menschliche Mitarbeiter in Fertigungs- und Logistikprozessen ausführen. Es ist das Rückgrat von maschinendominierten Systemkonfigurationen. Ein effizientes Management des gesamten Arbeitsablaufs erfordert die digitale Verbindung oder Integration von Maschinen und menschlichen Mitarbeitern. Die Konfigurationen von Workflow-Steuerungssystemen werden sich wahrscheinlich von zentralisierten zu dezentralen Architekturen entwickeln.

Da sich fortschrittliche Roboter aufgrund von Umgebungswahrnehmungen selbst justieren können, sind sie in der Lage, komplexe Montageprozesse, z. B. mit flexiblen Teilen, durchzuführen. Die direkte Echtzeit-Kommunikation zwischen Werkstücken und Robotern - zum Beispiel durch den Einsatz von Radiofrequenz-Identifikationstechnologie - unterstützt die Montage ebenfalls. So können Roboter bei Bedarf schnell die Werkzeuge wechseln, ohne dass eine explizite Anweisung erforderlich ist.

Neue Designtechnologien, additive Fertigung und Cloud-Edge-Technologien eröffnen neue Möglichkeiten, autonome, dezentrale Produktionsprozesse zu schaffen. Mithilfe von Additive-Manufacturing-Technologien werden Teile hergestellt, die ein fortschrittlicher Roboter dann aufnimmt und bewegt. Da der Bewegungspfad des Roboters ausschließlich auf den relevanten Datenmodellen von Produkten, Prozessen und Anlagen basiert, sind keine manuellen Eingriffe erforderlich.

Die fortschrittliche Robotik wird einen großen Einfluss auf die Belegschaft haben. Arbeitsplätze, die in erster Linie manuelle Routinetätigkeiten beinhalten (wie z. B. das Be- und Entladen von Maschinen), werden am ehesten vollständig automatisiert werden. (Stand der Technik von AM und HVET/VET in Europa, 2020)

0

4.4 Methodiken für I4.0-Lernen

Eines der von der EU-Kommission vorgegebenen Merkmale der Centres of Vocational Excellence (CoVE) ist, dass sie schülerzentrierte Lernansätze und aktive Lernmethoden anwenden.

Im Kontext von EXAM 4.0 werden aktive Lernmethoden in I4.0-Lehr- und Lernumgebungen eingesetzt. Relevante Lernmethodiken und weitere Informationen dazu werden entsprechend beschrieben:

• Problemorientiertes Lernen (PBL)

PBL ist eine pädagogische Methode, die verwendet wird, um Konzepte und Prinzipien zu lernen. Diese Bildungsmethode steht im Gegensatz zur direkten Präsentation von Fakten und Konzepten. Komplexe reale Probleme werden in PBL angewendet, um das Lernen der Schüler zu fördern. Neben der Festlegung von Fähigkeiten und Kompetenzen im Bildungsprogramm kann PBL die Ausbildung von Problemlösungsfähigkeiten, Kommunikationsfähigkeiten und Fähigkeiten zum kritischen Denken





unterstützen. Die Lernmethode unterstützt u.a. lebenslanges Lernen und Teamarbeit (Duch, Groh, Allen 2001, referenziert in University of Illinois Board of Trustees, et al 2020).

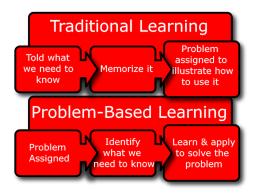


Abbildung 21 Problembasiertes Lernen (PBL) (Serhat 2020)

• Projektbasiertes Lernen

Projektbasiertes Lernen ist eine Bildungsmethode, bei der die Lernenden mit Projekten arbeiten, die Methode beinhaltet reale und sinnvolle Aufgaben.

Das Projekt wird innerhalb eines bestimmten Zeitraums durchgeführt, der Zeitrahmen kann sehr unterschiedlich sein. Projektbasiertes Lernen bezieht die Schüler in die Lösung von realen Problemen und komplexen Fragen ein. Während die Schüler mit sinnvollen Projekten arbeiten, zeigen sie ihre Fähigkeitenund Wissensstände an.

Die Schüler verbessern ihr inhaltliches Wissen und zusätzlich ihr kritisches Denken, ihre Zusammenarbeit, ihre Kreativität und ihre Kommunikationsfähigkeiten, indem sie projektbasiertes Lernen als pädagogischen Ansatz verwenden (Buck Institute for Education n.d).

All dies sind wichtige Kompetenzen für die Arbeit in I4.0.

• Challenge Based Learning

"Challenge Based Learning (CBL) bietet einen effizienten und effektiven Rahmen für das Lernen beim Lösen von Herausforderungen aus der realen Welt" (The Challenge Institute 2018). CBL ist eine Bildungsmethode mit dem Ziel, Studenten zu unterrichten, während sie Herausforderungen der realen Welt lösen. Die Methode fördert die Zusammenarbeit in vielen Bereichen, zum Beispiel um Herausforderungen zu identifizieren, zu untersuchen und zu lösen (The Challenge Institute 2018).

• Experimentelles Lernen (auch Hands on learning)

Die Bedeutung des Experimentellen Lernens ist, wie der Name schon sagt, das Lernen durch Erfahrung (Cherry 2020). Die Definition dieser Lernmethode kann nach dem Psychologen David Kolb erklärt werden als "der Prozess, bei dem Wissen durch die Transformation von Erfahrung geschaffen wird. Wissen resultiert aus den Kombinationen von Erfassen und Transformieren der Erfahrung" (Kolb 1984, referenziert in Cherry 2020).

Beim experimentellen Lernen muss der Lernende über seine Erfahrungen reflektieren, um neues Wissen zu erlangen.



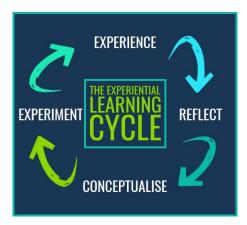


Abbildung 22 Der Experiental Learning Cycle (Growth Engineering 2017)

Entdeckendes Lernen

Discovery Learning oder entdeckendes Lernen ist eine pädagogische Methode des forschungsbasierten Unterrichts.

Discovery Learning hat fünf Hauptprinzipien. Diese sind 1. Problemlösung 2. Lernermanagement 3. Integrieren und Verbinden 4. Informationsanalyse und -interpretation 5. Fehler und Feedback (Pappas 2014).

Just-in-time-Unterricht

Just-in-Time-Unterricht besteht aus einem zweistufigen Lernprozess, der eingesetzt wird, um Bildung dann und dort zu vermitteln, wo sie entscheidend ist. Der erste Schritt von JITT besteht darin, dass die Schüler bestimmte Aktivitäten oder Aufgaben außerhalb des Unterrichts erledigen. Der Pädagoge prüft dann diese Aktivitäten, um festzustellen, in welchen Bereichen sich die Schüler verbessern müssen. Die anschließende Lektion wird dann für diese Bereiche angepasst, um zu gewährleisten, dass die Schüler das notwendige Wissen erwerben. (University of Illinois Board of Trustees, et al 2020).

• Spielbasiertes Lernen

Spielbasiertes Lernen ist eine Bildungsmethode, die Spiele verwendet. Die Methode kann auf verschiedenen Bildungsebenen eingesetzt werden, von der Vorschule bis zum lebenslangen Lernen. Spielbasiertes Lernen ist für verschiedene Bildungszwecke anwendbar, wie z. B. einfaches Auswendiglernen oder kompliziertere Lernergebnisse. Beim Training mit Game-based Learning können entweder nicht-digitale oder digitale Spiele verwendet werden (Whitton 2012).

Unabhängig davon, welche Methode verwendet wird, variiert zwar die Stärke der Evidenz für die verschiedenen Methoden, aber es wird durchweg festgestellt, dass induktive Methoden mindestens gleichwertig und im Allgemeinen effektiver sind als traditionelle deduktive Methoden, um ein breites Spektrum von Lernergebnissen zu erreichen (Prince und Felder 2006).

In Bezug auf die Methoden, die in AM LABs verwendet werden sollen, ist es relevant, einen breiteren systemischen Ansatz zu betrachten, der die gesamte Lernumgebung berücksichtigt. Es lohnt sich, die Anregung aus dem Bericht Curriculum guidelines for AM (PwC 2020) aufzugreifen.

Die Lernumgebung umfasst Arten von Umgebungen, die während des Bildungs- oder Trainingsprogramms geschaffen werden.

Die Lernumgebung bezieht sich sowohl auf die Qualitäten des Raums (sowohl physisch als auch virtuell), in dem die Lernaktivitäten stattfinden, als auch auf andere immaterielle Aspekte, die die sozialen und emotionalen Dimensionen des Lernens unterstützen und verbessern.

Die Lernumgebung kann auf unzählige verschiedene Arten organisiert werden und muss sich aus der Strategie und den spezifischen Zielen/gewünschten Lernergebnissen ergeben.





Beispiele für Ziele sind die Förderung von multidisziplinärer Orientierung, Design Thinking, Kreativität, Teamgeist, kollektiver Problemlösung, risikofreudigem Verhalten, experimentellen Ansätzen usw. Es kann verschiedene Formen der Realität erfordern (d. h. physisch, virtuell oder gemischt (augmentiert)). Es können mehrere Arten von Methoden verwendet und kombiniert werden, um die gesetzten Ziele zu erreichen, wie z.B. problemorientiertes (oder problembasiertes) Lernen, projektbasiertes Lernen, erfahrungsbasiertes (oder erlebnisorientiertes) Lernen, kollaboratives Lernen, technologiegestütztes Lernen usw. Die Ziele und Methoden definieren auch die am besten geeigneten Wege, eine physische Lernumgebung zu organisieren, z. B. in Form einer Lern-/Lehrfabrik, Design-Fabrik, Learning Lab, Living Lab, Innovation Hub, Makerspace usw.

4.5 Wie man Industrie 4.0 lehrt

Jede Schule und jeder Studiengang muss untersuchen, wie Industrie 4.0 in der zukünftigen Arbeitswelt für ihre Absolventen eingesetzt wird und bescheinigen, dass das Ausbildungsniveau für die Studenten relevant ist, um die Anforderungen der Industrie zu erfüllen.

Nach Matthew D. Kirchner müssen Studierende Wissen und Erfahrungen innerhalb der folgenden sechs Bausteine erwerben (Kirchner 2017).

Block 1:

Industrie 4.0 ist ein für Unternehmen nutzbares Werkzeug zur Steigerung ihrer Wettbewerbsfähigkeit.

Damit die Studierenden dieses Werkzeug nutzen und die Anforderungen von Industrie 4.0 erreichen können, müssen sie ein grundlegendes Wissen über die Disziplinen haben, die dem industriellen Erfolg zugrunde liegen.

Zu diesen Disziplinen gehören:

- Ein Verständnis für Sicherheit am Arbeitsplatz und sichere Arbeitspraktiken.
- Ein Verständnis der grundlegenden Durchsatzgleichung und der grundlegenden industriellen Notwendigkeit, Effizienz und Produktivität zu maximieren.
- Ein Verständnis für die Sieben Tödlichen Abfälle und wie sie sich in der Industrie und in industrienahen Prozessen manifestieren.
- Vertrautheit mit industriellen standardisierten Qualitätssystemen.
- Die Fähigkeit zur Fehlersuche in industriellen Prozessen und Anlagen.
- Weiche industrielle Fähigkeiten wie Zusammenarbeit, Problemlösung, Disziplin und Zeitmanagement.

Block 2:

Bei Baustein 2 geht es um das Wissen über Produktions- und Fertigungsanlagen, die für Industrie 4.0 wesentlich sind. Diese Ausrüstungen sind zum Beispiel Industrierobotik, manuelles und robotergestütztes Schweißen, Extrudieren und Umformen.

Block 3:

Smarte Sensoren und Smart Devices sind der Grundstein für Industrie 4.0. Diese Technologie sammelt immense Mengen an Informationen über ihre Umgebung, eingebettete Intelligenz wird genutzt, um programmierte Funktionen auszuführen. Dies geschieht, bevor die Informationen unter anderen Systemen und Geräten geteilt werden, die über Computernetzwerke und das Internet gemeinsam genutzt werden.

Paul Perkins, Vorsitzender des State of Indiana Workforce Innovation Council und Mitglied der National Governors Association of State Workforce Board Chairs, sagte, dass "das Wissen, das Studenten erhalten, über ein einfaches Verständnis von smarten Sensoren und Gerätetypen hinausgehen muss" (Kirchner 2017).

Block 4:





Die eigentliche Fertigungsarbeit des Zerspanens, Formens, Gießens und Extrudierens von Materialien zu Produkten wird durch industrielle Ausrüstung und Technologie betrieben. Der Prozess wird von intelligenten Sensoren und Geräten überwacht, um Rückmeldung zu geben. Diese Systeme dienen dazu, den gesamten Fertigungsprozess in Echtzeit zu steuern.

Damit Studenten für Industrie 4.0 bereit sind, müssen sie ein Verständnis für diese nachfolgenden Systeme haben:

- Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) Bedienung und Programmierung
- Sicherheits-SPS Bedienung und Programmierung
- Bediener- und Mensch-Maschine-Schnittstellen
- Verteilte E/A
- Elektronische und frequenzvariable Antriebe
- Motor- und Bewegungssteuerung
- Leistungs- & Steuerelektronik

Block 5:

Industrie 4.0 führt dazu, dass die industrielle Ausrüstung mehr mit dem Internet verbunden wird. Menschen, die sowohl Operational Technology (OT) als auch Information Technology (IT) beherrschen, haben große Chancen für die Zukunft. Die Studenten müssen ein besseres Verständnis für Netzwerke erwerben, die Daten von intelligenten Geräten übertragen. Damit die Studenten ein besseres Verständnis für diese Netzwerke bekommen, müssen sie mehrere Technologien wie Netzwerkserver, verteilte Server, Router, Switches, Gateway-Geräte lernen. Ethernet, Foundation Fieldbus, Profibus, drahtlose Kommunikation, Verknüpfungstechnologien und Multi-User-Anwendungen.

Block 6:

In den letzten zwei Jahren wurden mehr Daten erzeugt als in den letzten 5.000 Jahren der menschlichen Existenz. (Harris, 2016). Eine Herausforderung für viele Unternehmen in der Industrie 3.0 war das Fehlen von Daten. In der Industrie 4.0 besteht die Herausforderung eher darin, die Menge der verfügbaren Daten zu verwalten. Menschen, die über das Wissen verfügen, Daten zu analysieren und auf Basis der Daten Maßnahmen vorzuschlagen, werden für die vierte industrielle Revolution notwendig sein (Kirchner 2017).

Diese sechs Blöcke werden in den sieben Dimensionen des Lernens umgesetzt, um den idealen Prozess für das Lernen zu schaffen. Die sieben Dimensionen des Lernens werden entsprechend dargestellt:



Live Lecture

Abbildung 23 basierend auf Live Lecture (Kirchner 2017)

Live Lecture, LL, ist die erste der sieben Dimensionen für Bildung. LL ist wahrscheinlich die gebräuchlichste Methode für Bildung und bezieht sich darauf, dass ein Dozent eine Gruppe von Menschen live, persönlich oder online unterrichtet. Eine Vorlesung im Klassenzimmer zum Beispiel.



eLearning

Abbildung 24 in Anlehnung an eLearning (Kirchner 2017)

Die zweite Dimension ist eLearning, auch Online-Lernen oder elektronisches Lernen genannt, und bezieht sich auf Systeme des formativen Lernens durch elektronische Ressourcen. eLearning ist in den meisten Fällen über das Internet zugänglich, es bietet also Lernmaterialien, die fast überall und zu jeder Zeit zugänglich sind.



Instructor Demonstration, 1:many





Abbildung 25 basierend auf *Instructor Demonstration* (Kirchner 2017)

Die dritte Dimension ist die Dozenten-Demonstration. Der Begriff bezieht sich auf die Bildungsmethode, bei der ein Ausbilder ein bestimmtes Thema oder eine Aufgabe einer Gruppe von Lernenden persönlich oder online demonstriert. Die Anzahl der Lernenden bei dieser Methode sind "viele", also von zwei bis zu einer unendlichen Anzahl von Lernenden.



Virtual Skill Development

Abbildung 26 in Anlehnung an Virtual Skill Development (Kirchner 2017)

Die vierte Dimension ist Virtual Skill Development und bezieht sich auf physische Trainingselemente, die virtuell, durch Software, durchgeführt werden. Sie wird oft über Computerspiele oder Visualisierungen wie Virtual Reality eingesetzt. Ein Beispiel für einen Bereich für Virtual Skill Development könnte für Monteure sein. Sie können lernen, ein Produkt über VR zu montieren, bevor sie die Arbeitsaufgabe an einem realen Arbeitsplatz ausführen. Die Lernenden können eine Grundlage an Erfahrung entwickeln, die sie an einem realen Arbeitsplatz nutzen können und die Kosten senken, da der Lernende nicht mit realen Produkten trainieren muss.

5 IIS

Instructor Interactive skills, 1:1

Abbildung 27 basierend auf *Instructor Interactive Skills* (Kirchner 2017)

Die fünfte Dimension ist Instructor Interactive Skills, IIS. IIS wird durchgeführt, wenn ein Ausbilder die Schüler individuell unterrichtet. Dies ist oft eine effektive Art des Lernens für die Schüler, da der spezielle Schüler im Mittelpunkt steht und die Möglichkeit erhält, ohne Ablenkung durch andere Schüler voranzukommen. Der Ausbilder kann außerdem den Unterrichtsinhalt an die Bedürfnisse des jeweiligen Lernenden anpassen, was oft zu einem effektiveren Lernen führt.



Hands-on skill development

Abbildung 28 in Anlehnung an Hands-on Skill Development (Kirchner 2017)

Hands-on Skill Development, HO, ist die sechste Dimension und eine der wichtigsten für das Erlernen fortgeschrittener Fertigungsmethoden. HO ist praktische Ausbildung, mit dieser Methode kann der Schüler durch physisches Arbeiten mit verschiedenen Maschinen oder Geräten lernen.



Portable Rotational at-Home Skills

Abbildung 29 basiert auf Portable Rotational at-Home Skills (Kirchner 2017)

Die letzte Dimension ist Portable Rotational at-Home Skills, sie eignet sich hervorragend für den Fernunterricht. Die Schulungsausrüstung wird an die Lernenden geschickt, damit sie bestimmte Aufgaben ausführen können. Nach dem Studium wird die Ausrüstung an die lernende Organisation zurückgeschickt. Neue Geräte und Aufgaben werden danach an den Lernenden geschickt.

Wie man Industrie 4.0 im Jahr 2020 lehrt (LAB Midwest 2020)





4.6 Rollen und Verantwortlichkeiten

Eine Rolle in Bezug auf Bildung in der Industrie 4.0 sind die entsprechenden Ausbilder. Diese Pädagogen haben bestimmte Verantwortlichkeiten, die essentiell sind, damit sie zukünftige Arbeitskräfte schaffen, die Innovationen vorantreiben.

Die erste und wichtigste Aufgabe ist es, Expertenwissen innerhalb des Fachgebiets zu haben, in diesem Fall Industrie 4.0. Auch Pädagogen müssen lebenslanges Lernen betreiben, um technisch und pädagogisch auf dem neuesten Stand zu sein.

Der Pädagoge muss entsprechende Kurse und Vorlesungen planen. Es ist relevant, die sechs Blöcke und sieben Dimensionen sowie verschiedene Lehrmethoden, wie z. B. PBL, in Bezug auf I4.0-Bildung zu verwenden.

Kooperation ist eine der wichtigsten Kompetenzen in Bezug auf I4.0, daher ist es wichtig, dass der Pädagoge in der Lage ist, mit anderen Pädagogen, Mitarbeitern und Lernenden zu kooperieren. Vom Pädagogen wird auch ein gutes Verhalten gegenüber Mitarbeitern und Lernenden verlangt. Verhaltensweisen wie Ehrlichkeit, Fairness, ethisches Verhalten, eine fürsorgliche Haltung und ein korrekter Sprachgebrauch, zum Beispiel (QEC n.d).

Es gibt nicht nur Verantwortlichkeiten für den Ausbilder, sondern auch für den Lernenden. Die ersten Verantwortlichkeiten für die Lernenden mögen offensichtlich erscheinen, aber sie sind entscheidend. Die Lernenden müssen sich immer bemühen, ihr Bestes zu geben, dies sollte entsprechend getan werden:

Es ist wichtig, regelmäßig und pünktlich zum Unterricht zu erscheinen und sich sowohl mit Material als auch mit erfüllten Aufgaben auf die Vorlesung vorzubereiten. Der Lernende zeigt auf diese Weise Respekt sowohl gegenüber dem Ausbilder als auch gegenüber dem Fach. Die Lernenden müssen alle Aufgaben erledigen und im Unterricht aufmerksam sein. Sie müssen alle Pädagogen, Mitarbeiter und Klassenkameraden respektieren und sich um die Schule und ihre Ausstattung kümmern (Burnaby-Schulen 2020).

Es gibt auch Verantwortlichkeiten für Entscheidungsträger wie Schulleiter und Vorstandsmitglieder.

Schulleiter, Vorstände und Verantwortliche für Bildung und Curricula müssen die Anforderungen von Unternehmen und zukünftigen Arbeitsplätzen an die Absolventen bewerten und so die Ausbildung an deren Anforderungen anpassen.

4.7 Definition der neuen EXAM 4.0 LABs

Der EXAM 4.0-Rahmen für AM 4.0 LABs muss I4.0-kompetenzorientiert sein und sich für die Umsetzung in Berufsbildungszentren eignen.

Die spezifischen Merkmale des ultimativen zukünftigen AM LAB 4.0 sind schwer zu definieren. Es gibt zahlreiche Aspekte, die sowohl bei der Schaffung eines Rahmens für zukünftige LABs als auch bei der tatsächlichen Schaffung eines neuen LABs berücksichtigt werden müssen. Diese Aspekte könnten zum Beispiel die verfügbare Fläche, das Budget für die Umsetzung, das EQR-Niveau, das Bildungsprogramm und die Lernenden sein, die im LAB arbeiten sollen. Aufgrund dieser Faktoren ist es schwierig, genau zu





definieren, wie ein ultimatives LAB gestaltet sein sollte. Der im Rahmen von EXAM erstellte Rahmen für zukünftige AM LABs 4.0 wird daher eine Grundlage für zukünftige LABs sein. Der Rahmen basiert auf den im Rahmen von EXAM 4.0 durchgeführten Untersuchungen sowie auf den Beschreibungen bestehender LABs. Dieser Bericht und das Framework können als Grundlage für die Erstellung neuer LABs verwendet werden.

In der Ausbildung werden häufig veraltete Software und Geräte verwendet, dies ist oft eine Folge eines geringen Budgets. Studenten erhalten nicht das erforderliche Fachwissen, um mit fortschrittlichen fertigungsbezogenen Aufgaben in Unternehmen zu arbeiten, wenn sie nur begrenzt oder gar nicht mit Industrie 4.0-bezogenen Technologien in Berührung gekommen sind. FESTO behauptet, dass die Schulen nicht mit der Entwicklungsgeschwindigkeit der Unternehmen mithalten können und die Absolventen daher nicht über das richtige Fachwissen verfügen, wenn sie sich um einen Job bewerben. Es ist daher notwendig, dass Schulen mit Unternehmen oder I4.0-Organisationen kooperieren. (FESTO o.J.). Der erste Abschnitt des Rahmens für zukünftige AM LABs 4.0 bezieht sich auf die Finanzierung. In den Tabellen zur Beschreibung bestehender LABs ist zu sehen, dass alle EXAM 4.0-Partner verschiedene Finanzierungsmethoden für ihre Institutionen, also ihre LABs, haben, wie interne Mittel, öffentliche Mittel und Unternehmensmittel. Es ist gut, unterschiedliche Finanzierungen zu haben, z.B. für einzelne Veranstaltungen oder Projekte mit unterschiedlichen Zeitspannen.

Wie bereits erwähnt, führt Industrie 4.0 dazu, dass die industrielle Ausrüstung mehr mit dem Internet verbunden wird. Menschen, die sowohl Operational Technology (OT) als auch Information Technology (IT) beherrschen, sind ein großer Gewinn für die Zukunft. Die Schüler müssen ein besseres Verständnis für Netzwerke erwerben, die Daten von intelligenten Geräten übertragen. Daher ist es wichtig, dass ein LAB in hohem Maße IT-Integration beinhaltet, wie CAD, CAM und PLM. Es ist auch wichtig, dass das LAB intelligente Geräte wie Sensoren, Aktoren, M2M und CPS umfasst. Damit die Lernenden bereit sind, im fortgeschrittenen Fertigungssektor zu arbeiten, müssen sie mit allen relevanten Technologien vertraut sein und über Fachwissen in mehreren verfügen. Das LAB sollte daher, basierend auf den Anforderungen für die Bildungsprogramme im LAB, Technologien wie Robotik, 3D-Drucker, VR/AR und CNC-Maschinen umfassen.

Die Lernstrategie, die Lernmethode und die Bildungsinhalte, die in LABs vermittelt werden, sind allesamt wichtige Aspekte im Hinblick auf die Lernergebnisse der Schüler. Informationen zu Lernmethoden und Kompetenzen, die für ein Industrie 4.0 LAB wichtig sind, sind in einem früheren EXAM 4.0 Bericht enthalten.

Es gibt auch viele Aspekte eines neuen LABs, die berücksichtigt und validiert werden müssen, bevor das LAB erstellt wird. Diese Aspekte können sein:

- Anzahl der Lernenden, die für die Arbeit im LAB vorgesehen sind
- Lebenszyklus des LAB
- Angesprochene Industrien
- Haupt- und Nebenzweck des LAB
- Lebenszyklus der Technologie
- Fertigungsmethoden

Es gibt keine eindeutige Definition, was die ultimative Antwort auf diese Aspekte ist. Es ist jedoch für jede Organisation von entscheidender Bedeutung, diese Aspekte zu validieren und Maßnahmen auf der Grundlage von Untersuchungen zu ergreifen, um das bestmögliche Ergebnis für das betreffende LAB zu erzielen.



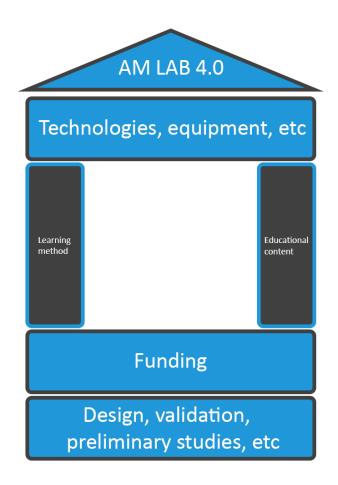


Abbildung 30 Prototyp des Modells AM LAB 4.0 (EXAM 4.0)

Die Berücksichtigung der oben genannten Aspekte, z. B. Lebenszyklus des LAB, Zielbranchen usw., in Vorstudien ist unerlässlich, um zum nächsten Schritt überzugehen. Es ist eine unabdingbare Voraussetzung, das Fundament des LABs zu kennen, um Finanzierungsmethoden untersuchen zu können.

Im nächsten Schritt, der Finanzierung, ist es wichtig, alle Aspekte der Finanzierung zu validieren. Z.B. Mittel für die Einrichtung des LABs, Mittel für die Instandhaltung des LABs und wie das LAB genutzt werden könnte, um mehr Einkommen zu generieren, obwohl die primäre Nutzung des LABs für die Ausbildung ist. Das Modell des EXAM 4.0 Berufsbildungszentrums für AM LABs kann bei der Gestaltung des neuen LABs und der Validierung der Finanzierung verwendet werden. Anstatt das Modell als Beschreibung eines bestehenden LABs zu verwenden, könnte es als Referenz für das endgültige LAB verwendet und beantwortet werden.

Der dritte Schritt ist der wichtigste bei der Erstellung eines neuen AM LAB. Welche Bildungsprogramme werden in dem LAB funktionieren und was sind die EQR-Niveaus. Es ist wichtig, sich darüber im Klaren zu sein, welche Bildungsinhalte in den Programmen enthalten sein werden und welche Lernmethoden verwendet werden sollen.

Die Bildungsprogramme in LABs wirken sich auf die Technologien und Geräte aus, die für das betreffende LAB relevant sind. Informationen zu Industrie 4.0-Technologien, die für AM LABs relevant sind, stammen aus einem früheren EXAM 4.0-Bericht.





4.8 Normen, Kriterien, für EXAM 4.0 LAB Modelle

Standardbeschreibung für Industrie 4.0 LABS

Ein Standard, ein Zertifikat, das besagt, dass bestimmte Kriterien erfüllt sind, wäre für LABs von Vorteil. Die Kriterien für Bildungs-LABs könnten sicherstellen, dass die richtigen Fähigkeiten und Kompetenzen trainiert und gelernt werden. Auf diese Weise können wir Bildung, Industrie 4.0 LAB Bildung, in ganz Europa haben, die die gleichen Fähigkeiten und Kompetenzen trainieren und ausbilden, auch wenn sie nicht in demselben LAB ausgebildet wurden. Mit den Zertifikaten des Industrie 4.0 LABs könnten wir sicherstellen, dass ein Student in Schweden ähnliche Fähigkeiten und Kompetenzen erlernt und die gleichen Standard-Bildungsinhalte hat wie z. B. ein Student in Deutschland. Ein Standardzertifikat für die Ausbildung würde Unternehmen helfen, zu erkennen, welche Fähigkeiten und Kompetenzen ein Student erworben hat, egal wo in Europa er seinen Abschluss gemacht hat. Die Definition neuer Kriterien, die für Industrie 4.0 relevant sind, würde den Standard der Bildung in ganz Europa erhöhen und damit sukzessive die europäische Wettbewerbsfähigkeit im nationalen Industriesektor steigern.

Ein Beispiel, wie diese Kriterien ablaufen könnten:

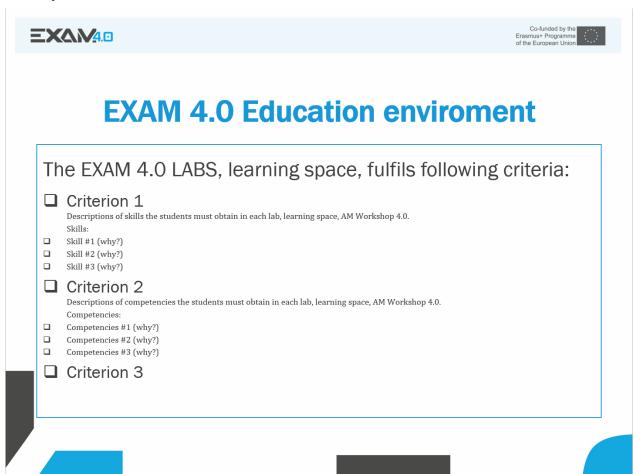


Abbildung 31 Kriterien für LABs (EXAM 4.0)





Referenzen

Abele, Eberhard; Chryssolouris, George; ElMaraghy, Hoda; Hummel, Vera; Metternich, Joachim; Ranz, Fabian; Sihn, Wilfried und Tisch, Michael. (2015a). Lernfabriken für Forschung, Lehre und Training. *5th Conference on Learning Factories*. Elsevier B.V, S. 1-6. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187 (abgerufen am 2020-09-10).

Abele, Eberhard; Hummel, Vera; Metternich, Joachim; Ranz, Fabian und Tisch, Michael. (2015b). Learning Factory Morphology - Studie zu Form und Struktur eines innovativen Lernansatzes im Fertigungsbereich. The Turkish Online Journal of Educational Technology. https://www.researchgate.net/publication/281344323 Learning Factory Morphology - Study Of Form And Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain (abgerufen am 07.09.2020).

Abele, Eberhard; Metternich, Joachim; und Tisch, Michael. (2019). *Lernfabriken Konzepte, Richtlinien, Best-Practice-Beispiele*. Cham: Springer Nature Schweiz AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92261-4 (abgerufen am 28.08.2020).

Alves, A.C; Pereira, A.C und Lopes Nunes, M. (2017). Smart products development approaches for Industry 4.0. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.035 (abgerufen am 17.10.2020).

AM FELDFÜHRER KOMPAKT. (2020). Formnext Magazin fon extra. (gesammelt 2020-10-05).

Aventis Learning Group. (2019). Skills You Must Have To Stay Relevant In Industry 4.0. https://aventislearning.com/skills-you-must-have-to-stay-relevant-in-industry-4-0/ (abgerufen am 14.09.2020).

Barro, R. J. (1996). Determinanten des Wirtschaftswachstums: *A cross-country empirical study. NBER Working Paper Series: Vol. 5698.* Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.

Bilberg, A; Bogers, M; Madsen, E.S und Radziwon, A. (2014). Procedia Eng., 69 1184-1190 (abgerufen am 17.10.2020).

Buchner, Tilman; Knizek, Claudio; Kuhlmann, Kristian; Küpper, Daniel; Lorenz, Markus; Lässig, Ralph und Maue, Andreas. (2019). *Advanced Robotics in der Fabrik der Zukunft*. BCG Innovation Center, Deutschland. https://www.bcg.com/publications/2019/advanced-robotics-factory-future (abgerufen am 17.10.2020).

Buck Institute for Education. (n.d). What is PBL?. https://www.pblworks.org/what-is-pbl (abgerufen am 28.09.2020).

Burnaby Schulen. (2020). VERANTWORTLICHKEITEN DER SCHÜLER. https://burnabyschools.ca/responsibilities-of-students/. (gesammelt 2020-10-15).

CECIMO. (2013) The European machine tool industry's Manifesto on skills.

CEDEFOP. (2010). *Qualifikationsangebot und -nachfrage in Europa: Medium-term forecast up to 2020.* Luxemburg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union.

Cherry, Kendra. (2020). *The Experiential Learning Theory of David Kolb*. https://www.verywellmind.com/experiential-learning-2795154 (abgerufen am 29.09.2020).

Duch, B. J., Groh, S. E und Allen, D. E. (Eds.). (2001). The power of problem-based learning. Sterling

Epicor. n.d. Was ist Industrie 4.0 - das industrielle Internet der Dinge (IIoT)? https://www.epicor.com/en/resource-center/articles/what-is-industry-4-0/. (abgerufen am 15.10.2020).

Eurostat. (2016). Statistik des verarbeitenden Gewerbes - NACE Rev. 2: Relative Bedeutung des verarbeitenden Gewerbes (NACE-Abschnitt C), 2013 (%-Anteil an der Wertschöpfung und Beschäftigung im nichtfinanziellen Sektor der gewerblichen Wirtschaft insgesamt). Abgerufen von http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Man ufacturing_statistics_-_NACE_Rev._2.

FESTO (n.d). *Industrie 4.0 User's Guide: Educator Edition*. https://www.festo-didactic.com/us-en/news/industry-4.0-user-s-guide-educator-edition.htm?fbid=dXMuZW4uNTc5LjE3LjE2LjU4MjA (abgerufen am 08.09.2020).





Fitsilis, Panos; Gerogiannis, Vassilis und Tsoutsa, Paraskevi. (2018). INDUSTRIE 4.0: ERFORDERLICHE PERSONALKOMPETENZEN. *INDUSTRIE 4.0*. Vol. 3, Issue 3. Bulgarien: Wissenschaftlich-technische Vereinigung des Maschinenbaus, S. 130-133. https://stumejournals.com/journals/i4/2018/3/130 (eingesehen 2020-08-26).

Gewerbliche Schule Crailsheim. (n.d). WAS IST EINE LERNFABRIK 4.0. https://www.gscr.de/index.php?id=203 (abgerufen am 2020-09-09).

Growth Engineering. (2017). WHAT IS THE EXPERIENTIAL LEARNING CYCLE? https://www.growthengineering.co.uk/what-is-experiential-learning/ (abgerufen am 29.09.2020).

Grzybowska, Katarzyna, und Łupicka, Anna. (2017). Schlüsselkompetenzen für Industrie 4.0. *Economics & Management Innovations* 1(1): S. 250-253. https://www.researchgate.net/publication/322981337 Key competencies for Industry 40 (abgerufen am 2020-08-27).

Gylfason, Thorvaldur. (2001). Natürliche Ressourcen, Bildung und wirtschaftliche Entwicklung. *European Economic Review*: EER, 45, 847-859.

Hanushek, E. A., und Woessmann, L. (2007). *Die Rolle der Bildungsqualität für das Wirtschaftswachstum. Policy Research Working Paper: Vol. 4122.* Washington, DC: World Bank Human Development Network Education Team.

Helbig, J; Kagermann, H und Wahlster, W. (2013). Die Zukunft der deutschen Fertigungsindustrie sichern: *Empfehlungen zur Umsetzung der Strategischen Initiative INDUSTRIE 4.0*, München, 2013 (eingesehen am 17.10.2020).

Heron, Chris. (2019). What is a Transversal Competency? Vivagogy. http://vivagogy.com/2019/03/04/transversal-competencies-2/ (abgerufen am 17.10.2020).

Härting, R.-C; Jozinović, P; Möhring, M; Neumaier, P; Reichstein, C und Schmidt, R. (2015). International Conference on Business Information Systems. 16–27. (gesammelt 2020-10-17).

Stiftung Impuls (2019) "Impuls kompakt: Ingenieure für Industrie 4.0", VDMA (Verband der Maschinenbauer).

i-SCOOP. (n.d). Logistik 4.0 und Smart Supply Chain Management in der Industrie 4.0. https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/supply-chain-management-scm-logistics/ (abgerufen am 15.10.2020).

Karukapadath Haffees, Rasim und Parekattil, Aswin Kumar. (2019). *A literature review on learning factory*. Diss, Chalmers University of Technology. https://hdl.handle.net/20.500.12380/256553 (abgerufen am 2020-09-09).

Kienegger, Harald; Knigge, Marlene; Krcmar, Helmut und Prifti, Loina. (2017). *A Competency Model for "Industrie 4.0" Employees: 13. Internationale Konferenz für Wirtschaftsinformatik*. St. Gallen, Switzerland February12-15,2017. https://www.researchgate.net/publication/314391765 A Competency Model for Industrie 40 Employees (abgerufen am 14.09.2020).

Knezic, Kruno. (2017). *Kreativität ist der Schlüssel zum Design für additive Fertigung*. LinkedIn. https://www.linkedin.com/pulse/creativity-key-design-additive-manufacturing-kruno-knezic/ (abgerufen am 2020-09-02).

Kolb, D. A. (1984). Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. New Jersey: Prentice-Hall.

Koo, Jenna. (2020). Was ist eine Smart Factory? (Und was es für Sie bedeutet). Tulip. https://tulip.co/blog/digital-transformation/what-is-a-smart-factory-and-what-it-means-for-you/ (abgerufen am 08.10.2020).

Kirchner, Matthew D. (2017). *Teaching the Industrial Internet of Things*. Mequon. https://labmidwest.com/wp-content/uploads/2017/09/Teaching-IIoT-Preparing-Students-and-Learners-for-Industry-4.0-2.pdf (abgerufen am 15.10.2020).

Kreimeier, Dieter. (2016). *Die LPS Lernfabrik Qualifizierung in einem realitätsnahen Fabrikumfeld*. Ruhr-Universität Bochum. [PowerPoint-Folien]. https://www.uni-siegen.de/smi/aktuelles/20161115 lps lernfabrik praesentation kreimeier.pdf (abgerufen am 10.09.2020).





K3 Syspro. (n.d). Was ist der Unterschied zwischen 3D-Druck und additiver Fertigung? https://www.k3syspro.com/advice-centre/erp-advice/whats-the-difference-between-3d-printing-and-additive-manufacturing/. (gesammelt 2020-10-1).

LAB Mittlerer Westen. (2020). *How to Teach Industry 4.0 in 2020*. https://www.youtube.com/watch?v=OhbDfAZ6JUc (abgerufen am 2020-10-16).

Lead The Change Community. (2019). SCHLÜSSELKOMPETENZEN FÜR INDUSTRIE 4.0 - VERHANDLUNG UND KREATIVITÄT. Medium. https://medium.com/@LeadTheChange/key-competencies-for-industry-4-0-negotiation-and-creativity-2f7685f8d49f (abgerufen am 14.09.2020).

Lee, Hee Jang und Shvetsova A. Olga. (2019). *The Impact of VR Application on Student's Competency Development: A Comparative Study of Regular and VR Engineering Classes with Similar Competency Scopes.*https://www.researchgate.net/publication/332386448 The Impact of VR Application on Student's Competency Development A Comparative Study of Regular and VR Engineering Classes with Similar Competency Scopes. (gesammelt am 02.09.2020).

Leinweber S. Etappe 3: Kompetenzmanagement. In: Meifert MT, Herausgeber. Strategische Personalentwicklung - Ein Programmem in acht Etappen. 3. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien; 2013

Linke, Rebecca. (2017). *Additive Fertigung, erklärt*. MIT Management. https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/additive-manufacturing-explained. (gesammelt 2020-10-1).

Universität Loughborough. (n.d). *About Additive Manufacturing*. https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/vatphotopolymerisation/ (abgerufen am 2020-10-02).

Marr, Bernard. (2018). Was ist Industrie 4.0? Forbes. https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=4acd83579788. (abgerufen am 15.10.2020).

McNeill, Jane. (2019). SKILLS VS. COMPETENCIES - WHAT'S THE DIFFERENCE, AND WHY SHOULD YOU CARE. Hays. https://social.hays.com/2019/10/04/skills-competencies-whats-the-difference/ (abgerufen am 09.10.2020).

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. (2019). *Lernfabriken 4.0 in Baden-Württemberg*. https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/innovation/schluesseltechnologien/industrie-40/lernfabrik-40/ (abgerufen am 10.09.2020).

O'Sullivan, D., Rolstadås, A., und Filos, E. (2011). Globale Ausbildung in der Fertigungsstrategie. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(5), 663-674. https://doi.org/10.1007/s10845-009-03 26-2.

OTTO Motoren. (2019). Was ist die Smart Factory und ihre Auswirkungen auf die Fertigung? https://ottomotors.com/blog/what-is-the-smart-factory-manufacturing. (abgerufen am 15.10.2020).

Pappas, Christopher. (2014). *Instructional Design Modelle und Theorien: The Discovery Learning Model*. https://elearningindustry.com/discovery-learning-model (gesammelt 2020-09-29)

Prinz J. Michael und Felder M. Richard. (2006). *Induktive Lehr- und Lernmethoden: Definitions, Comparisons, and Research Bases*. Journal of Engineering Education. American Society for Engineering Education. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x (abgerufen am 17.10.2020).

PwC. (2016). Skills for Key Enabling Technologies in Europe State-of-Play, Supply and Demand, Strategy, Recommendations and Sectoral Pilot. Generaldirektion für Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU (Europäische Kommission). https://ec.europa.eu/growth/content/final-report-skills-key-enabling-technologies-europe-0 en (abgerufen am 26.08.2020).

PwC. (2020). Skills for Industry Curriculum Guidelines 4.0 Future-proof education and training for manufacturing in Europe. Exekutivagentur für kleine und mittlere Unternehmen (Europäische Kommission). https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/845051d4-4ed8-11ea-aece-01aa75ed71a1 (abgerufen am 2020-09-05).

QEC. (n.d). *Duties and Responsibilities of a Teacher*. https://ntu.edu.pk/qec/duties-and-responsibilities-of-a-teacher/ (abgerufen am 15.10.2020).

Raji, R.S. (1994). IEEE Spectr. 31 (6) 49-55 (eingesehen 2020-10-17).





Rotherham A.J. und Willingham D. (2009) "21st Century Skills: The Challenges Ahead".

Serhat, Kurt. (2020). Problembasiertes Lernen (PBL). Educational Technology. https://educationaltechnology.net/problem-based-learning-pbl/ (abgerufen am 25.09.2020).

Smith, A. (2001). Return on Investment in Training: Research readings. Leabrook, S. Aust: NCVER

Spectral Engines. (2018). *Industrie 4.0 und wie intelligente Sensoren den Unterschied machen.* https://www.spectralengines.com/articles/industry-4-0-and-how-smart-sensors-make-the-difference (abgerufen am 2020-10-01).

Tether, B., Mina, A., Consoli, D., und Gagliardi, D. (2005). Eine Literaturübersicht über Fähigkeiten und Innovation: Wie wirkt sich erfolgreiche Innovation auf die Nachfrage nach Fähigkeiten aus und wie treiben Fähigkeiten die Innovation voran? Ein CRIC-Bericht für das Ministerium für Handel und Industrie. Manchester, England: ESRC Centre for Research on Innovation and Competition.

Thames, L., und Schaefer, D. (2016). *Software-defined Cloud Manufacturing für Industrie 4.0. Procedia CIRP, 52, 12-17.* https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041.

The Challenge Institute. (2018). *Challenge based learning*. https://www.challengebasedlearning.org/ (abgerufen am 28.09.2020).

Durchsatz. (2019). Smart Supply Chain Management: Why it is Important to Implement? https://throughput.world/blog/smart-supply-chain-management/ (abgerufen am 17.10.2020).

University of Illinois Board of Trustees, et al. (2020). *JUST-IN-TIME TEACHING*. https://citl.illinois.edu/citl-101/teaching-learning/resources/teaching-strategies/just-in-time-teaching (abgerufen am 2020-09-25).

University of Illinois Board of Trustees, et al. (2020). *PROBLEM-BASED LEARNING (PBL)*. https://citl.illinois.edu/citl-101/teaching-learning/resources/teaching-strategies/problem-based-learning-(pbl) (abgerufen am 25.09.2020).

Vieweg, H.-G. (2011). Studie zur Wettbewerbsfähigkeit der EU-Maschinenbauindustrie. München: ifo Institut

Vulkov, Volen. N.d. 3d Printing Skills: *Beispielverwendung in Lebensläufen, Skill Ser & Top Keywords in 2020*. Enhacv. https://enhancv.com/resume-skills/3d-printing/. (gesammelt 2020-09-02).

Whitton, Nicola. (2012). *Games-Based Learning*. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-1428-6_437 (abgerufen am 29.09.2020).

Wirtschaft digital Baden-Württemberg. (2020). *Lernfabriken*. https://www.wirtschaft-digital-bw.de/zielgruppen/produzierendes-gewerbe/lernfabriken-industrie-40/ (abgerufen am 10.09.2020).

Zamboni, Jon. (2018). Was sind Beispiele für technische Kompetenzen? Leaf Group Media. https://careertrend.com/how-5867853-write-competency-based-resume.html (abgerufen am 17.10.2020).

Zhong, R. Y; Xu, X; Klotz, E; und Newman, S. T. (2017). *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. Engineering*, *3*(5), 616-630. https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015

