

Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd

Medienpaket Lernfabrik

Rahmentext

Stand: 06. Januar 2021

Inhaltsverzeichnis

1	EINFÜHRUNG	3
2	GRUNDLAGEN LERNFABRIK	5
2.1	TECHNOLOGISCHE KRITERIEN	5
2.2	DIDAKTISCHE KRITERIEN	8
2.3	FORMEN VON LERNFABRIKEN	9
2.3.1	DEMONSTRATIONSFABRIK	9
2.3.2	MODELLFABRIK	11
2.3.3	PROZESSFABRIK	12
2.3.4	LERNFABRIK ZUR GESTALTUNG UND BETRACHTUNG SOZIO-TECHNISCHER SYSTEME	12
2.3.5	VIRTUELLE LERNFABRIK	13
3	EINSATZGEBIETE UND ZIELGRUPPEN	15
3.1	LERNFABRIKEN IN DER FORSCHUNG	16
3.2	LERNFABRIK IN DER BERUFLICHEN BILDUNG	17
3.3	THEMATISCHE AUSRICHTUNGEN VON LERNFABRIKEN	19
3.3.1	LERNFABRIKEN ZUR VERBESSERUNG DES PRODUKTIONSPROZESSES	20
3.3.2	LERNFABRIKEN FÜR REKONFIGURIERBARKEIT	20
3.3.3	LERNFABRIKEN FÜR ENERGIE- UND RESSOURCENMANAGEMENT	20
3.4	LERNFABRIKEN FÜR „INDUSTRIE 4.0“	21
3.4.1	EMBEDDED SYSTEMS, INTELLIGENTE OBJEKTE, CYBER-PHYSISCHE SYSTEME (CPS)	23
3.4.2	SMART FACTORY	24
3.4.3	ROBUSTE NETZE	26
3.4.4	CLOUD COMPUTING: NUTZUNG FLEXIBLER UND VERTEILTER SOFTWARE	26
3.4.5	IT-SECURITY / DATENSCHUTZ	27
	BEISPIEL BERUFLICHE SCHULEN BIETIGHEIM-BISSINGEN: LERNFABRIKEN 4.0	28
4	DIDAKTISCHES KONZEPT	29
4.1	LERNZIELE UND AUSRICHTUNG	29
4.2	DIDAKTISCHE BEZUGSEBENEN VON LERNFABRIKEN	30
4.3	LERNFABRIKEN AN BERUFLICHEN SCHULEN	34
	BEISPIEL TECHNISCHE SCHULE AALEN: SMART FACTORY	36
5	AUSBLICK	38
6	LITERATURVERZEICHNIS	39

1 Einführung

Die zunehmende Technologie- und Innovationsdynamik, welche eine der Folgen der vierten industriellen Revolution ist, führt zu einem rasanten und vielfältigen Fortschritt der produktionsbezogenen Technologien, Werkzeuge und Techniken. Produktionssysteme werden intelligenter und kommunizieren über verschiedene Schnittstellen untereinander und mit dem Mensch. Die beschleunigte industrielle Veränderung der Arbeitswelt hat nicht nur Auswirkungen auf Arbeits- und Produktionsprozesse, sondern auch auf die Aufgabenprofile der Facharbeitsebene (vgl. Zinke 2019; bayme vbm 2016). Damit die Fachkräfte den industriellen Wandel mitgestalten können, ist es erforderlich, sie entlang der gesamten Produktionskette weiter zu qualifizieren.

Die Auswirkungen durch den technologischen Wandel sind in fast allen gewerblich-technischen Ausbildungsberufen spürbar, gleichzeitig verändern sich die Anforderungen des Arbeitsmarktes kontinuierlich. Um die Qualifikation zukünftiger Fachkräfte gewährleisten zu können, und einen Lern- und Wissenstransfer zu ermöglichen, werden neue Ausbildungsmodelle und moderne Lehr- und Lernkonzepte benötigt. Realistische Produktionsumgebungen, Lernprozesse, welche an die industrielle Praxis angebunden sind sowie das Vermitteln von neuem Fertigungswissen und prozessbezogenen Kompetenzen sind in der Umsetzung von aktuellen Lernansätzen unabdingbar. Berufliche Schulen, Berufsbildungszentren und Weiterbildungsstätten sind mit der Herausforderung konfrontiert, Lernumgebungen zu schaffen, in denen junge Auszubildende und Fachkräfte im Kontext der Entwicklungen von Industrie 4.0 ausgebildet werden können.

Als wirksamer Lösungsansatz hat sich das Konzept der Lernfabriken als eine angemessen komplexe Lernumgebung für die sogenannte Industrie 4.0 erwiesen. Hier werden durch praxisnahe Lern- und Lehrmethoden qualifizierte und kompetente Fachkräfte ausgebildet. Lernfabriken haben ein vielfältiges Einsatzgebiet und decken vom Auszubildenden bis zur Führungskraft eine große Bandbreite an Zielgruppen ab. Aus bildungspolitischer Sicht leisten Lernfabriken somit einen wesentlichen Beitrag zur Fachkräftesicherung im Bereich einer Schlüsseltechnologie.

Das Konzept einer Lernfabrik findet jedoch seinen eigentlichen Ursprung in der medizinischen Ausbildung im Konzept der „Lehrkrankenhäuser“, um Studierende neben dem theoretischen Fachunterricht, die Praxis erfahrbar zu machen.

Der Begriff Lernfabrik (Learning Factory) wurde erstmals 1994 durch ein von der Penn State University gefördertes Projekt geprägt. Ziel war eine interdisziplinäre, praktische Ingenieurausbildung in Kooperation mit Industrieunternehmen (Tisch 2018, 44).

Seit der Gründung wurden 1.200 gesponserte Designprojekte auf Basis realer Problemsituationen unterschiedlicher Unternehmen durchgeführt (Lamancusa et al. 2008).

In Europa und in Deutschland fanden sich erste Überlegungen für die Umsetzung einer Lernfabrik etwa um die Jahrtausendwende, konkret in den Jahren 2004 bis 2007 an der TU Darmstadt. Im Jahr 2007 wurde dort am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) in Kooperation mit Unternehmen (Bosch, SEW) die erste Lernfabrik in Deutschland eröffnet. Durch die Unterstützung von McKinsey Deutschland gelang eine zügige Entwicklung von Curricula und die Durchführung erster Pilot-Trainings (vgl. Prozesslernfabrik 2020). Die Lernfabrik wurde in ihrer Ausstattung und Möglichkeiten kontinuierlich weiterentwickelt. Es war die erste Lernfabrik in Deutschland, die den gesamten Wertschöpfungsprozess von den Rohmaterialien über die Zerspanung und Montage bis hin zum Versand abbildete (Abele/Eichhorn/Kuhn 2007). Es folgen weitere universitäre Lernfabriken, wie etwa an der Ruhr Universität Bochum (2009 eröffnet, Themenschwerpunkte sind Lean Production, Industrie 4.0 und Ressourcenmanagement) oder an der Technischen Universität München mit der Lernfabrik für schlanke Produktion (LSP). Seit einigen Jahren nutzen auch immer mehr Unternehmen interne Lernfabriken zur Aus- und Weiterbildung ihrer Mitarbeiter:innen. Bekannte Beispiele sind MPS Lernplattform der Daimler AG (seit 2011) mit Schwerpunkt Lean Production sowie die Festo Lernfabrik in Scharnhausen (seit 2014) von der Festo AG mit vier verschiedenen Bereichen: Mechanische Bearbeitung, Ventilmontage, Automatisierung und Prozessoptimierung und Verwaltung der Lernfabrik (vgl. Abele/Metternich/Tisch 2019). Die Bedeutung der Lernfabriken hat in den letzten Jahren stetig zugenommen, so wurden in Deutschland und in Europa immer mehr Lernfabriken mit den unterschiedlichsten Schwerpunkten und für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche entwickelt.

Im Folgenden werden zunächst Merkmale von Lernfabriken sowie verschiedene Einsatzgebiete und Zielgruppen differenziert (Kapitel 2 und 3). Anschließend werden grundlegende didaktische Konzepte im Hinblick auf verschiedene Zielgruppen in der beruflichen Aus- und Weiterbildung dargestellt (Kapitel 4). Kapitel 5 gibt dann einen Ausblick auf die weiteren Elemente des Medienpakets „1.1 Lernfabrik - Wissen“ sowie auf das sich anschließende Medienpaket zu Anwendungskontexten von Lernfabriken an beruflichen Schulen.

Lernerfolgssicherung:

1. Wie entstand das Konzept der Lernfabriken?
2. Wofür wurden Lernfabriken entwickelt und was können sie abbilden?
3. Wo entstand die erste Lernfabrik in Deutschland?
4. Warum entstehen in dieser Zeit, etwa zur Mitte der „2000er“ Jahre Lernfabriken in Deutschland?

2 Grundlagen Lernfabrik

Der Begriff „Lernfabrik“ ist eng verknüpft mit einem Lernen in einer fabrikähnlichen oder produktionsnahen Lernumgebung. Dabei finden die Lernprozesse im Kontext eines simulierten Industriestandards statt. Hierbei gibt es zwei Primärzwecke: die berufliche Qualifizierung (Aus- und Weiterbildung/Ingenieur:innenausbildung) sowie Innovationsentwicklung und die Beantwortung von Forschungsfragen der Ingenieur- oder Arbeitswissenschaften.

Im Konzept Lernfabrik sollen Lernende berufsalitäglichen Situationen gegenüberstehen, die sie mit berufsspezifischen Arbeitsmitteln in einer wirklichkeitsnahen Lernumgebung bearbeiten. Die Lernfabrik soll einen Betriebskontext vorstellbar machen, in dem für Lernende reale Arbeitsbedingungen simuliert werden. Es handelt sich dabei um eine komplexe, anspruchsvolle, räumliche und didaktisch-methodische Konzeptualisierung (vgl. Zinn 2014).

Der Begriff Lernfabrik steht für eine fachdidaktisch-methodisch begründete Lehr-Lernumgebung, die idealerweise den gesamten Produktionsprozess und angrenzende Unternehmensbereiche abbildet (vgl. Steffen/Deus/Frye 2013).

Im Folgenden werden ausgehend von technologischen und didaktischen Kriterien fünf typische Formen von Lernfabriken beschrieben..

2.1 Technologische Kriterien

Laut der Internationalen Akademie für Produktionstechnik (CIRP) wird eine Lernfabrik im hochschulspezifischen Kontext definiert durch (Abele/Metternich/Tenberg 2015, 2):

- Prozesse, die authentisch sind, mehrere Stationen und sowohl technische als auch organisatorische Aspekte umfassen,
- eine veränderbare Umgebung, die einer realen Wertschöpfungskette entspricht,
- ein physisches Produkt, das hergestellt wird.

Eine Orientierung am realen Wertschöpfungsprozess ist ein Definitionsmerkmal vieler Lernfabriken. Abbildung 1 zeigt den Wertschöpfungsprozess von der Auftragsvergabe über dem Produktionsprozess bis hin zur Auslieferung mit Einbezug der Industrie 4.0-typischen Schnittstellen der Produktions- und Geschäftsprozessplanung einer Lernfabrik aus dem beruflichen Bereich (Enterprise Resource Planning (ERP) und Manufacturing Execution System (MES)).

Zur Vertiefung des Begriffs "Wertschöpfungsprozess" liegt im Medienpaket ein Video vor (Lernfabrik Bietigheim-Bissingen), das zusätzlich auch als interaktives Lernvideo genutzt werden kann (Wertschöpfungsprozess).



Abbildung 1 Wertschöpfungsprozess in einer Lernfabrik

Diese Definition gilt auch für Lernfabriken im Kontext der beruflichen Bildung, die aber darüber hinaus weitere Kriterien erfüllen (vgl. Zinn 2014, 23):

- Der Realitätsgrad einer Lernfabrik wird durch das Vorhandensein oder den Mangel an Maschinen, Anlagen und Geräten dargestellt. Unter diesen Voraussetzungen ist die Vermittlung von beruflichen Handlungskompetenzen nur nach dem aktuellen Stand der Technik möglich.

- Unterschiedliche Kombinationen von Produktionsplanungen und -situationen im Sinne von betrieblichen Fallbeispielen lassen sich darstellen.
- Analyse und Bewertung von Technik und Arbeitsorganisation sind unter der Voraussetzung möglich, dass Produkte mit verschiedenen Verfahren und in unterschiedlichen Arbeitsorganisationen hergestellt werden können.

Das bedeutet, dass Lernende sich alleine oder in Lernteams mit den jeweiligen „Stationen“ des Produktionsprozesses theoretisch und praktisch auseinandersetzen können. Vom Begreifen des Aufbaus, über die Funktion bis hin zur Programmierung des jeweiligen Arbeitsschrittes und der Einbindung in die darüber liegenden steuernden Systeme, durchlaufen sie mehrere Lernprozessschleifen.

Lernen in Lernfabriken ermöglicht die Verknüpfung von Theorie und Praxis unter realen Bedingungen. Die Lernräume sind überwiegend modular aufgebaut und folgen industriellen Standards, besonders Technologien rund um Industrie 4.0 sind aktuell in Lernfabriken aufzufinden (vgl. Zinn 2014).

Lernfabriken sind somit nicht nur in den thematischen Schwerpunkten rund um die Themenbereiche und die Berufsfelder Automatisierungstechnik, Elektrotechnik, Maschinenteknik sowie Steuerungs- und Regelungstechnik relevant, sondern gelten als sozio-technisches System mit den jeweiligen Wechselwirkungen zwischen Mensch, Maschinen (Technik) und Organisation – somit können interdisziplinäre Fragestellungen in der Lernfabrik auf Hochschuleseite und in der beruflichen Bildung thematisiert werden.

Lernerfolgssicherung:

1. Was versteht man unter einer Lernfabrik (Definition)?
2. Wie unterscheiden sich Lernfabriken an Hochschulen (Ingenieurwissenschaft, Studiengänge) und Lernfabriken im berufsbildenden Bereich?
3. Was bedeutet wirklichkeitsnahe Lernumgebung im Konzept einer Lernfabrik?

2.2 Didaktische Kriterien

Ziel von Lernfabriken ist es u. a., junge Menschen in der Berufsausbildung sowie Erwachsene in der Weiterbildung sowie in spezifischen Studiengängen auf die Arbeitswelt im Kontext von Industrie 4.0 gezielt vorzubereiten bzw. zu qualifizieren. Die Lehr-Lernsituationen können auf Basis folgender Eigenschaften der Lernfabriken entwickelt werden:

- In Lernfabriken wird prozessorientiert ein Teil der Wirklichkeit abgebildet. In ihnen sind alle wesentlichen Fertigungsschritte und Fertigungstechnologien enthalten (vgl. Regber 2018). Die Arbeitsprozesse sind dabei authentisch und mehrstufig abgebildet und technisch und organisatorisch eingebettet. (vgl. Abele/Metternich/Tenberg 2015)
- Sie sind handlungsorientiert, eröffnen innerhalb festgelegter Grenzen Entscheidungsräume und folgen dem Prinzip des Probehandelns. Dieses gestattet das Ausprobieren und Testen von Tätigkeiten und Arbeitsfolgen im Zyklus der vollständigen Handlung. Die Entwicklung des Könnens steht damit im Mittelpunkt und wird durch die Vermittlung des notwendigen Wissens unterstützt. Gleichzeitig sind Rückkopplungen im Lernprozess möglich und ein selbstbestimmtes Agieren wird gefördert (vgl. Regber 2018).
- Lernfabriken sind dynamisch. Durch den modularen Aufbau können relevante neue Produkte und Technologien einfach integriert werden und stehen dann als zusätzliche Lerninhalte zur Verfügung (vgl. Regber 2018). Ihre Einzelelemente sind veränderbar und können real oder virtuell erlebbar gemacht werden. (vgl. Abele/Metternich/Tenberg 2015)
- Die abgebildeten Lerneinheiten folgen jeweils einem Lernszenario, das aufgaben- und problemorientiert direkt aus der Praxis entnommen ist. Damit werden den Lernenden einerseits die bestehenden Regeln, Abläufe, Störquellen und mögliche Schwierigkeiten bewusst und können direkt thematisiert werden. Auf der anderen Seite wird der Transfer des Könnens in die Arbeitsprozesse erheblich vereinfacht (vgl. Regber 2018).

Zusammenfassend lassen sich Lernfabriken als Lernumgebung beschreiben, in der technische Zusammenhänge und Prozesse praxisnah simuliert und interaktiv erlebbar gemacht werden. Ein handlungs- und problemorientiertes didaktisches Konzept, das formelles, informelles und nicht-formelles Lernen vor Ort durch die aktive Beteiligung der Lernenden ermöglicht, ist zentraler Bestandteil.

Dabei bilden kooperative und kollaborative Prozesse den Kern der Lernszenarien. Interaktionen sind sowohl zwischen Mensch und Mensch, als auch zwischen Mensch und Maschine möglich und nötig. Das didaktische Konzept bildet die Grundlage jeder Lernfabrik, um einen Kompetenzaufbau und -weiterentwicklung der Lernenden zu ermöglichen. Hier sind Theorie- und Handlungswissen unmittelbar aufeinander zu beziehen, um die vorgegebenen Lern- und Kompetenzziele zu erreichen (vgl. Abele/Metternich/Tenberg 2015).

Lernerfolgssicherung:

1. Wie muss die Lernumgebung in einer Lernfabrik gestaltet sein, damit die Lehr-Lernprozesse ermöglicht werden?
2. Warum sind Lernfabriken dynamisch und modular aufgebaut?
3. Was bedeutet ein praxisorientiertes Lernszenario in einer Lernfabrik?
4. Wozu ist das Konzept des Probehandelns für den Lernprozess zwingend erforderlich?

2.3 Formen von Lernfabriken

Lernfabriken werden in unterschiedlichsten Formen angeboten. Es gibt Lernfabriken, die ein verkleinertes Modell einer Lernfabrik darstellen und Lernfabriken, die einen Betrieb in Originalgröße abbilden. Jede Form einer Lernfabrik hat damit seine Vor- und Nachteile. Im Folgenden werden fünf verschiedene Formen aufgeführt. Dabei handelt es sich um idealisierte Darstellungen, die so in der Realität selten aufzufinden sind. Es handelt sich bei den meisten Lernfabriken um Mischformen, die je nach Ressourcen, Bedarf und Zielrichtung des jeweiligen Standortes zusammen gesetzt sind (vgl. IG Metall 2018).

Im Folgenden werden die fünf wesentlichen Formen von Lernfabriken dargestellt. Hierzu liegen im Medienpaket auch drei Videos vor ("Formen von Lernfabriken 1-3").

2.3.1 Demonstrationsfabrik

Kennzeichen einer Demonstrationsfabrik ist die identische realitätsgetreue Bauart einer Produktionsfabrik, wie in Abbildung 2 veranschaulicht. Durch Simulationen einer wirklichkeitsnahen Fabrik können die Erfahrungswerte von Menschen nachvollzogen werden, die täglich an solchen Arbeitsplätzen tätig sind. Die Arbeit wird über diese Form der Lernfabrik „erlebbar“ gemacht. In Demonstrationsfabriken sind meist auch die aktuellen Technologien, besonders in Bezug auf Industrie 4.0, funktionsfähig aufgebaut

und können vorgeführt werden. Damit eignet sich diese Form der Lernfabrik besonders gut, um neue und innovative technische Möglichkeiten kennenzulernen (vgl. IG Metall 2018).

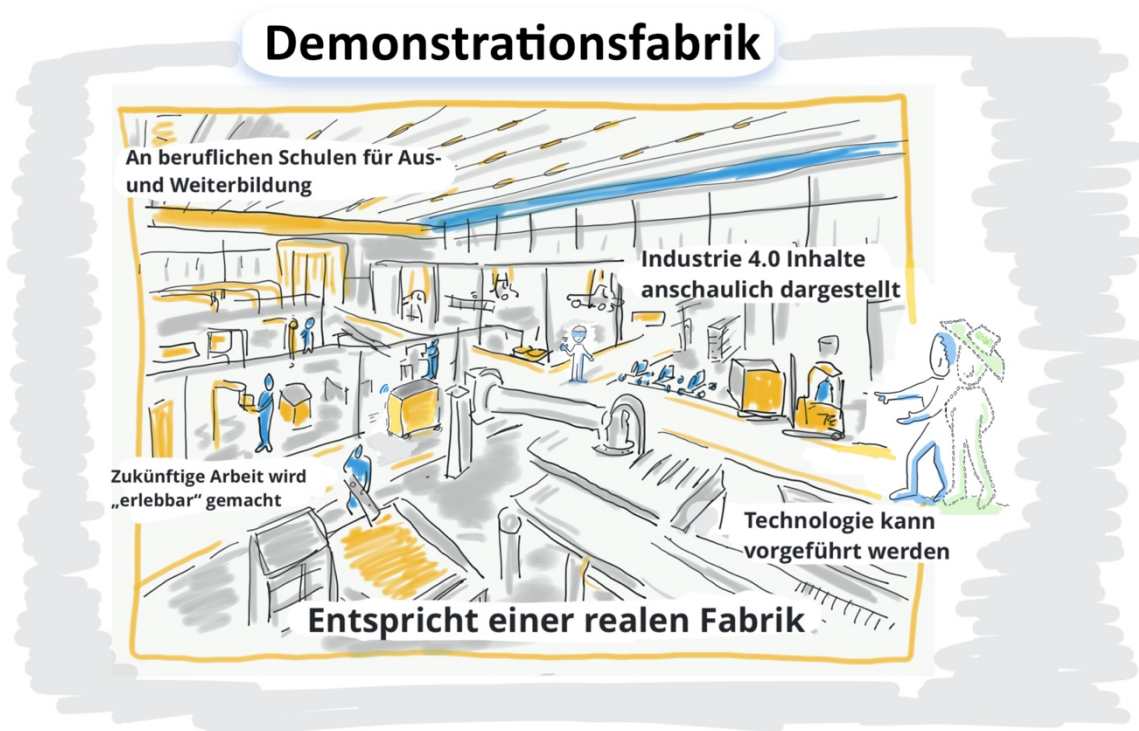


Abbildung 2 Die Demonstrationsfabrik

Lernfabriken im berufsschulischen Bereich sind i.d.R. wie Demonstrationsfabriken aufgebaut. Hier können Inhalte im Kontext Industrie 4.0 am anschaulichsten dargestellt und Lernen und Lehren am besten ermöglicht werden. Die einzelnen Module von Cyber-Physical-Systems in Demonstrationsfabriken an beruflichen Schulen sind deutlich größer dimensioniert und durch Plexiglasscheiben transparent gestaltet. Dadurch können technische Abläufe einsehbar gestaltet und verständlicher dargestellt werden. Nicht einsehbare Kammern werden mit Spezialkameras ausgestattet um, auf extra angebrachten Bildschirmen, diese Vorgänge sichtbar zu übertragen. Ebenfalls werden durch die Verringerung der Anlagengeschwindigkeit einzelne Prozessabläufe deutlicher und nachvollziehbarer gestaltet (vgl. Dröge et al. 2018).

2.3.2 Modellfabrik

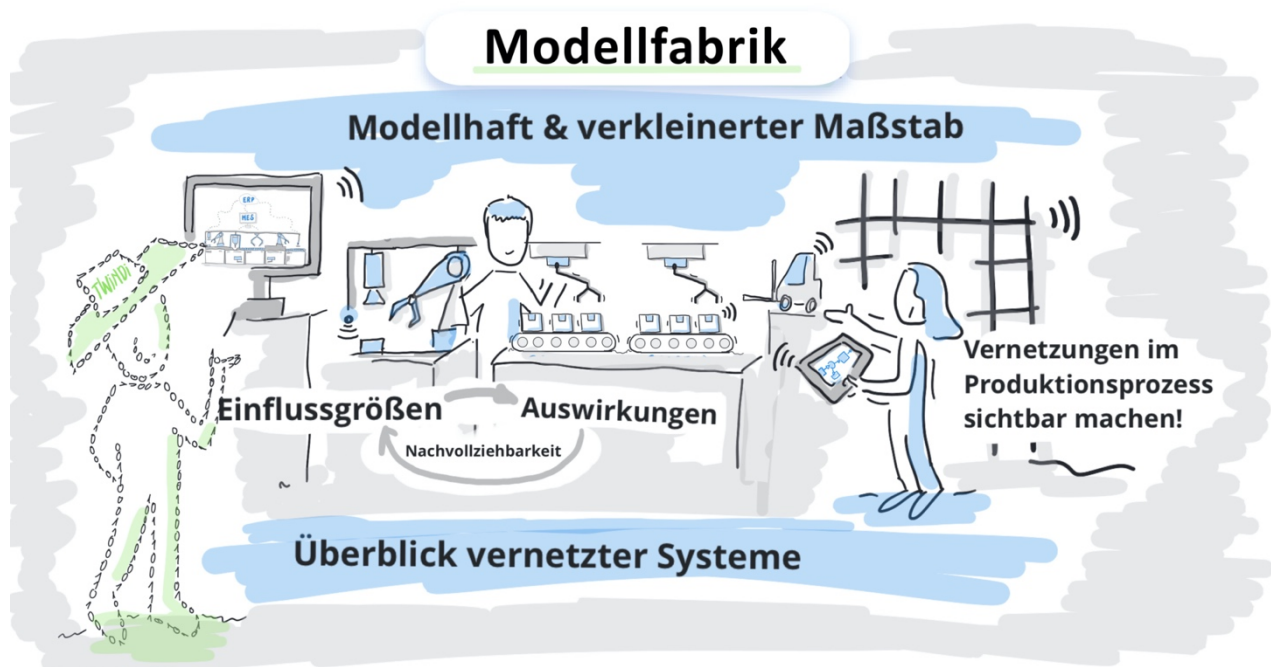


Abbildung 3 Die Modellfabrik

In Modellfabriken wird eine Fabrik in einem verkleinerten Maßstab dargestellt (siehe Abbildung 3). Anhand von diesem Modell kann beispielsweise schnell ein Überblick über komplexe, vernetzte Systeme gewonnen werden. Wenn die Steuerung eines Prozesses oder andere Einflussgrößen des Prozessablaufs verändert werden, können die Auswirkungen über den modellhaften Aufbau leicht erkannt werden. Speziell für den Bereich der Steuer- und Regelprozesse eignet sich diese Form von Lernfabrik, da Vernetzungen innerhalb des Prozesses konkret sichtbar und damit erlebbar gemacht werden (vgl. IG Metall 2018).



Abbildung 4 Die Prozessfabrik

In dieser Form von Lernfabriken stehen die Abläufe eines kontinuierlich zu optimierenden Arbeitsprozesses und der dazugehörigen Schritte im Vordergrund. Die Teilnehmenden der Prozessfabrik (Abbildung 4) nehmen eine aktive Rolle ein und planen Prozessabläufe, die sie anschließend eigenständig ausführen. Damit können z. B. Tätigkeiten, bei denen Handarbeit eine wesentliche Rolle spielt, wie Montageprozesse, analysiert werden. Organisatorische Mängel, wie eine verspätete Bereitstellung von Bauteilen können so im Prozessablauf konkret erfahrbar gemacht werden. In anschließenden Reflexionsphasen werden die beobachteten Mängel im Prozess analysiert und Ideen zur Verbesserung entwickelt, die sofort umgesetzt und erneut praktisch ausprobiert werden können. Ein Vorteil dieser prozessorientierten Form der Lernfabrik besteht darin, dass nicht nur einzelne Schritte betrachtet und ggf. optimiert werden können, sondern auch der gesamte Prozess überblickt werden kann. Besonders geeignet ist diese Form zur Optimierung von Arbeitsprozessen nach den Kriterien der schlanken Produktion (vgl. IG Metall 2018).

Gestaltung und Betrachtung sozio-technischer Systeme

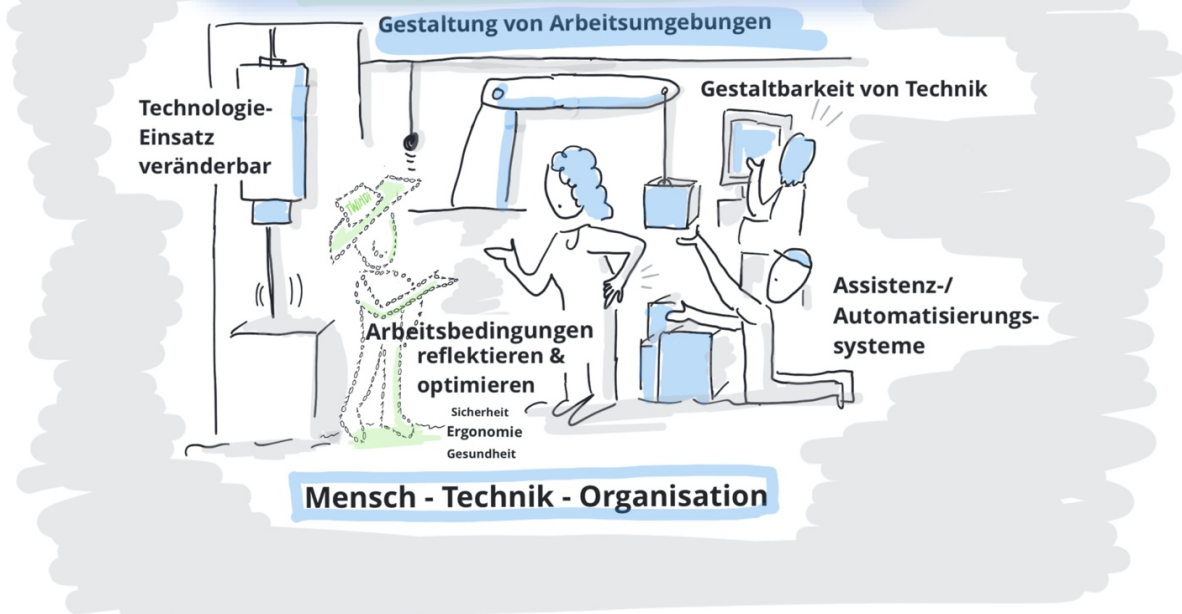


Abbildung 5 Gestaltung und Betrachtung sozio-technischer Systeme

Eine Lernfabrik, die die Mensch-Maschine-Interaktion in den Fokus rückt, wie in Abbildung 5 dargestellt, lässt sich als Arbeitsumgebung in sozio-technischen Systemen beschreiben und zielt auf die Gestaltbarkeit von Technik sowie die Auseinandersetzung mit Arbeitsbedingungen (Sicherheit, Ergonomie, Gesundheit etc.) ab. Die Lernfabrik dient damit als Trainingsmöglichkeit, um Arbeitsumgebungen zu reflektieren und zu optimieren. Ein Beispiel für diese Art von Lernfabrik ist an der Ruhr-Universität Bochum zu sehen, die in Kooperation mit der IG-Metall aufgebaut wurde. In dieser Form der Lernfabrik werden gewerkschaftliche Anliegen wie die Sicherung der Beschäftigung, Bezahlung und Gesundheit besonders betrachtet. Die wirtschaftliche Effizienz durch neue Technologien spielt hier keine wesentliche Rolle. Deshalb steht in der Experimentalfabrik der IG Metall keine konkrete Technologie im Vordergrund. Es wird gezeigt, dass Arbeitsbedingungen und Arbeitsabläufe nicht allein von der Technik bestimmt werden. Es werden vielmehr generell der Aspekt der arbeitspolitischen Gestaltbarkeit von Technik in den Fokus gestellt. Die Gestaltbarkeit wird zwar anhand einer konkreten Technologie gezeigt, diese ist jedoch austauschbar (ebd.).

2.3.5 Virtuelle Lernfabrik

Virtuelle Lernfabrik

Modellhaft mit wichtigsten Bereichen virtuell dargestellt



Abbildung 6 Die virtuelle Lernfabrik

In einer virtuellen Lernfabrik (Abbildung 6) werden mehrere Lernmodule bereitgestellt, die Arbeitsprozesse eines industriellen Betriebs darstellen. Sie veranschaulichen einzelne Montageabläufe und Funktionen sowie das komplexe Zusammenspiel innerhalb eines Produktionsprozesses. Diese Form der Lernfabrik findet hauptsächlich in der Hochschulbildung Anwendung. Mit den Lernmodulen der virtuellen Lernfabrik werden zudem Lehrveranstaltungen ergänzt, um spezifische Aufgabenstellung u. a. zur Optimierung von Produktionsprozessen zu bearbeiten. In den Lernmodulen wird eine Fabrik modellhaft mit ihren wichtigsten Betriebsbereichen virtuell dargestellt. Neben einem 3D-Modell der Lernfabrik werden Simulationen und Animationen in die Lernmodule eingebettet aber auch textuelle Erläuterungen, Diagramme, Videos und Schaubilder werden verwendet. Ein Vorteil dieser Lernfabrik stellt das zeitlich und räumlich ungebundene, individuelle Erlernen technischer und betriebsorganisatorischer Inhalte dar (vgl. Zülch/Badra/Steininger 2003).

Lernerfolgssicherung:

1. Nach welchen Kriterien unterscheiden sich die Formen von Lernfabriken?
2. Was sind die Schwerpunkte der jeweiligen Form einer Lernfabrik?
3. Wie unterscheiden sich die Lernprozesse in den verschiedenen Formen von Lernfabriken?
4. Welche Form der Lernfabrik bietet sich für die berufliche Bildung an? Warum?

3 Einsatzgebiete und Zielgruppen

Die im vorhergehenden Kapitel vorgenommene Definition anhand technologischer und didaktischer Kriterien sowie fünf typischer Formen, die sich zusätzlich aus unterschiedlichen Funktionen von Lernfabriken ergeben, wird im Folgenden weiter ausdifferenziert. Der Einsatz von Lernfabriken findet in den unterschiedlichsten Einrichtungen und mit unterschiedlichen Zielstellungen und im Hinblick auf verschiedenste Zielgruppen statt. Sie werden eingesetzt an:

- Universitäten / Hochschulen
- Berufliche Schulen
- Unternehmen (interne Lernfabriken, Bsp.: bei Volkswagen/Audi oder BMW)
- Private Dienstleister (z. B. Unternehmensberatung, Weiterbildung)

Abbildung 7 umfasst mögliche Bereiche, in denen eine Lernfabrik eingesetzt werden kann. Die Darstellung dient als Übersicht und wurde im Rahmen einer Morphologie zum Vergleich von Lernfabriken erstellt (vgl. Steffen/Deus/Frye 2013).

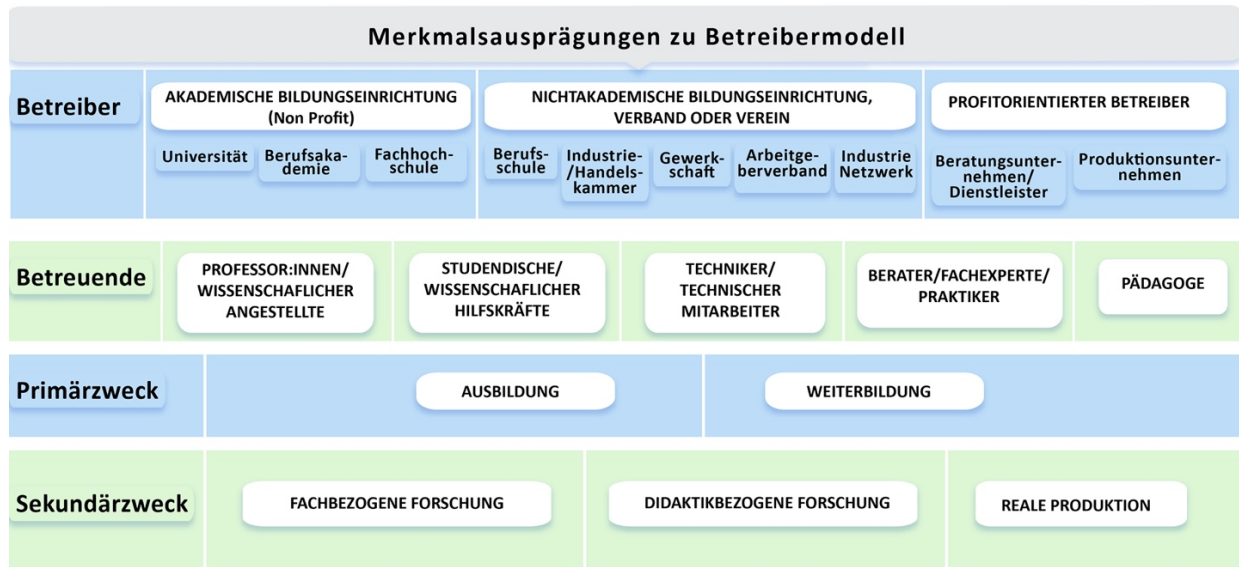


Abbildung 7: Übersicht zu möglichen Einsatzorten von Lernfabriken (vgl. Steffen/Deus/Frye 2013, 234)

3.1 Lernfabriken in der Forschung

Lernfabriken haben vor allem an Universitäten neben einem didaktischen Konzept oftmals auch einen Forschungszweck. Dort werden wissenschaftliche und praxisrelevante Themen z. B. zur Gestaltung und Steuerung effizienter Produktions- oder Logistiksysteme bearbeitet. Dabei werden oftmals Fertigung, Qualitätskontrolle, Montage, Verpackung, Logistik und indirekte Prozesse in einer realen Betriebssituation simuliert und Schlussfolgerungen für die Gestaltung von Lernprozessen gezogen. Nach Wannöffel/Bianchi-Weinand (2018, 6f.) verknüpfen die Lernfabriken Grundlagenforschung, angewandte Forschung und experimentelle Entwicklungen. Aktuelle Themen in der Forschung zu Lernfabriken adressieren oftmals eine Bandbreite soziotechnischer Systeme im Spannungsfeld Mensch, Technik und Organisation (vgl. Abele et al. 2015, 12). Zwischen diesen Ebenen gibt es viele Schnittmengen, die im Kontext der Entwicklungen zu Industrie 4.0 mit einer höheren Vernetzung der Systeme zugenommen haben. Aktuelle Forschungsthemen sind dabei:

- Verbesserung des Produktions- und/oder Logistikprozesses: schlanke Produktion, Lean Management, Just-in-Time Produktion.
- Rekonfigurierbarkeit: Fabrik-Virtualisierung, digitale Produktionsplanung, Simulation von Produktionssystemen, Informationssysteme zur Planung und Steuerung.
- Energie- und Ressourceneffizienz: Energie und Ressourcenverbrauch, Optimierungsstrategien, Messtechnologien.

- Mensch-Maschine-Schnittstellen: Assistenz- und Lernsysteme, Arbeitsbedingungen und Arbeitsabläufe, Gestaltung von Arbeitsplätzen, Problemlösungsprozesse, Rolle des Menschen.
- Vernetzung der Produktionswelt: Testung neuer Industrie 4.0-Technologien, CPS-Systeme, Nutzung von Datenanalysen zur Transparenz und Optimierung, Integration intelligenter Produktionsmaschinen.
- Kompetenzentwicklung: Kompetenzen der Mitarbeiter, Lernstrategien, Lernformen und Lernmedien.

Zudem können durch das realitätsnahe Abbild der Fertigung bei reduzierter Komplexität und bei gleichzeitig deutlich geringerem Kostenaufwand Tests z. B. zum Lernen mit digitalen Medien/Technologien von Studierenden oder Personen aus der Aus- und Weiterbildung durchgeführt werden. Hier können Lernfabriken dafür eingesetzt werden, die erarbeiteten Ergebnisse im Bezug zum erfolgreichen Lernen mit den jeweiligen Probanden zu überprüfen. Theoretische Ansätze können so in der Praxis in einer realitätsnahen Produktionsumgebung mit geringeren zeitlichem und finanziellem Risiko zur Anwendung gebracht werden. Dadurch ist ein beschleunigtes Entwicklungsverfahren möglich (Abele/Metternich/Tisch 2019, 249f.).

3.2 Lernfabrik in der beruflichen Bildung

Beispiele für Lernfabriken an beruflichen Schulen werden ab S. 28 bzw. ab S. 36 ausführlicher beschrieben. Beachten Sie bitte auch die Linksammlung auf S. 34.

Lernfabriken integrieren in der Regel eine Vielzahl unterschiedlicher Lehrmethoden, wobei das handlungsorientierte Lernen in der Produktion, also das aufgabenspezifische Problemlösen in realitätsgetreuer Lernumgebung, das Alleinstellungsmerkmal des Lernsystems Lernfabrik darstellt (Abele/Metternich/ Tenberg 2015, 20).

In der realen oder virtuellen Produktionsumgebung können u. a. Testläufe, Experimente oder problemorientierte Fragestellungen im Bezug zu Technologien, organisatorischen Problemstellungen sowie zur Rolle des Menschen durchgeführt werden, die Bestandteil der Hochschulausbildung sind. Zielgruppen an Hochschulen sind in erster Linie Studierende aus produktions- oder logistiknahen Master- und Bachelorstudiengängen, die mithilfe von Lernfabriken in einer realen Produktionsumgebung Erfahrungen sammeln können. Eine neue Zielgruppe können dort Studierende des Lehramtes an beruflichen Schulen sein, die auf die Arbeit in Lernfabriken in der beruflichen Bildung vorbereitet werden. (Dabei kann, wie bspw. an der PH Schwäbisch Gmünd, in

Kooperation mit einer beruflichen Schule auf die dortige Lernfabrik zurückgegriffen werden).

Die Weiterbildung von Fachkräften auf Facharbeitsebene, Ingenieur:innen als auch Mitarbeiter:innen anderer Berufsgruppen zu unterschiedlichen Themen innerhalb der Lernfabriken, u. a. zur schlanken Produktion, ist ein weiteres Feld für Lernfabriken, unabhängig davon ob sie an Hochschulen oder beruflichen Schulen platziert sind. Hier existieren Angebote für die berufliche Fort- und Weiterbildung sowohl von internen, als auch externen Mitarbeiter:innen von Unternehmen. Neu auf dieser Angebotsseite sind auch Berufsschulen mit Lernfabriken. Besonders in Baden-Württemberg müssen die offiziell vom Land geförderten Lernfabriken an beruflichen Schulen Kooperationen und Weiterbildungen mit regionalen klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) anbieten, um die Förderbedingungen zu erfüllen. Dabei dienen Lernfabriken oft der Weiterbildung in den Themen der digitalisierten Produktion und zu unterschiedlichen Fragestellungen zu Industrie 4.0. Häufig werden sie auch als Ansatzpunkt für ein Veränderungsmanagement verwendet. Dabei stehen besonders die motivationalen Aspekte der Lernfabrik im Vordergrund (Abele/Metternich/Tisch 2019, 234f.).

In der beruflichen Ausbildung werden seit einigen Jahren immer mehr Lernfabriken in der schulischen Ausbildung eingesetzt. In beruflichen Schulen steht das Ziel im Vordergrund, Schüler:innen eine berufliche Handlungskompetenz im Kontext der Entwicklungen zu Industrie 4.0 mit dem Wandel der Arbeitsbedingungen zu vermitteln. Lernfabriken bieten hier ein großes Potenzial, durch die Simulation von realen Arbeits- und Geschäftsprozessen eine hohe Orientierung an beruflichen Handlungen zu erreichen. Voraussetzungen dafür: eine Aktualität der Lernfabriken im Bezug zur Soft- und Hardware, Variabilität in der Anlagengestaltung und -zusammensetzung, um unterschiedliche Szenarien zur Problemorientierung abzubilden und eine möglichst hohe Realitätsnähe in den Handlungssituationen. Grundlage hierfür ist die Kenntnis zu den aktuellen beruflichen Situationen in der Arbeitswelt. Um die Potenziale der Lernfabrik nutzen zu können, müssen die Szenarien zum Ziel haben, eine selbstständige Organisation und Problemlösefähigkeit bei den Auszubildenden zu fördern (vgl. Zinn 2014, 23).

Die durch die Industrie 4.0 fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung in den Produktionsprozessen stellt auch die gesamte berufliche Bildung vor neue Herausforderungen. Die hohe technische Komplexität in den Produktionsprozessen im Kontext der Industrie 4.0 geht einher mit den hohen Anforderungen an das technische Verständnis der Lernenden und Lehrenden. Um die Arbeits- und Geschäftsprozesse im

Kontext der Industrie 4.0 nachvollziehen zu können, werden Facharbeiter:innen der gewerblich-technischen aber auch der kaufmännischen Berufsfelder damit konfrontiert (Faßhauer/Wilbers/Windelband 2021). Nach Wilbers (2020, 44) sind für die kaufmännische Berufsbildung das Enterprise Resource Planning (ERP) und Manufacturing Execution System (MES) besonders relevant, also die Produktionsprogrammsteuerung und die integrierte Unternehmenssoftware. Diese sind ein nicht wegzudenkender Bestandteil von Industrie 4.0. Alle Geschäfts- und Fertigungsprozesse in der Produktion werden durch ERP und MES Lösungen abgedeckt.

Folgende Ausbildungsberufe wurden aufgrund der größten fachlichen Berührungspunkte mit Industrie 4.0 in den Handreichungen für Baden-Württemberg zu den Lernfabriken berücksichtigt: Industriemechaniker:in, Produktionstechnologe/-technologin, Mechatroniker:in, Elektroniker:in Automatisierungstechniker:in bzw. Betriebstechnik, Fachinformatiker:in sowie die Fachschulen für Metalltechnik, Elektrotechnik, Informationstechnik, Automatisierungstechnik und Mechatronik (vgl. Löhr-Zeidler/Hörner/Heer 2016, 12). Für die kaufmännischen Berufe gibt es bisher noch keine Empfehlungen für den Einsatz oder die Integration von Lernfabriken in den kaufmännischen Schulen (vgl. Wilbers 2017).

Die hier kurz thematisierten Anwendungsfelder in der beruflichen Bildung, insbesondere an beruflichen Schulen, werden in einem zusätzlichen Medienpaket ausführlich dargestellt und können dort bearbeitet werden (Medienpaket Lernfabriken – Anwendung).

Lernerfolgssicherung:

1. Warum kann man Lernfabriken als Forschungs- oder Lerngegenstand unterscheiden? Inwiefern unterscheiden sie sich?
2. Inwiefern lassen sich Produktions- und/oder Logistikprozesse verbessern?
3. Wie kann Digitalisierung die Mensch-Maschine-Interaktion in einer Lernfabrik verbessern/erleichtern?
4. In welchem Bezug steht die Digitalisierung zur Rekonfigurierbarkeit von Produktionsprozessen?
5. Wie werden die veränderten Kompetenzanforderungen sichtbar gemacht?

3.3 Thematische Ausrichtungen von Lernfabriken

Lernfabriken unterscheiden sich nicht allein in ihren Formen, Funktionen und Einsatzfeldern sondern auch in ihrer thematischen Ausrichtung. Vom Lean-Management bis hin zum Energie- und Ressourcenmanagement sind verschiedene Themenbereiche vertreten. Im folgenden Abschnitt werden vier typische Ausrichtungen von Lernfabriken Hochschulen und beruflichen Schulen kurz vorgestellt (vgl. Abele et al. 2016, 809).

3.3.1 Lernfabriken zur Verbesserung des Produktionsprozesses

Der Schwerpunkt von Lernfabriken im Bereich der Verbesserung des Produktionsprozesses liegt auf der Prozessoptimierung und dem Prozessmanagement. Diese beinhalten unter anderem die Themenbereiche Lean-Management, Wertstromanalyse, Just-in-Time Produktion sowie Problemlösungs- und Arbeitsplatzoptimierung. Dieser Art von Lernfabriken wird für interaktive Aus- und Weiterbildungszwecke und im Bereich der Forschung genutzt. Ziel dieser Einrichtungen ist es, Studenten und Mitarbeiter aus dem industriellen Bereich mit den Methoden und Werkzeugen der Produktoptimierung bekannt zu machen und zu schulen. Der Fokus im Forschungsbereich liegt einerseits auf der konzeptionellen Entwicklung von Technologietransfer, andererseits sollen Forschungslücken im Bereich der Produktionsoptimierung aufgedeckt und Forschungsergebnisse umgesetzt werden (vgl. Abele et al. 2016, 809f.).

Zur Vertiefung des Aspektes "Produktionsprozess" liegen im Medienpaket zwei Videos vor (Lernfabrik Göppingen 1 und 2). Eines davon zusätzlich als interaktives Lernvideo.

3.3.2 Lernfabriken für Rekonfigurierbarkeit

Diese Lernfabriken stehen im Zusammenhang mit dem Produktions- und Fabriklayout, konzentrieren sich auf die Verbindung zwischen digitaler Produktionsplanung und der Umsetzung physischer Modelle im Labor. Mithilfe transformierbarer Produktionsplattformen können verschiedene Layouts im Bereich der Montage, Beschichtung, Transport, Qualität und Lager konfiguriert und Produktionsaspekte der Produktionsplanung und -steuerung sowie der Auftragsabwicklung demonstriert werden. Ziel dieser Lernfabriken ist es, organisatorische sowie fach- und bereichsübergreifende Entscheidungsstrategien beim Entwurf von Fertigungssysteme zu entwickeln (vgl. Abele et al. 2016, 810f.).

3.3.3 Lernfabriken für Energie- und Ressourcenmanagement

Dieser Ausrichtungsbereich beschäftigt sich mit dem Zusammenhang von Energie- und Ressourcenverbrauch und Produktionsoutput. Hierzu werden verschiedene interdisziplinäre Ansätze zur Reduzierung des Energieverbrauchs sowie der CO₂-Emission in Produktionsprozessen untersucht. Diese Lernfabrik dient vor allem der Forschung und Demonstration (vgl. Abele et al. 2016, 811).

Im Kontext beruflicher Bildung haben jedoch Lernfabriken mit einer thematischen Ausrichtung auf „Industrie 4.0“ die größte Bedeutung, sodass sie in dem folgenden Kapitel ausführlicher beschrieben werden.

3.4 Lernfabriken für „Industrie 4.0“

Diese Lernfabriken beschäftigen sich hauptsächlich mit Themen der Digitalisierung der Produktion und dem „Internet der Dinge“ als Kernelementen einer sogenannten Industrie 4.0. Zielstellung ist es hier, zukünftige Fachkräfte der shop-floor-Ebene, Ingenieur:innen, Manager:innen und Führungskräfte auf die Technologien der Zukunft vorzubereiten und sie darin auszubilden. Dies umfasst, dass Aneignen eines umfangreichen Verständnisses von komplexen und interdisziplinären Cyber-Physischer-Systemen und Technologien. Lernfabriken im Bereich der Industrie 4.0 zielen sowohl auf den Forschungsbereich als auch auf die berufliche Aus- und Weiterbildungsbereich ab (vgl. Abele et al. 2016, 811).

Je mehr Unternehmensbereiche in eine Lernfabrik integriert werden, desto realistischer aber gleichzeitig auch komplexer wird die Lernsituation. Aufgrund der zunehmenden Digitalisierung und dem Wandel der Arbeitswelt zu Industrie 4.0 müssen auch die Lernfabriken mit neuen Technologien ausgestattet werden, um den Lernenden eine angemessene Möglichkeit der Auseinandersetzung mit ihnen geben zu können. Besondere Bedeutung kommt dem Produkt zu, das in der Lernfabrik gefertigt wird. Es muss eine ausreichende Komplexität bei einem überschaubaren Arbeitsinhalt aufweisen (vgl. Steffen/Deus/Frye 2013). Hier lassen sich auch allgemein didaktische Kriterien der Exemplarität und Zukunftsbedeutung von Lerninhalten anschließen. An dieser Stelle kann keine ausführliche Beschreibung und kritische Einordnung des Begriffes „Industrie 4.0“ und seiner wesentlichen Elemente vorgenommen werden. Dem Medienpaket liegt insgesamt folgendes Verständnis von „Industrie 4.0“-Technologie zugrunde:

- Das Vorhandensein eines digitalen (maschinenlesbaren) Zwillings zur physischen Anlage (Ein digitaler Zwilling ist ein virtuelles Modell z. B. eines Prozesses, eines Produkts oder einer Dienstleistung, welches die reale und virtuelle Welt verbindet.)
- Vernetzung sowohl der physischen als auch der digitalen Anlage mit dem Internet, sodass sie sogenannte Cyber-Physische Systeme (CPS) bilden. Basis zur Verknüpfung der Maschinen, Gegenstände und Räume bildet das „Internet der Dinge“ und „Internet der Dienste“, welches die interagierenden CPS mit der digitalen Welt vernetzt.
- Die Integration von Rechnerleistung in der physischen Anlage ermöglicht dort eine eigene Datenverarbeitung auf unterschiedlichem Niveaustufen bis hin zur KI (Künstlichen Intelligenz). Damit wird das Objekt zu einem intelligenten, aktiven Objekt, welches seine Umgebung wahrnimmt (Sensorik) und beeinflusst (Aktorik). Die dabei gezielt gewonnenen oftmals sehr großen Datenmengen werden zur Beeinflussung der Prozesse (in Echtzeit) dokumentiert, aufbereitet, analysiert und weiterverarbeitet.
- Um die umfassende Vernetzung zu erreichen, werden die Objekte mit Kommunikationsmodulen ausgestattet, die es erlauben, Daten zu senden und/oder zu empfangen sowie über die Mensch-Maschine-Schnittstelle zu beeinflussen.
- Bei Industrie 4.0 bezieht die Vernetzung auf den gesamten Wertschöpfungsprozess einer Produktion von der Planung bis zur Verwertung des Produktes innerhalb und außerhalb des Unternehmens ein (horizontale und vertikale Vernetzung).
- Dabei organisieren intelligente Maschinen selbstständig die Fertigungs- und Logistikprozesse. Über das Unternehmen hinaus werden Produktions- und Logistikprozesse potentiell weltweit über das Internet verzahnt, um den Materialfluss zu optimieren.

Zentrale Technologien bzw. Themenbereiche sind an Lernfabriken für „Industrie 4.0“ insbesondere die Möglichkeit zu einer intelligenten Vernetzung von Menschen, Maschinen und Objekten mit IKT-Systemen (Informations- und Kommunikationstechnik). Um eine Abschätzung der Auswirkungen dieser Technologien auf den Arbeits- und Wertschöpfungsprozess geben zu können, werden sie innerhalb von fünf Technologiefeldern subsummiert (Abb. 8).

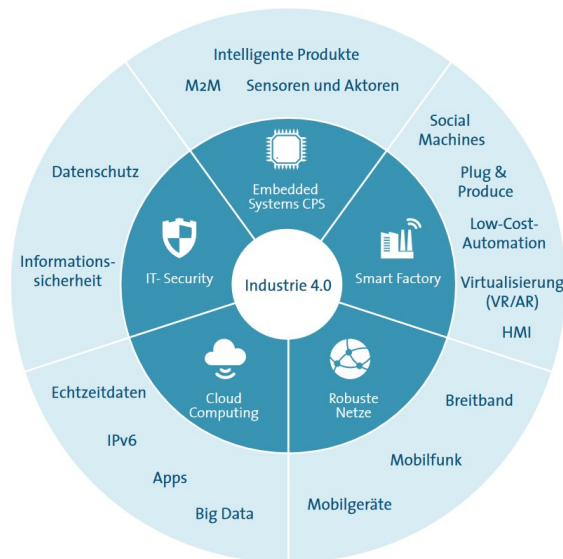


Abbildung 8 Technologiefelder Industrie 4.0 (BITKOM 2014, 22)

3.4.1 Embedded Systems, intelligente Objekte, Cyber-Physische Systeme (CPS)

Für die intelligente Vernetzung von bisher passiven Objekten ist die Ausrüstung mit Mikrokontrollern, Kommunikationssystem, Identifikatoren, Sensoren und Aktoren eine wesentliche Grundlage. Diese Ausrüstungen werden auch als *Embedded Systems* bezeichnet. Dabei stellen die Kommunikationssysteme die Interaktion mit funk- bzw. kabelbasierten Netzwerken sicher. Die Sensoren liefern Daten über das direkte Umfeld des Objekts und Aktoren führen nicht nur Bewegungen von Komponenten des Objekts aus, sondern dienen auch zur Übermittlung visueller oder akustischer Informationen an Personen. Die Identifikatoren wie z. B. ein Barcode oder ein RFID (Radio Frequency Identification) Transponder dienen zur eindeutigen Identifikation des Objekts. Der Mikrokontroller analysiert die eingehenden Daten, bestimmt den Status des Objekts, bereitet Entscheidungen vor und führt diese aus. Daher stellt der Mikrokontroller die eigentliche Intelligenz des Embedded Systems dar (vgl. BITKOM 2014).

Ein Beispiel für *intelligente Objekte* in der Produktion sind die intelligenten Werkstückträger, die mit einem RFID-Transponder gekennzeichnet sind, um so jederzeit Auskunft über seine Position geben zu können. Eine konsequente intelligente Vernetzung über den gesamten Wertschöpfungsprozess und den Produktzyklus ist für die Industrie 4.0 ein wesentliches Merkmal. Mit der Fähigkeit der intelligenten Objekte, die permanent Daten über ihren Zustand und die Umgebung erfassen, lassen sich diese in der Herstellungsphase des Produkts zur dezentralen selbstorganisierten Koordination von Auftrags-, Material- und Informationsströmen nutzen. Nach der Produktion können

die gesammelten Daten zur Koordination von Inspektionen, Wartung und Instandhaltung verwendet werden (vgl. BITKOM 2014).

Zu den Komponenten der *cyber-physischen Produktionssystemen* gehören intelligente Maschinen, die in der Lage sind, nicht nur mit dem Bediener zu interagieren, sondern auch direkt mit anderen Maschinen und Objekten sowie anderen IKT-Systemen zu kommunizieren. Es werden Auftrags-, Material-, und Informationsströme zur Übermittlung von Statusinformationen mit den anderen Maschinen und Objekten abgestimmt. Es erfolgt auch eine Abstimmung von Inspektionen, Wartungen und Instandhaltungen unterhalb der Maschinen. Wie bei den intelligenten Objekten sammeln die intelligenten Maschinen permanent Daten über ihren Systemzustand und über die laufenden Prozesse. Dadurch entsteht ein detailliertes Systemabbild, das nicht nur für die Instandhaltung, sondern auch zur Optimierung der Maschine verwendet werden kann (vgl. BITKOM 2014).

Durch die intelligente Vernetzung von Mensch, Maschinen, Produkten, Objekten und IKT-Systemen entsteht ein System, das als cyber-physisches System bezeichnet wird. In diesem Netzwerk spielen die intelligenten Systeme temporär zusammen, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen bzw. eine Aufgabe zu erfüllen. Die Interaktion wird über standardisierte Schnittstellen nach definierten Protokollen ausgeführt, was den Vorteil der freien Austauschbarkeit der Module und damit die kurzfristige Wandlungsfähigkeit des Systems sicherstellt (vgl. BITKOM 2014).

3.4.2 Smart Factory

Der Aufbau von Produktionssystemen als CPS aus intelligenten Systemen ist die Basis für das direkte, auf Synchronisierung von Lebenszyklen abzielende Management von Smart Factories. Dabei kann ein cyber-physisches Produktionssystem auch als ein Netzwerk von Social Machines aufgefasst werden. Es kann sich dabei um eine automatisierte Fertigungslinie handeln oder es werden mehrere einzelne Maschinen-Module zu einem verketteten Maschinensystem (VMS) zusammengeführt. In Smart Factories tauschen intelligente Maschinen untereinander und mit den intelligenten Objekten kontextbezogen und übergreifend Informationen über Aufträge und Zustände aus, um gemeinsam Abläufe und Termine zu koordinieren. Das Ziel in der Smart Factory ist das Erreichen eines Gesamtoptimums bzgl. Durchlaufzeit, Qualität und Auslastung (vgl. BITKOM 2014).

Um dies zu erreichen werden *MES-Systeme* (Manufacturing Execution Systems) eingesetzt, deren Hauptaufgabe darin liegt, die Feinplanung und -steuerung der Produktion, das Betriebsmittel- und Materialmanagement, das Qualitätsmanagement

und Themen rund um eine anwendungsgerechte Werkerführung zu übernehmen. Es steht vor allem die kurzfristige Planung und Steuerung der Produktion unter Berücksichtigung aller relevanten Planungsparameter auf Basis von Echtzeitinformationen im Vordergrund. Die MES-Systeme fungieren ebenfalls als Schnittstelle zu den auf betrieblicher Ebene agierenden ERP-Systeme. *ERP-Systeme* (Enterprise Resource Planning Systems) unterstützen die Betriebsorganisation und Abwicklung sämtlicher Geschäfts- und Auftragsabwicklungsprozesse. Es werden damit unternehmerische Aufgaben und Ressourcen im Sinne des Unternehmenszwecks rechtzeitig und bedarfsgerecht geplant, gesteuert und verwaltet, wobei ein effizienter betrieblicher Wertschöpfungsprozess gewährleistet werden soll (vgl. IT-Produktion).

Eine Eigenschaft der Smart Factory ist das *Prinzip des Plug & Produce*, wobei eine schnelle und leichte Austauschbarkeit von Maschinen und Komponenten erzielt wird. Aufgrund von standardisierter Schnittstellen und Interaktionsprotokollen ist die leichte Austauschbarkeit und Konfiguration gewährleistet. Dabei erfolgt die Konfiguration einer intelligenten Maschine und Komponente durch Kommunikation mit anderen Maschinen und Komponenten. In der Maschine sind bereits die Basiskonfigurationen und die Vorgehensweise zur systematischen Erfassung zur Parametrisierung der Konfigurationsmuster hinterlegt. Wenn die Maschine eine entsprechende Aufgabe ausführen soll, wählt sie ein passendes Konfigurationsmuster aus und parametrisiert sich selbst (vgl. BITKOM 2014).

In Zeiten der schlanken Produktion haben die Eigenschaften der Smart Factory eine besondere Bedeutung, da *Losgröße 1* ermöglicht wird. Bei *Losgröße 1* besteht das Ziel darin, eine Sonderfertigung bzw. Einzelteillfertigung zu den Kosten einer Massenfertigung zu realisieren. Die *Losgröße* bezeichnet generell die Menge an Produkten, die direkt hintereinander und ohne Unterbrechung produziert werden. Wo seither große *Losgrößen* von Bedeutung war, um Umrüstzeiten und -kosten zu vermeiden, können mit der Smart Factory spezielle Kundenwünsche hocheffizient und in *Losgröße 1* produziert werden (vgl. BITO 2020).

In einer Smart Factory arbeiten neben intelligenten Maschinen allerdings auch Menschen. Dabei spielt die Gestaltung der *Mensch-Maschine-Schnittstelle* bei der Interaktion zwischen intelligenten Objekten, Produkten und Maschinen mit dem Menschen eine besondere Rolle (vgl. BITKOM 2014). Im Bereich der Robotik erhält die *Mensch-Roboter-Kollaboration* (MRK) immer größere Bedeutung. Für die Produktion der Zukunft stellt eine flexible Fertigung in variabler Stückzahl bei höchster Effizienz eine Herausforderung dar, die ein perfektes Zusammenspiel von Mensch und Maschine

benötigt. Bei einer MRK-Anwendung sollen Mensch und Roboter Hand in Hand zusammenarbeiten, damit beide Parteien von den jeweiligen Fähigkeiten des anderen profitieren können. Der Vorteil von kollaborierenden Robotern im Montageprozess ist, dass sie anstrengende, unergonomische und monotone Arbeiten übernehmen können. Für diese Art der Zusammenarbeit werden spezielle kollaborierende Roboter benötigt, die mit integrierter Sensorik ausgestattet sind, um ein sicheres Arbeiten von Mensch und Maschine zu gewährleisten. Damit wird ermöglicht, dass sich Mensch und Maschine einen gemeinsamen Arbeitsraum teilen und sicher zusammenarbeiten können (vgl. KUKA 2020).

Die Entwicklung und Erprobung intuitiv bedienbarer Schnittstellen trägt wesentlich zur sicheren Bedienung von Maschinen und Anlagen bei. Dies führt zu einer steigenden Akzeptanz von Industrie 4.0 Technologien und zu einer steigenden Motivation der Mitarbeiter (vgl. BITKOM 2014).

3.4.3 Robuste Netze

Für die intelligente Vernetzung in den smarten Fabriken werden echtzeitfähige kabel- und funkgestützte Kommunikationsnetzwerke benötigt. Dabei stellen die Breitbandnetzwerke das Rückgrat für die Industrie 4.0 Anwendungen in der Fabrik dar. Für einen reibungslosen Ablauf müssen sie nicht nur hochgradig verfügbar und sicher sein, sondern hohe Datenübertragungsraten bei hohen Datenmengen im industriellen Umfeld zur Verfügung stellen. Zudem müssen die Breitbandnetzwerke echtzeitfähig sein. Neben den kabelbasierten Netzwerken spielen ebenfalls die funkbasierten Netzwerke eine wichtige Rolle. Im innerbetrieblichen Bereich wird vor allem WLAN (Wireless Local Area Networks) eingesetzt und im außerbetrieblichen Bereich kann auf die vorhandenen Mobilfunknetze zurückgegriffen werden. Diese müssen allerdings für den Einsatz im industriellen Umfeld weiter entwickelt werden, besonders im Bereich der Stabilität, Verfügbarkeit und Sicherheit (wie bspw. mit dem neuen 5G-Standard vorgesehen). Durch die funkbasierte Kommunikation können mobile Endgeräte wie Smartphones oder Tablet-PC eine direkte Einbindung des Menschen in die Kommunikationsnetze der smarten Fabrik ermöglichen.

3.4.4 Cloud Computing: Nutzung flexibler und verteilter Software

Mit dem Cloud Computing wird die Speicherung von Daten, zum Angebot von Applikationen sowie zur Ausführung von Anwendungen im Intra- bzw. Internet möglich. Die intelligenten Objekte, Produkte, Maschinen und internen IKT-Systeme sind über Kommunikationsnetze mit der Cloud verbunden. Durch Cloud Computing-Lösungen

können wesentlich größere Datenmengen als bei herkömmlichen innerbetrieblichen Serverlösungen verarbeitet werden. Damit entstehen für die Planer und Betreiber von Systemen die Möglichkeit, neue Methoden zur Analyse, Planung, Regelung und Optimierung von smarten Fabriken zu entwickeln und zu nutzen. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit von Cloud Computing ist die Bereitstellung von einzelnen Applikationen für die Fabrik, wodurch die Anwendungen zentral verwaltet und gepflegt werden können. Damit erhalten alle Personen Zugriff auf die neu entwickelten Methoden, Apps, etc. und müssen diese nur für ihren aktuellen Anwendungsfall anpassen (vgl. BITKOM 2014).

IPv6, das Internetprotokoll der 6. Generation ist die Basis zur Entwicklung und Implementierung von Industrie 4.0 Technologien. Gegenüber seinen Vorgängern stellt es genügend großen Adressraum zur Verfügung, um alle intelligente Objekte auch eindeutig adressieren zu können. Eine Grundlage für die Entwicklung neuer Methoden für die Smart Factory ist das Echtzeitabbilden der Anlage. Damit wird eine direkte Prozesssteuerung und Entscheidung möglich (vgl. ebd.).

3.4.5 IT-Security / Datenschutz

Die Sicherheit der Informations- und Kommunikationssysteme der Industrie 4.0 Technologien stellt ein relevanter Faktor dar. Es muss der Datenschutz von Mitarbeitern, Unternehmen und Geschäftspartner gewährleistet werden und zum anderen muss der Zugriff auf das industrielle Internet so gut wie möglich abgesichert sein. Ebenfalls ist die Sabotage von Systemen unter allen Umständen zu verhindern. Manipulationen an Systemen der vernetzten intelligenten Fabrik müssen identifizierbar und behebbar sein (vgl. BITKOM 2014).

Lernerfolgssicherung:

1. Warum sind Lernfabriken im Kontext Industrie 4.0 relevant?
2. Aus welchen Elementen bestehen CPS und wie arbeiten diese zusammen?
3. Was bedeutet Smart Factory für künftige Produktionsprozesse in Unternehmen?
4. Was ist Cloud Computing und wie lässt es sich im Rahmen einer Lernfabrik nutzen?
5. Warum sind robuste Netze in Verbindung mit IT-Security für Lernfabriken wichtig?

Beispiel Berufliche Schulen Bietigheim-Bissingen: Lernfabriken 4.0

Um anschließend aufzuzeigen, wie die Industrie 4.0 Technologien in den Lernfabriken 4.0 Anwendung finden, wird als Beispiel die Lernfabrik 4.0 der beruflichen Schule Bietigheim-Bissingen (Baden Württemberg) aufgeführt. Hier werden Modellautos in Serien- oder Sonderproduktion (Losgröße 1) montiert. Da die verschiedenen Module als verkettetes Maschinensystem aufgebaut sind, lassen sie sich einzeln aus der gesamten Anlage herauslösen. Dies ist z. B. hilfreich um unterschiedliche Anwendungen mit den verschiedenen Werkzeugen demonstrieren zu können, oder auch für Sicherheitsunterweisungen. Über ein MES-System werden die einzelnen Aufträge der Anlage gesteuert und das System kommuniziert unablässig mit der SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) für die Koordination der einzelnen Prozessmodule. Zudem ist eine Produktion ohne einen konkreten Auftrag über das ERP-System nicht möglich. Damit werden die aktuellen Lagerbestände automatisch aktualisiert sowie Produktionsdaten zurückgeschrieben und archiviert (vgl. Dröge et al. 2018 sowie <https://www.lernfabrik-bietigheim.de/>).

Mit Hilfe der RFID-Technologie werden die Bodenplatten der Modellautos mit RFID-Chips ausgestattet, um bei der Serienproduktion die Seriennummer abzuspeichern. Bei der Sonderproduktion enthalten die Chips alle montagerelevanten Daten, damit sich die Anlage für die Montage entsprechend der Daten selbst parametrisiert (ebd.).

Auch ein kollaborierender Roboter der Firma KUKA ist in der Lernfabrik verbaut, der für die Zuführung der Achsen und Karosserie in dem Montagevorgang zuständig ist. Anhand dieses Roboters lässt sich die Robotertechnik mit konkretem Praxisbezug unterrichten, indem das Einrichten, Programmieren sowie die Gefahrenanalyse und -vermeidung direkt an dem Modul vorgenommen wird (vgl. ebd.). Das Ziel der Industrie 4.0 nach Losgröße 1 wird durch einen Markierlaser der Firma Trumpf erreicht, der die Aspekte der Individualisierung, Identifizierung und Nachverfolgbarkeit (Big Data) in der Lernfabrik umsetzt. Dabei wird die Bodenplatte des Modellautos mit einem individuellen Text, der Seriennummer und dem Produktionsdatum beschriftet. Mit Hilfe einer Kamera, die in der Schutzumhausung des Lasermoduls installiert ist, lässt sich der Beschriftungsprozess auch für die Lernenden erlebbar machen (vgl. ebd.).

Um den Lernenden in der Fabrik den bestmöglichen Zugang zu gewährleisten, ist jedes Prozessmodul des verketteten Maschinensystem als CPS ausgeführt und mit einem QR-Code ausgestattet, damit über ein Smartphone oder Tablet weitere technische Informationen zu dem jeweiligen Modul abgerufen werden können (vgl. ebd.).

Neben den Automatisierungstechnischen Prozessen steht auch die Frage nach der Datensicherheit und des Datenschutzes in der Lernfabrik im Mittelpunkt (vgl. ebd.). Damit ist gezeigt, dass die Industrie 4.0 Technologien hervorragend in das Konzept einer Lernfabrik integriert werden können. Durch eine stichprobenartige Betrachtung von Lernfabriken 4.0 in Baden-Württemberg lässt sich die Aussage treffen, dass der grundlegende Aufbau und damit auch die Ausstattung der Lernfabriken generell an den einzelnen Standorten identisch ist. Es handelt sich meist um ein verkettetes Maschinensystem, das aus mehreren Modulen besteht und über ein MES-System gesteuert wird. Wenn sich mehrere Schulen an einer Lernfabrik beteiligen, sind diese über Clouddienste vernetzt, umso einen sicheren Austausch von Prozess- und Produktdaten vornehmen zu können. Auch wenn in den Lernfabriken viele Industrie 4.0 Technologien aufzufinden sind, ist doch jede Lernfabrik für sich individuell. Die Individualität der einzelnen Fabriken ist auf der einen Seite durch das zu fertigende Produkt und auf der anderen Seite durch das dahinterstehende didaktische Konzept gegeben. Die Lernfabriken sind ebenfalls immer auf ihre entsprechenden Zielgruppen angepasst, so dass die Ausstattung den Bedürfnissen der Zielgruppe entspricht.

Lernerfolgssicherung:

1. Um welche Form von Lernfabrik handelt es sich bei diesem Beispiel und warum?
2. Welche Merkmale von Lernfabriken lassen sich anhand des Beispiels ableiten?

4 Didaktisches Konzept

4.1 Lernziele und Ausrichtung

Lernfabriken sind Lernumgebungen, die reale Betriebsabläufe in vereinfachter, oftmals abstrahierter Form simulieren. Die didaktischen Konzepte stehen im Mittelpunkt jeder Lernfabrik, um ein Lernen mit praktischen Erfahrungen zu gewährleisten. Für jede Lernfabrik wird ein spezifisches didaktisches Konzept entwickelt, um unterschiedliche Zielgruppen adressieren zu können. So sind Lernfabriken an Hochschulen folglich in erster Linie auf die Studierenden, aber auch auf die Bedürfnisse des akademischen Personals zugeschnitten (vgl. IG Metall 2018). Dagegen konzentrieren sich Lernfabriken an Berufs- und Fachschulen auf Auszubildende und auf die

Facharbeitsebene mit einem Lernen in beruflichen Handlungssituationen. Die sich daraus ergebenden Lern- und Kompetenzziele sind curricular in den entsprechenden Lernfeldern der jeweiligen Ausbildungsberufe für den berufsschulischen Teil verankert (im zweiten Medienpaket zu den Lernfabriken werden exemplarische Umsetzungen vorgestellt).

Das Ziel einer Lernfabrik im Kontext von Industrie 4.0 ist es, die Lernenden zum kompetenten Arbeitshandeln in komplexen Zusammenhängen zu befähigen sowie arbeitsprozessbezogene Aufgaben mit einem Denken und Agieren in einer vernetzten Produktion zu simulieren (vgl. Windelband/Faßhauer 2016). Dafür müssen geeignete Lehr- und Lernumgebungen geschaffen werden und ein didaktisches Konzept zur Wissensvermittlung muss bestehen. Um dies zu gewährleisten sind die folgenden didaktischen Kriterien zu beachten (Zinn 2014, 23):

- Problemorientierte Lehr- und Lernprozesse gestalten sich aus konkreten beruflichen Situationen.
- Problemlösungsfähigkeit muss in erfahrungsgeleiteten Arbeitssituationen entwickelt werden können.
- Arbeitsorganisation und Umgang mit Planungsstrategien werden zu Lernprinzipien
- Selbstorganisation und selbstverantwortliches Gruppenlernen bilden den Kerngedanken einer handlungsorientierten Lernumgebung.

4.2 Didaktische Bezugsebenen von Lernfabriken

Zur Beschreibung der generellen didaktisch-methodischen Ausrichtung kann ein drei-Ebenen-Modell herangezogen werden.

- a) die Ebene der Lernfabrik als Ganze,
- b) die Ebene einzelner Lernmodule sowie
- c) die Ebene der konkreten Lernsituation.

Auf diesen Ebenen können sowohl die Struktur und die Rahmenbedingungen der Lernfabrik, die generelle Ausrichtung und Einordnung der Lernmodule, als auch die ganz konkreten Umsetzung der Lernsituation mit den spezifischen Zielstellungen abgebildet werden. Daher bestehen über die allgemeine Handlungs- und Problemorientierung hinaus keine einheitlichen didaktischen Konzeptionen für Lernfabriken. Sie sind vielmehr nach Ausrichtung, Zielstellung und Zielgruppe unterschieden (Ausbildungsberufe, Jahrgänge, Lernfelder, berufsübergreifende Konzepte uvm. Ausführlich im Medienpaket 1.2 Lernfabriken, Anwendungen).

(a) Die **Lernfabrik-Ebene** fokussiert nach Tisch (vgl. 2018, 74) die sozio-technische Lernfabrikinfrastruktur, einschließlich des Produktions- und Logistikumfeldes, der Bearbeitungsprozesse, der Vernetzung der Produktionsschritte mit den relevanten Daten- und Schnittstellenpunkten innerhalb der Prozesskette, dem zu erstellenden Produkt sowie die Rolle und Aufgaben der Mitarbeiter:innen. Hinzu kommt der inhaltliche Rahmen des zu gestaltenden Lernfabrikprogramms mit der Verknüpfung von des ERP- und MES-System sowie ein grundlegendes didaktisches Konzept: Handelt es sich bei der Lernfabrik bspw. um eine Demonstrationsanlage, dient sie zur Prozessoptimierung oder fokussiert sie berufliche Fragestellungen für die Mitarbeiter:innen der shop-floor-Ebene?

(b) Auf der **Lernmodul-Ebene** steht die Gestaltung des Lernmoduls im Mittelpunkt. Innerhalb der Lernumgebung einer Lernfabrik sind häufig unterschiedliche Lernmodule integriert. Diese können miteinander verknüpft sein, oder in der thematischen Ausrichtung bzw. hinsichtlich bestimmter Zielgruppen unabhängig voneinander gestaltet sein. Die Gestaltung eines Lernmoduls umfasst neben einer Sequenzierung der Lernprozesse und -situationen auch die Planung der Veränderbarkeiten in der sozio-technischen Infrastruktur der Lernfabrik (vgl. Tisch 2018, 75). Die Themenauswahl bei den Lernfabriken ist dabei sehr unterschiedlich: von Materialflussauslegung und -optimierung (Lernfabrik Technische Universität Darmstadt: <https://www.prozesslernfabrik.de/>), Akteure 4.0: Planspiel für die digitale Zukunft (Future Work Lab in Stuttgart: <https://futureworklab.de/>) oder Ressourceneffizienz in der Lean Production (Ruhr Universität Bochum: <https://www.lps.ruhr-uni-bochum.de/lernfabrik/index.html>). Die Themenangebote an den Hochschulen fokussieren oftmals ingenieurwissenschaftliche Aspekte. In Zeiten der zunehmenden Digitalisierung der Arbeitswelt und der damit einhergehenden Vernetzung ganzer Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette, sind nicht nur die Fertigungs- und Produktionsabläufe von Bedeutung bei der Themenauswahl, sondern auch Bereiche der Betriebswirtschaft, der Fabrikplanung und der Intralogistik, des Managements und der Organisation von Arbeit. Dabei erweitern sich die Themen für die Lernmodule um arbeitspolitische Aspekte wie die Mitbestimmung oder die lernförderliche Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.

(c) Die **Lernsituations-Ebene** fokussiert die konkreten Lehr-Lernprozesse, die auf der übergeordneten Ebene Teil des Lernmoduls ist. Hier sind die jeweiligen Lernziele und Kompetenzen festzulegen. Viele der Lernfabriken sind modular aufgebaut, so dass der Wertschöpfungsprozess (oftmals als Produktionsprozess) in mehreren Stufen

gegliedert ist, z. B. in Form einer Bearbeitung von Produktionsschritten und einer Montageeinheit mit integrierten Funktionen der Logistik und der Qualitätssicherung. Der modulare Aufbau in der Ausstattung ermöglicht Formen der Optimierungen, sodass die Lernenden konkrete Verbesserungen in den Prozessketten nicht nur aufzeigen, sondern auch aktiv umsetzen können. Damit kann das theoretische Wissen direkt in einem „echten“ Produktions- und Logistikumfeld angewandt werden und zu neuen Fragestellungen führen. Für die neu entstandenen Fragestellungen muss wiederum theoretisches Wissen angeeignet und überprüft werden (vgl. Wannöffel/ Bianchi-Weinand 2018).

In Bezug auf Hochschulen eröffnen Lernfabriken somit eine neue Form der Wissenschafts- und Erfahrungsorientierung, bei der kognitive und konstruktivistische lerntheoretische Ansätze berufliche Handlungskompetenz fördern können (vgl. ebd.). Damit kann eine Lernsituation sowohl einen erforschenden, experimentellen, systematisierenden, reflektierenden oder auch problemlösenden Charakter haben. In Lernfabriken werden damit praxis- und handlungsorientierte Ansätze, die vor allem aus der beruflichen Bildung stammen, in akademische Lernformen integriert. Der Wissens- und Kompetenzerwerb erfolgt in Lernfabriken oft in einem vom Lernenden aktiv-aufbauenden Prozess, kann jedoch auch instruierend per Einweisung erfolgen. Die Lerngegenstände stehen in einem konkreten Situationsbezug und orientieren sich an realen beruflichen Aufgabenstellungen. Die Lernenden können ihre Lernprozesse je nach Zielrichtung teilweise sehr selbstorganisiert durchlaufen. Zu den übergeordneten Lernzielen in der Lernfabrik gehören selbständiges Planen sowie Durchführen und Kontrollieren von Arbeitstätigkeiten. Die Lernsituationen umfassen somit wesentliche Elemente einer handlungsorientierten Qualifizierung wie Arbeits- und Geschäftsprozessorientierung, die Reflexion von Theorie und Praxis, Wissenschafts- und Erfahrungsorientierung (vgl. Wannöffel/Bianchi-Weinand 2018). Weitere Elemente für die Gestaltung von Lernsituationen sind die eingesetzten Lernmethoden (u. a. Planspiel, Projekt, Demonstration, Instruktion, Fehlerdiagnose, Fertigungsaufgabe), die eingesetzten Lernmaterialien (vom Arbeitsblatt bis zu einem VR-Rundgang durch die Anlage), die verwendeten Lernmedien (digitale und vernetzte Medien zur Simulation, Visualisierung, Kommunikation und Kollaboration) sowie das Ergebnis als Lernprodukt (von einem Grundverständnis für Industrie 4.0 aufbauend bis zu konkreten Instandhaltungsaktivitäten für eine bestimmte Berufsgruppe an der Anlage). Daraus lassen sich didaktisch-methodische Gestaltungskriterien für die Lernfabriken ableiten (Abbildung 9):



Abbildung 9 Didaktisch-methodische Gestaltungskriterien für Lernfabriken

Lernerfolgssicherung:

1. Wie können diese Lehr-Lernumgebungen sicherstellen, das intendierte Ziel von Lernfabriken zu erreichen?
2. Welche Ebenen bzw. der didaktisch-methodischen Ausrichtung lassen sich in einer Lernfabrik beschreiben?
3. Welche Zielstellungen haben die einzelnen Ebenen?
4. Welche didaktisch-methodische Gestaltungsmöglichkeiten gibt es in dem Kontext Lernfabrik?
5. Welche Gestaltungsmöglichkeiten sind realistisch oder sinnvoll?
6. Welche Ausprägungen der Gestaltungskriterien sollte man in seinem methodisch-didaktischen Konzept mitdenken, wenn es sich um Lern- oder Forschungszwecke handelt?

4.3 Lernfabriken an beruflichen Schulen

Lernfabriken an beruflichen Schulen gibt es in einer Reihe von Bundesländern, auch wenn dort z.T. andere Begrifflichkeiten genutzt werden. Für dieses Medienpaket wurden zwei Beispiele aus Baden-Württemberg ausgewählt. Im ergänzenden Medienpaket zu Anwendungen von Lernfabriken werden weitere Beispiele aus Baden-Württemberg aber auch Bayern und Niedersachsen vorgestellt und bearbeitet:

Niedersachsen:

Berufliche Schule Osnabrück Brinkstraße

<https://bbs-os-brinkstr.de/die-schule/innovative-projekte/excellence-initiative-industrie-40/>

Bayern:

Berufsschule Nürnberg 2 und Berufsschule Nürnberg 4

Berufliches Schulzentrum Kronach

<https://www.bs-kronach.de/index.php?id=276>

Berufliches Schulzentrum Amberg

<https://www.bszam.de/482/auf-dem-weg-zur-schule-4-0-1973.html>

Baden-Württemberg:

BSZ Bietigheim-Bissingen

<https://www.lernfabrik-bietigheim.de/>

Technische Schule Aalen

<http://industrie40.ts-aalen.de/>

Übersicht auf 16 bestehende und 21 weitere, die derzeit im Aufbau sind:

<https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/innovation/schluesselfeldtechnologien/industrie-40/lernfabrik-40/>



Insbesondere im Überschneidungsbereich von technischen und kaufmännischen Themen im Kontext von Industrie 4.0 können einige „best practice“ Fälle benannt werden (vgl. Faßhauer/Wilbers/Windelband 2021).

Im Unterschied zu Hochschulen sind die Lernfabriken an beruflichen Schulen allein zur Aus- und Weiterbildung von Fachkräften der shop-floor-Ebene konzipiert. In beruflichen Schulen steht das Ziel im Vordergrund, Auszubildenden und Fachschüler:innen den

Erwerb bzw. die Vertiefung beruflicher Handlungskompetenz zu ermöglichen. Deshalb sind alle Lernfabriken an berufsbildenden Schulen problem- und handlungsorientiert aufgebaut sowie inhaltlich an entsprechenden Lernfeldern der Rahmenlehrpläne ausgerichtet.

Lernfabriken bieten hier großes Potenzial, da sehr arbeitsprozessorientiert und nah an der realen beruflichen Praxis ausgebildet werden kann. Dies gelingt vor allem dann, wenn die Lernfabrik den aktuellen Entwicklungsstand der Praxis abbildet, d. h. die Anlage auf dem aktuellen Stand der Technik ist. Gleichzeitig müssen berufliche Handlungssituationen an der Anlage umsetzbar sein. Vom Einbau eines Sensors in die Anlage bis zur konkreten vorausschauenden Wartung bspw. können berufliche Handlungssituationen abbildbar und veränderbar gestaltet sein.

Durch die aktuellen Entwicklungen im Kontext von Industrie 4.0 nimmt die Komplexität und die Vernetzung innerhalb der Anlagen stetig zu, weshalb analytische Fähigkeiten für die gewerblich-technischen Berufe weiter an Bedeutung gewinnen (vgl. Zinke et al. 2017; bayme vbm 2016). Diese komplexen Wirkzusammenhänge entlang der gesamten Wertschöpfungskette sind gedanklich nicht einfach zu erfassen. Deshalb ist eine Lernumgebung notwendig, die selbige möglichst exakt wiedergibt um effektiv ausbilden zu können (vgl. Lütjens 2006, 3). Die derzeit eingeführten Lernfabriken bieten zusätzlich zu den „typischen“ Industrie 4.0 Inhalten die Möglichkeit, ein vertieftes Verständnis der Zusammenhänge innerhalb der Wertschöpfungskette zu erhalten. Da in einer Lernfabrik der gesamte Wertschöpfungsprozess und damit die gesamte Auftragsabwicklung von der Bestellung eines Produktes, der Planungsablauf, der Bestellung der notwendigen Materialien, der Materialzuführung, den Produktions- und Bearbeitungsschritten bis hin zur Qualitätskontrolle und der Auslieferung des Produktes (zum Kunden) abgebildet werden kann (screencast zur Abbildung 1).

Dabei verwaltet das Enterprise Resource Planning System (ERP) die gesamte Fabrik und das Manufacturing Execution System (MES) regelt die Produktionsabläufe. Ziel ist es, durch ein problemorientiertes Handeln möglichst prozessorientiert und damit nah an den tatsächlichen Arbeits- und Geschäftsprozessen zu lernen. Aspekte der Vernetzung und ein Denken in vernetzten Systemen können damit eng verknüpft werden. Besonders das weitere Zusammenwachsen von informationstechnischen mit den klassischen Produktionsprozessen kann hier an realen Aufgabenstellungen thematisiert werden. Darüber hinaus werden ein selbständiges und kontinuierliches Lernen, informelle Kompetenzen in abstraktestem Denken und Kommunikation sowie

Problemlösefähigkeit als wichtige Fähigkeiten in einer Arbeitswelt 4.0 in der Lernfabrik gefördert.

Da die Thematik Industrie 4.0 speziell in den gewerblich-technischen Berufen verankert ist, dienen Lernfabriken an beruflichen Schulen vielen klein- und mittelständischen Unternehmen auch als Weiterbildungsmöglichkeit.

Eine Vernetzung mit weiteren Berufsgruppen, insbesondere kaufmännischen Berufen, zeichnet sich zunehmend als künftige Aufgabe für die didaktischen Konzeptionen von Lernfabriken in der beruflichen Aus- und Weiterbildung ab. Dies wird vor allem an der Schnittstelle zwischen dem Manufacturing Execution System (MES) und dem Enterprise Resource Planning (ERP) deutlich. Hier bestehen jedoch didaktische Herausforderungen, um eine engere Verknüpfung in den Lernsettings zu erreichen. Die Verknüpfungen zwischen kaufmännischen und gewerblich-technischen Berufen darf sich nicht nur auf die Weiterleitung von Daten und Informationen zwischen dem ERP- und MES-System beschränken, sondern es sollte ein Gesamtverständnis über den Geschäftsprozess, also ein umfassendes Prozessverständnis, entwickelt werden, wie auch unterschiedliche Studien im Kontext der Entwicklungen von Industrie 4.0 für die Berufsbildung fordern (vgl. Zinke et al. 2017; Pfeiffer et al. 2016; Ittermann/ Niehaus 2018; bayme vbm 2016). Dieser berufs- und domänenübergreifende Aspekt wird im Anwendungspaket „Lernfabrik-2“ weiter ausgeführt. Die Integration technik- und wirtschaftsdidaktischer Aspekte im Rahmen der Berufsausbildung wird im Wissenspaket „Didaktik 4.0“ genauer dargestellt und diskutiert werden.

Im folgenden Abschnitt wird exemplarisch das didaktische Konzept einer Lernfabrik beschrieben, die an einer beruflichen Schule Teil der Aus- und Weiterbildung ist.

Beispiel Technische Schule Aalen: Smart Factory

Als Beispiel eines didaktischen Konzepts wird hier die Smart Factory 4.0 der TS Aalen aufgeführt (<http://industrie40.ts-aalen.de/>). Die Cyber-Physical-Factory (CPF) der Technischen Schule Aalen bildet die sechs großen Technologiefelder von Industrie 4.0 in einer realen Anlage ab: Agile Produktentwicklung, flexible Fertigung, Manufacturing Execution System, Wartung und Instandhaltung, Energiemanagement und Datensicherheit. In dem aus 17 Modulen bestehenden, durchgängig vernetzten Maschinensystem können die relevanten Industrie 4.0-Inhalte geschult und ausgebildet werden. Den Kern der CPF bilden flexibel kombinierbare Basismodule, auf die unterschiedliche Applikationsmodule aufgesetzt werden können. Durch die Anbindung an ein MES-System (Manufacturing Execution System) setzt jedes Modul eine

serviceorientierte Architektur (SOA) um (vgl. Hörner 2018, 34). Die Inhalte zu „Industrie 4.0“ werden in einem dreistufigen didaktischen Konzept realisiert (vgl. ebd.):

- In der Stufe „Grundlagenausbildung“ werden die Grundlagen der Steuerungs-, Regelungs- und Automatisierungstechnik an vorhandener Ausstattung wie Bandmodelle, pneumatische Laborplatten, Füllstandstrecke, MPS-Stationen (Modulare Produktions-Systeme) erlernt. Sämtliche Unterrichtsbeispiele werden auf den Focus „SmartFactory“ angepasst.
- In der Stufe „Cyber-Physical-Lab (CP-Lab)“ werden die erlernten Grundlagen nun um klassische Industrie 4.0-Inhalte erweitert. Um den größtmöglichen Praxisbezug gewährleisten zu können, greift das CP-Lab mehrere Elemente der Cyber-Physical-Factory auf. Hierzu gehören u. a. die Open User Communication (OUC), die Vernetzung über Ethernet, Identifikationstechnologien wie RFID oder QR-Codes, SOA-Techniken und deren Kommunikationsarchitektur sowie die Anbindung an ein einfaches MES und Datenbanksystem. Mittels CP-Lab werden auch die Szenarien der Handreichungen für Baden-Württemberg (Löhr-Zeidler/Hörner/Heer 2016) „Flexible Fertigung“, „MES/ERP“, „Service und Instandhaltung“, „Energiemanagement“ und „Vernetzung und IT-Security“ umgesetzt.
- Die Stufe „Cyber-Physical-Factory (CP-Factory)“ verknüpft alle bisher erlernten Inhalte ganzheitlich in der Industrie-4.0-Lernfabrik. Die Handhabung mittels eines modernen MES-Systems rundet den Gesamtprozess ab. Hier werden alle bisher erlernten Inhalte ganzheitlich angewendet und trainiert und somit nachhaltig vertieft. Alle erlernten Hard- und Softwarekompetenzen werden hier zum Einsatz gebracht.

Gerade der Einsatz der Grundlagenlabormodelle CP-Lab im Laborunterricht bringt nach Aussage von Hörner (2018, 34) einen hohen Gewinn für die Schülerinnen und Schüler, „da diese sämtliche relevante I4.0-Inhalte an einem einfachen und überschaubaren Modell erlernen können, ohne sich jedes Mal komplett neu in eine andere Problemstellung einarbeiten zu müssen. Die I4.0-Inhalte kann man damit perfekt modular aufeinander aufbauend im Unterricht umsetzen. Quasi kommt ein ‚Legobaustein‘ auf den anderen, bis am Ende der Ausbildung das Modell als in sich funktionierendes Cyber-Physisches-System arbeitet.“

Über alle drei Stufen aller Bildungsgänge hinweg werden die Inhalte „Industrie 4.0“ modular und objektorientiert aufgebaut, um modulare und flexible Fertigungssysteme realisieren zu können. Dadurch kann die Lernfabrik jederzeit flexibel angepasst, erweitert und auch für zukünftige Produkte und Technologien offengehalten werden.

Dies ist besonders wichtig, da die Entwicklungen zu Industrie 4.0 erst am Beginn sind und sich noch ständig weiterentwickeln werden (Windelband 2019, 40).

Lernerfolgssicherung:

1. Was bedeutet Problemorientierung und Handlungsorientierung im Kontext Lernfabrik?
2. Wie unterscheiden sich Lernfabriken, die in beruflichen Schulen eingesetzt werden zu denen, die in Unternehmen und an Hochschulen integriert sind?
3. Wie unterscheiden sich Zielgruppen und Einsatzgebiete?

5 Ausblick

Lernfabriken haben sich im Bereich der Aus-, Fort- und Weiterbildung als aussichtsreichen Lernort in der praxisnahen Ausbildung an Beruflichen Schulen und Hochschulen etabliert. Auch im Forschungsbereich konnten sie sich als innovativ erweisen. Durch das realitätsnahe Fabrikumfeld sowie ihre industriellen Standards im Bereich der Produktionstechnologie und Automatisierungstechnik, können qualifizierte Facharbeiter auf die zukünftigen Arbeitstechnologien aus- und weitergebildet werden. Berufliche Schulen bieten die Möglichkeit zusätzliche und konkretere Weiterbildungsmaßnahmen zu den Industrie 4.0 Technologien zu entwickeln. Durch das Lernfabrikkonzept wurde ein Raum erschaffen, in dem Lernende die Möglichkeit haben, sich im industrienahen Arbeitsumfeld Wissen und Können anzueignen. Durch das praxisgestützte Lernen können alte Arbeitsgewohnheiten durch anwendungsbezogenes Wissen und erfahrungsbasiertes Lernen ersetzt werden. Dies hat eine unmittelbare Umsetzung und Verwendbarkeit der gelernten Inhalte zur Folge. Dieser Aspekt wird im anschließenden Teil-2 des Medienpaketes zu Anwendungsaspekten von Lernfabriken vertieft.

Lernerfolgssicherung:

1. Welche Lernanlässe gibt es in einer Lernfabrik?

2. Welche Berufsgruppen können durch eine Lernfabrik als Lerngegenstand profitieren und warum?
3. Warum können Lernfabriken zur Verbesserung des Produktionsprozesses führen?

6 Literaturverzeichnis

- Abele E./Metternich J./Tisch M. (2019): Best Practice Examples. In: Learning Factories. Springer, S. 335-459.
- Abele, E./Metternich, J./Tenberg, R. et al. (2015). Innovative Lernmodule und -fabriken. Validierung und Weiterentwicklung einer neuartigen Wissensplattform für die Produktionsexzellenz von morgen. Darmstadt: TUprints.
- Abele, E. et al. (2016): Learning factories for future oriented research and education in manufacturing, In: CIRP Annals (2016): Manufacturing Technology, p. 803-826.
- Abele, E./Eichhorn, N./Kuhn, S. (2007): Increase of productivity based on capability building in a learning factory. In: Computer integrated manufacturing and high speed machining : pro-ceedings of 11th International Conference on Production Engineering, Zagreb, S. 37-41.
- bayme vbm – Spöttl G., Gorltd C., Windelband L. et al. (2016). Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E-Industrie, München. Online unter: https://www.baymevbm.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2016/Downloads/baymevbm_Studie_Industrie-4-0.pdf (07.12.2020).
- BITKOM (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Online unter: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Industrie-40-Volkswirtschaftliches-Potenzial-fuer-Deutschland.html> (07.12.2020).
- BITO (2020): Individuelle Fertigung bis Losgröße 1 gehört die Zukunft. Online unter: <https://www.bito.com/de-de/fachwissen/artikel/individuelle-fertigung-bis-losgroesse-1-gehoert-die-zukunft/> (07.12.2020).
- Dröge, R.-P./Grund, J./Jurgensen, M./Keppler, M./Vohwinkel, J. (2018): Lernfabrik 4.0 Bietigheim-Bissingen in Baden-Württemberg –Teil 1. In: lernen & lehren, H. 129, 39-43.
- Faßhauer, U./Wilbers, K./Windelband, L. (2021): Lernfabriken - gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven (in Druck) In: Wilbers & Windelband (Hg.): Lernfabriken.
- Hörner, R. (2018): Zum Stand der Umsetzung von „SmartFactory 4.0“ – Ein Beispiel. In: lernen & lehren, H. 129, 33-35.
- IG Metall (2018): Industrie 4.0 gestalten lernen. Online unter: https://rubigm.ruhr-uni-bochum.de/forschung/2018-06-27_Lernfabriken-Industrie%204.0_finale%20Version-1.pdf (07.12.2020).
- Ittermann, P./Niehaus, J. (2018): Industrie 4.0 und Wandel von Industriearbeit. In: Hirsch-Kreinsen, H./Ittermann P./Niehaus, J. (Hrsg): Digitalisierung industrieller Arbeit. Berlin, S 34-60.
- KUKA (2020): URL: <https://www.kuka.com/de-de/future-production/mensch-roboter-kollaboration>. (07.12.2020)
- Lamancusa, J./Zayas, J. L./Soyster, A. L./Morell, L./Jorgensen, J. (2008): The Learning Factory: Industry-Partnered Active Learning. In: Journal of Engineering Education. 97, S. 5-11.
- Löhr-Zeidler, B./Hörner, R./Heer, J. (2016): Handlungsempfehlungen Industrie 4.0 Umsetzungshilfen für Lehrerinnen und Lehrer der beruflichen Schulen. In: berufsbildung, 70. Jg., H.159, 11-14.
- Lütjens, J. (2006): Das Konzept einer Lernfabrik. In: bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online, Ausgabe 10, 1-15. Online unter: http://www.bwpat.de/ausgabe10/luetjens_bwpat10.pdf (07.12.2020).
- Pfeiffer S./Lee H./Zirnic C./Suphan, A. (2016): Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025. Hrsg.: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, Frankfurt. Online unter: <http://arbeitsmarkt.vdma.org/documents/7974667/7986911/VDMA-Studie%20Qualifizierung%202025/f88fce03-d94e-46cb-a60f-54329236b2b7> (07.12.2020).
- Prozesslernfabrik (2020): Geschichte der Prozesslernfabrik CiP am PTW. Online unter: <https://www.prozesslernfabrik.de/ueberblick/geschichte> (07.12.2020).

- Regber, H. (2018): Lernfabriken: Kompetenzen für Industrie 4.0 entwickeln. In: Die berufsbildende Schule 70. Jg., 27-30.
- Steffen, M./Deus, J./Frye, S. (2013): Vielfalt Lernfabrik. In: wt Werkstatttechnik online, Jg.: 103, H. 3, 233-239.
- Tisch, M. (2018): Modellbasierte Methodik zur kompetenzorientierten Gestaltung von Lernfabriken für die schlanke Produktion. TU-Darmstadt (Dissertation). Aachen (Shaker)
- Wannöffel, M./Bianchi-Weinand, A. (2018): Lernfabriken an Hochschulen. In: Berufsbildung / 72. Jg., H. 169, 6-7.
- Wilbers, K. (2017): Industrie 4.0 und Wirtschaft 4.0: Eine Chance für die kaufmännische Berufsbildung. In: Wilbers, K. (Hrsg.): Industrie 4.0: Herausforderung für die kaufmännische Berufsbildung. Berlin: Epubli.
- Wilbers, K. (2020). Wirtschaftsunterricht gestalten (5. Aufl.). Berlin: Epubli.
- Windelband, L. (2019): Berufsschulen in Baden-Württemberg auf den Weg zur Berufsbildung 4.0 – eine Zwischenbilanz. In: Vollmer, T./Jaschke, S. /Hartmann, M./Mahrin, B./Neustock, U. (Hrsg.): Gewerblich-technische Berufsbildung und Digitalisierung. Praxiszugänge Unterricht und Beruflichkeit. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, 31-44.
- Windelband, L./Faßhauer, U. (2016): Industrie 4.0 als Herausforderung für die regionale Berufsschulentwicklung. In: Berufsbildung / 70. Jg., H. 159, 23-25.
- Zinke, G. (2019): Berufsbildung 4.0 - Fachkräftequalifikationen und Kompetenzen für die digitalisierte Arbeit von morgen: Branchen- und Berufescreening. Bonn: Wissenschaftliche Diskussionspapiere. Heft 213.
- Zinke G./Renger P./Feirer S./Padur, T. (2017). Berufsausbildung und Digitalisierung – ein Beispiel aus der Automobilindustrie. Hrsg.: Bundesinstitut für Berufsbildung Reihe Wissenschaftliche Diskussionspapiere, Heft 186, Bonn. Online unter: <https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/show/8329> (07.12.2020)
- Zinn, B. (2014): Lernen in aufwendigen technischen Real-Lernumgebungen – eine Bestandsaufnahme zu berufsschulischen Lernfabriken. In: Die berufsbildende Schule 66. Jg., 23-26.
- Zülch, G./Badra, H./Steininger, P. (2003): LIVE-Fab – CNC-Programmierung und Montageplanung in einer virtuellen Lernfabrik. Konzepte, Grundlagen, Technik Anwendung. In: Kerres, M./Voß, B. (Hrsg.): Digitaler Campus: Vom Medienprojekt zur nachhaltigen Mediennutzung auf dem Digitalen Campus. Münster; New York; München; Berlin: Waxmann, S. 282-291.