

**MARIA HULLA, PATRICK HERSTÄTTER,
HARALD BURGSTEINER, DANIELA MOSER,
CHRISTIAN RAMSAUER**

Design von Trainings in Lernfabriken und Makerspaces für KMUs in der digitalen Transformation

Abstract

Manufacturing companies are currently facing challenges such as increasing volatility, shorter innovation cycles and the consequences of Covid-19. Digitalization offers opportunities to turn these challenges into opportunities. Small and medium-sized enterprises in particular have problems exploiting the potential of digital transformation. One of the main reasons for this is the lack of qualifications and skills on the part of the workforce. Learning factories and makerspaces offer effective hands-on learning environments to provide students, apprentices and workers with the competencies needed along the value chain in digitalization. In a literature review, no process model was found on how to design makerspaces as learning environments and the associated trainings, whereas learning factories already have approaches for this. The aim of this paper is to design a process model for the development of trainings for SMEs in digital transformation in learning factories and makerspaces.

Keywords

Learning factories, Makerspaces, Digitalization, digital Transformation.

Einleitung

Industrieunternehmen, vor allem Klein- und Mittelunternehmen (KMUs), sind derzeit mit Herausforderungen wie der Globalisierung, Ressourcenknappheit, kontinuierlichen Veränderungen des Marktes sowie immer schnelleren Innovationszyklen konfrontiert. Marktseitig ist darüber hinaus eine steigende Nachfrage nach kundenindividuellen Produkten zu erkennen, welche unter globalem Wettbewerbs- sowie Preisdruck wirtschaftlich gefertigt und abgesetzt werden müssen. Die steigende Dynamik und Volatilität im Geschäftsumfeld führt zu steigender Unsicherheit, was bedeutet, dass Marktentwicklungen immer

schwieriger vorhergesagt werden können (Erol, Jäger, Hold, Ott & Sihm 2016, S. 13-14; Pelletier & Cloutier, 2019, S. 4967 ff.). Für die Produktion der Zukunft ist es essenziell, kleine Losgrößen wirtschaftlich und flexibel produzieren zu können. Eine schnelle Anpassungsfähigkeit von Unternehmen an sich ändernde Marktbedingungen wirkt sich positiv auf deren Wettbewerbsfähigkeit und Profitabilität aus. Dies kann durch das Konzept der Agilität erreicht werden (Ramsauer & Rabitsch, 2016, S. 64-66).

Eine Chance, den Herausforderungen begegnen zu können und agiler zu sein, kann durch den Einsatz von Digitalisierung (Einsatz von digitalen Technologien) gewährleistet werden. Künftige Produktionssysteme werden voraussichtlich durch kleine digitalisierte, dezentrale Elemente gekennzeichnet sein, die autonom agieren können und somit in der Lage sind, ihren Betrieb nach externen Vorgaben zu steuern. In diesem Produktionsnetzwerk werden Produkte und Materialien über den gesamten Lebenszyklus eindeutig identifizierbar und lokalisierbar sein (Tvenge & Martinsen, 2018, S. 261-263). Auf der einen Seite führt die digitale Transformation zu einer erhöhten organisatorischen und technologischen Komplexität der Fertigung. Auf der anderen Seite birgt die Digitalisierung unzählige Vorteile wie höhere Qualität und Produktivität, Individualisierung der Produkte und reduzierte Kosten. Fertigungssysteme werden immer intelligenter und besser, mit hoher Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Umgebungen, erhöhter Ressourceneffizienz sowie der Integration von Technologie und Mensch (vgl. Stock & Seliger, 2016). Der Mensch ist dabei ein strukturbestimmender Faktor mit eigenen Kompetenzprofilen und Anforderungen an die Arbeitsorganisation. Dies muss für eine erfolgreiche, wandlungsfähige Ausrichtung der Unternehmen im Zeitalter von Industrie 4.0 mitberücksichtigt werden (Lanza, Nyhuis, Fisel, Jacob, Nielsen, Schmidt & Stricker 2018, S. 2-4). Insgesamt stellt damit der Mensch in der Zukunft einen zentralen Faktor für produzierende Unternehmen dar. In KMUs müssen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Regel mehrere verschiedene und komplexe Aufgaben erfüllen. Vor allem für KMUs bietet die Digitalisierung eine Vielzahl an Möglichkeiten, wie beispielsweise eine kürzere Durchlaufzeit, verbesserte Berücksichtigung von Kundenbedürfnissen sowie schnellere Innovationszyklen (Lindner, 2019, S. 5-9). Darüber hinaus spielt sie eine große Rolle bei der Erkennung aber auch Bewältigung von Volatilität (Ramsauer, Kayser & Schmitz, 2017, S. 230). Die Digitalisierung ist vor allem in größeren Unternehmen fortgeschritten, während KMUs diesbezüglich noch Aufholbedarf haben. Bei einer 2017 durchgeführten Studie der Unternehmensberatung Arthur D. Little in Zusammenarbeit mit der österreichischen Wirtschaftskammer wurde ermittelt, dass ein Großteil der befragten österreichischen KMUs über alle Branchen und Bundesländer hinweg sich im Bereich „Digitaler Neuling“ oder „Digital bewusst“ befindet (Arthur D. Little, 2017, S. 10). Auch eine weitere Studie bestätigt dieses Ergebnis und weist 32 % der KMUs als „digitale Nachzügler“ aus (vgl. KfW Bankengruppe, 2017).

Mit den Potenzialen und Herausforderungen von Industrieunternehmen, die mit der fortschreitenden Digitalisierung einhergehen, verändern sich auch die Kompetenzen, die in einer Fabrik der Zukunft notwendig sind. Brancheneinblicke und Forschungsergebnisse deuten auf eine Veränderung von Fokus und Inhalt der Bildungsinstitutionen hin (vgl. Tisch, Hertle, Abele, Metternich & Tenberg, 2016). In der Literatur werden im Zusammenhang mit Digitalisierung Kompetenzen beschrieben, die der Arbeiter und die Arbeiterin der Zukunft haben sollten, wobei vor allem Kreativität, Flexibilität, Agilität, Innovationsfähigkeit, der Austausch in Netzwerken, Arbeiten im Team sowie Informations- und Kommunikationstechnologie-Kompetenzen genannt werden (Grzybowska & Lupika, 2017, S. 250). Zu den häufigsten Nennungen an Anforderungen in Stellenausschreibungen für Jobs mit Digitalisierungsbezug in der Steiermark zählen die Identifikation, Ausarbeitung und Implementierung von Industrie-4.0-Lösungen, die Unterstützung bei der Umsetzung von Digitalisierungslösungen sowie die Evaluierung zukünftiger Technologien und deren Anwendbarkeit.¹

Insbesondere KMUs haben Mühe, die Vorteile dieser vierten industriellen Revolution zu erkennen und die Potentiale zu nutzen. Die KMUs müssen sich weiter digital transformieren, um von der Digitalisierung zu profitieren (Lindner, 2019, S. 15). Dabei stellen gerade fehlendes Knowhow und fehlende Informationen zur Digitalisierung die größten Herausforderungen für die KMUs dar (Arthur D. Little, 2017, S. 14). Bei einer Umfrage war auf die Frage, welche Faktoren Unternehmen in ihrem Fortschritt hinsichtlich der Digitalisierung behindern, der „Mangel an Kenntnissen der Mitarbeiter“ mit 67 % die häufigste Antwort (KfW Bankengruppe, 2016, S. 51). Als weitere Faktoren für verlangsamte digitale Entwicklung wurden genannt: „Veränderung der Organisation des Unternehmens und seiner Arbeit“ (57 %), „Mangel an IT-Spezialisten“ (55 %) und „Mangel an verfügbaren Informationen über mögliche Anwendungen/Nutzen“ – was ebenfalls unter den Begriff „Fähigkeiten und Organisation“ fällt. Diese Nennungen unterstreichen, wie wichtig organisatorische und fachliche Faktoren für die meisten KMUs in Hinblick auf Digitalisierung sind (ebd.). Aufgrund begrenzter Kenntnisse über deren Nutzen bleiben Unternehmen oft von einem niedrigen Datenqualitätsniveau und von einer heterogenen Datenlandschaft geprägt.

Das Ergebnis einer Studie der Industriellenvereinigung mit dem Titel „MINT-Stellenerhebung“ war, dass 57 % der befragten Unternehmen große Probleme und 35 % geringe Probleme haben, für Technik und Produktion geeignetes Personal zu rekrutieren. Bis 2022 müssten 20 % mehr ausgebildete Technikerinnen und Techniker als „Innovationsnachwuchs“ zur Verfügung stehen, um den digitalen Fortschritt zu sichern und den Fachkräftemangel zu entschärfen (Binder, Thaler, Unger, Ecker, Mathä & Zaussinger, 2017, S. 19). Lernfabriken wie z. B. die LEAD Factory des Institutes für Innovation und Industrie Management der Technischen

¹ Analyse von 21 Stellenbeschreibungen auf den Jobplattformen karriere.at, stepstone und jobs.derstandard.at

Universität Graz bieten praxisnahe Schulungen an, in denen sowohl Prozessverbesserungen als auch Modifikationen im Produktionsprozess sicher getestet werden können. Die Lernfabrik selbst stellt ein Modell eines Produktionssystems dar, das den Trainingsteilnehmerinnen und Trainingsteilnehmern die Möglichkeit bietet, Prozessverbesserungen umzusetzen und die Ergebnisse dieser Veränderungen unmittelbar zu erleben. Durch zahlreiche Publikationen wurde die Effektivität des Hands-on Lehrkonzepts der Lernfabriken bestätigt (Abele, Chryssolouris, Sihn, Metternich, ElMaraghy, H., Seliger, Sivard, ElMaraghy, W., Hummel, Tisch & Seifermann, 2017, S. 803 ff.). Die didaktischen Zielsetzungen dieser Lernumgebung bestehen darin, dass die Schulungsteilnehmer/innen ermutigt werden, das Digitalisierungspotenzial ihres Unternehmens zu identifizieren und zu bewerten, geeignete Digitalisierungslösungen zu wählen und deren Auswirkungen schließlich auch erfahren können.

Während bei Lernfabriken Produktionsumgebungen bereits existierender Produkte im Fokus stehen, bieten Makerspaces die Möglichkeit, bereits in den vorherigen Phasen des Produktlebenszyklus einzugreifen und konkrete Themenstellungen von der Produktentwicklung bis hin zur Produktion abzudecken. Ein Makerspace bietet mit seinen Einrichtungen und Maschinen die ideale Lernumgebung für Innovationsmethoden, Produktentwicklung und Rapid Prototyping sowie den Einsatz digitaler Technologien. Vor allem der unkomplizierte Zugang zu neuen Prototypen- und Fertigungseinrichtungen bietet hier entsprechenden Mehrwert und ermöglicht es, neues Wissen und neue Fertigkeiten zu erlernen (Blackley, Sheffield, Maynard, Koul & Walker, 2017, S. 22-24). Gerade hierfür ist es erforderlich, Schulungsteilnehmer/innen mit digitalen Technologien und ihren Potentialen vertraut zu machen. Die Nutzung neuer digitaler Technologien und Methoden bringt etliche Möglichkeiten, aber auch viele Herausforderungen mit sich. Speziell im e-Learning-Bereich müssen Strategien konkret für die Anwender/innengruppe designt und entwickelt werden. Herausforderungen sind unter anderem das Design von Tools, die für den Anwendungsfall und die Anwender/innengruppe geeignet sind, aber auch mehr und mehr die Motivation und die aktive Inklusion von Lernenden.

Zielsetzung und Forschungsfragen

Basierend auf dieser Ausgangssituation hat das Forschungsprojekt „Voladigital“, gefördert durch das Land Steiermark und den Steirischen Zukunftsfonds, unter Mitarbeit der Technischen Universität Graz und der Pädagogischen Hochschule Steiermark folgende Zielsetzungen:

1. aufzuzeigen, welche Herausforderungen KMUs in der heutigen digitalen, volatilen Zeit haben;
2. zu ermitteln, welche Kompetenzen von den (Produktions-)Arbeitskräften künftig gefordert werden;

3. zu evaluieren, wie diese Kompetenzen vermittelt werden können sowie
4. Trainings zur Nutzung digitaler Technologien und Digitalisierungsimplementierungsprojekte zu konzipieren und zu testen.

Dazu wird in dieser Arbeit speziell darauf eingegangen, wie Lernfabriken und Makerspaces sowie deren Trainings designt werden können. Die zentrale Frage lautet demnach:

Wie kann eine Vorgehensweise für das Design von Trainings in Lernfabriken und Makerspaces zum Thema Digitalisierung in KMUs gestaltet sein?

Die Trainings werden für die Schulung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern von KMUs hinsichtlich Digitalisierung erstellt. Nachfolgend werden zunächst die Kompetenzmodelle im Allgemeinen und die Kompetenzvermittlung in KMUs diskutiert und Lernfabriken als Lernumgebungen vorgestellt. Danach werden Vorgehensmodelle zum Design von Lernumgebungen und deren Trainings beschrieben. Basierend darauf wird das entwickelte Vorgehensmodell zur Erstellung von Trainings für KMUs in Lernfabriken und Makerspaces erläutert. Abgerundet wird dieser Beitrag mit einer Conclusio.

Kompetenzmodelle

Der Annahme von Lanza et al. (2018) folgend, sind Kompetenzen der Akteurinnen und Akteure strukturbestimmend für eine volatile Ausrichtung der Unternehmen in der Bewältigung von Aufgaben, die Industrie 4.0 an sie stellt. Ziel des Projektes ist es, einerseits die digitalen und volatilen Herausforderungen von KMUs zu definieren und andererseits die notwendigen, vor allem digitalen Kompetenzen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zu modellieren und entsprechend zu evaluieren. Dazu ist es erforderlich, zunächst ein für diese Arbeit einheitliches Verständnis von Kompetenzen zu gewinnen, um daraus ein für KMUs adäquates Kompetenzmodell zu entwickeln, in dem digitale Kompetenzen fokussiert sind.

Die inflationäre Verwendung des Begriffes „Kompetenz“ stellt ein Dilemma in Hinblick auf die Systematisierung und das Erschließen eines Problemzusammenhanges und auf die Problemdifferenzierung dar. (Moser, 2014, S. 18) Rolf Arnold und Ingeborg Schüßler (2008) differenzieren (1) die Subjektorientierung des Begriffes und grenzen ihn damit vom Begriff der „Qualifikation“ ab, der gesellschaftlich determiniert ist; (2) die Ganzheitlichkeit, weil der Begriff kognitive, wertende und emotional-motivationale Aspekte des Handelns zusammenbringt (Erpenbeck & Heyse, 1996, S. 55); sowie (3) die Selbstorganisation (vgl. Reetz, 1990; Erpenbeck & Heyse, 1996), da betriebliche Aufgabengabenstellungen von den Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern die Übernahme organisatorischer und dispositiver Aufgaben verlangen, die in Richtung eines selbstorganisierten Handelns gehen. (4) Mit dem Begriff „Kompetenz“ sind die Problemlöse- und die Orientierungsfähigkeit verbunden, die es erlauben, in offenen, komplexen und nicht vorhersehbaren Situationen erfolgreich zu sein. (ebd.)

Basierend auf dem oben beschriebenen Kompetenzverständnis sollen sich die Kompetenzen auf die Mitarbeiterin/den Mitarbeiter, also auf den ganzheitlich wahrgenommenen Menschen beziehen. Dabei sollen kontextspezifische Tätigkeiten und Aufgaben beschrieben werden, die sich in Domänen von Industrie 4.0 zusammenfassen lassen.

Die Herausforderung eines Kompetenzmodells besteht in der Definition von Strukturen und in der Charakterisierung von Niveaus. (Klieme & Leutner, 2006, S. 883) Dabei ist zu klären, welche und wie viele verschiedene Kompetenzdimensionen differenzierbar sind und welche konkreten situativen Anforderungen Personen bei welcher Ausprägung einer Kompetenz (Kompetenzniveaus) bewältigen können. Hinsichtlich des Grades der Spezifizierung beschreibt Gessler (2010, S. 54 ff.) drei Kategorien von Kompetenzmodellen, die hier dargestellt werden (siehe Tab. 1).

	Allgemeine Kompetenzmodelle	Unternehmensspezifische Kompetenzmodelle	Domänen-spezifische Kompetenzmodelle
Einteilung	One-Size-fits-all	Multiple-Job-Approach	Single-Job
Spezifikation	unternehmensunspezifisch	mittlere Abstraktionsebene, berufsunspezifisch, eher allgemein formuliert, aber unternehmensspezifisch	mittels Studien werden Arbeitsprozesse analysiert und Kompetenzanforderungen beschrieben, notwendige Kompetenzen im Arbeitsprozess werden erfasst
Beispiel	Kompetenzatlas Heyse & Erpenbeck (2004)	entsteht diskursiv, Beispiel siehe unten	Kompetenzmodell für Elektroniker/in für Automatisierungstechnik (z. B. Link & Geißel, 2015, S. 10)
Entwicklung	Auflistung von allgemeinen Kompetenzen	Beschreibung von Kompetenzen, die im Unternehmen aufgrund aktueller und zukünftiger Anforderungen erforderlich sind, diskursive Entstehung	größer angelegte Erhebungen in Berufsfeldern

Tabelle 1: Kompetenzmodelle (eigene Abbildung).

Allgemeine Kompetenzmodelle (One-Size-fits-all) sind unternehmensunspezifisch konstruiert. Als Beispiel kann hier der Kompetenzatlas von Heyse & Erpenbeck (2004) angeführt werden, der Kompetenzen in vier Hauptdimensionen (personale Kompetenz, sozial-kommunikative Kompetenz, Fach- und Methodenkompetenz, Aktivitäts- und Handlungskompetenz) einteilt und diese in 64 Unterdimensionen weiter differenziert. Die Problematik dieses Modells liegt in der weitgehend

zusammenhanglosen Auswahl und einer unklaren Zuordnung der Teilkompetenzen zu den Hauptdimensionen. Daneben sind die Subdimensionen zum Teil auch überschneidend. Dennoch bietet das Modell einen plausiblen Rahmen zur Einordnung kontextbezogener Kompetenzen.

Unternehmensspezifische Kompetenzmodelle (Multiple-Job-Approach) haben ein mittleres Abstraktionsniveau. Basierend auf abstrakten Dimensionen, wie personale Kompetenz, Sozial- und Fachkompetenz werden diskursiv unternehmensspezifische Leitlinien mit diesen als „Querschnittsdimensionen“ in Zusammenhang gebracht. Der Vorteil dieses Modells liegt in der diskursiven Entstehung, wodurch dem Anspruch an Kompetenzen, nämlich Subjektorientierung, Selbstorganisationsfähigkeit und Ganzheitlichkeit nachgekommen werden kann. Mögliche Risiken dieses Modells liegen in langwierigen und unkontrollierbaren Prozessen der Konsensfindung hinsichtlich der Beschreibungen von Kompetenzen, Domänen und Niveaustufen.

Als die am stärksten spezifizierten Modelle werden domänenspezifische Kompetenzmodelle (Single-Job) beschrieben. Dabei werden Arbeitsprozesse aufgezeichnet und analysiert und daraus für den Arbeitsprozess notwendige Kompetenzen abgeleitet. Als nachteilig ist dabei die Starrheit der Aufgabenbeschreibungen zu sehen, die eine situative Flexibilität und eine selbstorganisierte Entwicklung der Akteurinnen und Akteure schwierig erscheinen lassen.

Basierend auf einem umfangreichen Erhebungsprozess, auf welchen in diesem Artikel nicht näher eingegangen wird, sollen im Projekt „Voladigital“ für KMUs erforderliche Kompetenzen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern identifiziert und in einem Modell abgebildet werden. Um Kompetenzen im Kontext von Industrie 4.0 in dieses Modell zu integrieren, erscheint das Modell „Multiple Job Approach“ erfolgversprechend, da es ein mittleres Abstraktionsniveau aufweist, was Offenheit für unternehmensspezifische Zielsetzungen bietet.

Ausgehend von einem im Projekt noch zu konkretisierenden Kompetenzmodell sollen in einem weiteren Schritt wirksame Lernumgebungen bereitgestellt werden, die die Entwicklung von Kompetenzen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in KMUs ermöglichen. Lernfabriken und Makerspaces, wie sie im folgenden Kapitel aufgezeigt werden, stehen in Zusammenhang mit dem zu Beginn dieses Kapitels beschriebenen Kompetenzverständnis.

Lernfabriken und Makerspaces als Lernumgebungen

Der Begriff Lernfabrik wurde erstmals 1994 im Zuge einer Forschungsförderung für die Penn State University eingeführt, mit dem Ziel, an der Universität eine Infrastruktur für interdisziplinäre, interaktive Projekte mit starkem Industriebezug zu schaffen. In den letzten Jahren wurde der Begriff jedoch stark durch europäische Universitäten und Initiativen wie die „Conference on Learning Factories“

weiterentwickelt. Im neuen Verständnis wird der Begriff Lernfabrik für Systeme benutzt, welche sowohl Elemente des Lernens oder Lehrens als auch eine Produktionsumgebung beinhalten. (Wagner, AlGeddawy, ElMaraghy & Müller, 2012, S. 110) Lernfabriken können dabei vielfältige Konfigurationen einnehmen, die verwendeten Prozesse und Technologien sind dabei jedoch realitätsnah gewählt (Abele et al., 2017, S. 2), wodurch sie einen geeigneten Ansatz für Aus- und Weiterbildung in realistischen Fertigungsumgebungen ermöglichen. (Abele, Metternich, Tisch, Chryssolouris, Sihn, ElMaraghy, Hummel & Ranz, 2015, S. 804) Durch das praxisnahe Lehrkonzept bieten sie das Potential zur Kompetenzentwicklung in einem selbstgesteuerten Lernprozess (Müller-Frommeyer, Aymans, Bargmann, Kauffeld & Herrmann, 2017, S. 307; vgl. auch Abb. 1 auf S. 10).

Seit 2014 betreibt das Institut für Innovation und Industrie Management eine eigene Lernfabrik und hat diese sukzessive weiterentwickelt. Die LEAD (Lean Management, Energieeffizienz, agile Produktion, Digitalisierung) Factory repräsentiert eine kleinmaßstäbliche Montageumgebung. Als Produkt dient ein handelsüblicher Treterroller, bestehend aus 60 Teilen. Lag der Fokus zu Beginn noch auf dem Thema Lean Management, so wurde die LEAD Factory in den letzten Jahren sukzessive mit digitalen Technologien und Trainingsangeboten erweitert. (Herstätter, Wildbolz, Hulla & Ramsauer, 2020, S. 291)

Der Begriff Makerspace ist eng verbunden mit dem Maker Movement und seinen Individuen, den Makern. Als solche bezeichnet man allgemein Gruppen oder Individuen, die basierend auf eigenen Ideen Objekte produzieren. Hierbei steht nicht der wirtschaftliche Gedanke im Fokus, sondern vielmehr das Interesse, neue Produkte zu schaffen oder existierende Produkte zu individualisieren (Friessnig, Karre, Schnöll & Ramsauer, 2016, S. 48). Ein Makerspace ist das Zentrum oder auch der Arbeitsbereich, in dem eine Gruppe zusammenkommt, um gemeinsam an Projekten zu arbeiten. (Hatch, 2014, S. 18) Neben Wissensaustausch mit Gleichgesinnten und sozialen Aspekten ermöglichen Makerspaces auch niederschweligen Zugang zu digitalen Produktionseinrichtungen. Das Angebot in typischen Makerspace-Einrichtungen variiert und reicht von digitalen Produktionsmaschinen (z. B. 3D-Drucker, Lasercutter, Vinylcutter) über Holzbearbeitungsequipment (z. B. CNC Fräsmaschinen für Holz, Sägen, Bohrer) und Metallbearbeitungsequipment (z. B. Schweißgeräte) bis hin zu elektronischer Ausstattung (z. B. Lötstationen) oder Textilmaschinen (z. B. Nähmaschinen, Textildruckmaschinen) (Böhm, Friessnig & Ramsauer, 2015, S. 4). Makerspaces werden zwar allgemein in 3 Hauptkategorien unterschieden: Maschinenwerkstätten, Projekträumlichkeiten und Gemeinschaftsräumlichkeiten (Culpepper, 2016, S. 10) – im weiteren Verlauf wird jedoch unter Makerspace eine Räumlichkeit verstanden, die zumindest teilweise eine Maschinenwerkstätte beinhaltet, da die damit einhergehenden besseren Trainingsmöglichkeiten als essenziell für den Makerspace-Charakter gelten können.

2019 wurde am Institut für Innovation und Industrie Management das Schumpeter Labor für Innovation (SLFI) eröffnet. Das SLFI bietet einen umfassenden Makerspace (Maschinen- und Gemeinschaftsräumlichkeiten) mit modernster Infrastruktur und neuesten Multimedia-, sowie Kommunikationssystemen (Herstätter et al., 2020, S. 291). Darüber hinaus bildet das SLFI eine Schnittstelle zwischen Makern, Industrie und Forschung, an der neuartige Kooperationen entstehen sowie Trainings- und Lehrkonzepte entwickelt werden.

Eine Lernfabrik verfügt als Lernumgebung über authentische, mehrere Stationen umfassende Prozesse, ein veränderbares und einer realen Wertschöpfungskette entsprechendes Setting, ein physisch hergestelltes Produkt, sowie ein didaktisches Konzept, das Lernen durch eigene Handlungen vor Ort ermöglicht. Allgemein ist der Zweck einer Lernfabrik, das Lernen in Produktionsumgebungen zu ermöglichen, und es richtet sich dabei nicht nur an Studierende als Zielgruppe, sondern steht auch explizit für weiterführendes Training von Industriemitarbeiterinnen und -mitarbeitern zur Verfügung (Abele et al., 2017, S. 809). Sie bietet somit eine ideale Lernumgebung, um für Produktionsumgebungen relevante Kompetenzen zu vermitteln, und ist wandlungsfähig genug, um auch digitale und zukunftsrelevante Themen abzubilden.

Üblicherweise orientieren sich die Lehrkonzepte einer Lernfabrik an erfahrungsorientiertem Lernen (vgl. Abb. 1) sowie an aktivem handlungsorientiertem Lernen. Anstatt einer reinen Reproduktion von Information steht also die Entwicklung von Verständnis für die gelehrtten Konzepte im Fokus (Crawley, Malmqvist, Östlund, Brodeur & Edström, 2014, S. 22). Forschungen zeigen einen positiven Effekt von Lernfabriken hinsichtlich Wissenserhalt und Transfermöglichkeiten, insbesondere verglichen zu traditionellen Lehrmethoden (Cachay, Wennemer, Abele & Tenberg, 2012, S. 1151).

Makerspaces verfolgen ein ähnliches Lehr-/Lernkonzept und fokussieren auf Lernerfahrung durch aktives „Machen“ bzw. „Bauen“ von angreifbaren Objekten und Produkten. Sie haben sich zu neuen Zentren des Lernens entwickelt und stützen sich neben der eigenen Infrastruktur vor allem auf ein weltweites Netzwerk zum Wissens- und Erfahrungsaustausch, auf den niederschweligen Zugang zu (Produktions-)Tools, auf offen zugängliche Projektbibliotheken und auf ein breites Angebot an Trainings und Unterstützung (Böhm, 2018, S. 80). Das SLFI wird insbesondere als Basisinfrastruktur für verschiedene Kurse und Trainings genutzt, wobei neben Studierenden auch explizit Industriepartner und deren Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter angesprochen werden sollen. Dabei wird besonders ein projektorientiertes Lehrkonzept verwendet, um Fähigkeiten und Kompetenzen im Bereich der Produktentwicklung zu vermitteln (Herstätter et al., 2020, S. 292).

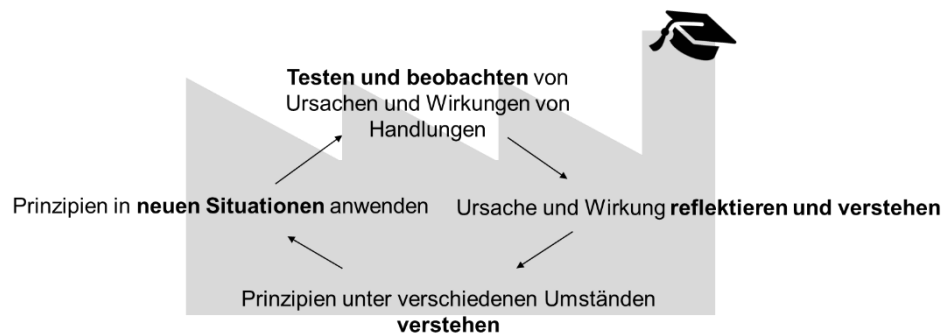


Abbildung 1: Erfahrungsorientierter Lernprozess (Abele et al., 2017, S. 819).

Modell-Erstellung von Trainings in Lernfabriken

Es bestehen unterschiedliche Modelle zum Design von Lernfabriken sowie deren Trainings (Abele et al., 2017, S. 813). Es konnte in der Literatur jedoch kein Vorgehensmodell zur Erstellung von Trainings in Makerspaces gefunden werden. Das Vorgehensmodell in diesem Kapitel ist auf Lernfabriken und Makerspaces bezogen. Hinsichtlich der Erstellung von Trainings in Makerspaces wird an dieser Stelle auf Makerspaces als Lehr- und Trainingsumgebung verwiesen, wie sie insbesondere an Universitäten in den USA schon seit Jahren zur gezielten Ausbildung in Studienrichtungen der Ingenieurwissenschaften genutzt werden. (z. B. MIT, Stanford University, Georgia Institute of Technology, Yale University, ...) (Wilczynski, 2015, S. 342). Im Folgenden werden drei verschiedene Vorgehensweisen zur Erstellung von Lernfabriken und Lernfabrikstrainings beschrieben und anschließend diskutiert.

Doch, Merker, Straube, & Roy publizierten 2015 einen Entwicklungsprozess, der in die folgenden drei Schritte gegliedert ist: 1) Bedarfsanalyse, 2) Konzeption und 3) Ausgestaltung und Umsetzung. Im ersten Schritt erfolgt eine „Bedarfsanalyse“, die den gesamten Wertschöpfungsprozess miteinbezieht. Dabei werden auch Logistik- und Informationsprozesse sowie weitere Schnittstellen mitbetrachtet. Es folgt danach die Abstraktion sowie Vereinfachung dieses Prozesses zur Abbildung in einer Lernfabrik. Dann werden die Lernziele in der Lernfabrik definiert und die damit verbundenen notwendigen Kompetenzen abgeleitet. Zudem erfolgt ein Abgleich zu aktuellen Job-Profilen sowie Qualifikationsmatrizen. Darauf aufbauend werden die benötigte Infrastruktur und Trainingsmodule abgeleitet. Im zweiten Schritt „Konzeption“ werden die Trainingsmodule basierend auf den Aktivitäten aus Schritt 1 konzipiert und die Lehrmethoden festgelegt, die unter Berücksichtigung eines didaktischen Mixes die Lernziele möglichst gut unterstützen. Trainingsmodule werden zudem in Form von Modulsteckbriefen beschrieben. In diesen Steckbriefen sind die Beschreibung des inhaltlichen Aufbaus sowie die Lehrmethoden, die Zielgruppe sowie die geforderten Kompetenzen beinhaltet. In Schritt 3 „Ausgestaltung und Umsetzung“ werden die Trainingsmodule inhaltlich und

methodisch durch Tagesabläufe, Übungsabläufe etc. weiter konkretisiert, interne Reviews vorgenommen und der Trainingsbetrieb wird mittels interner sowie externer Durchführung getestet. Im Zuge der weiteren Trainings muss eine kontinuierliche Überprüfung inklusive möglicher Anpassungen vorgenommen werden (Doch et al., 2015, S. 27-28).

Auch Plorin, Jentsch, Hopf & Müller haben ein schrittweises Vorgehensmodell zur Konzeption einer Lernfabrik und der Lernmodule entwickelt. Das vorgeschlagene Modell besteht aus den folgenden acht Schritten: 1) Rahmencharakterisierung der bestehenden Lernumgebung, 2) Identifikation von verschiedenen Anwendungsfällen, 3) Formulierung von Lernmodulen, 4) Verknüpfung von Lernmodulen mit Lernumgebungskompetenzen, 5) Aufbau von Kompetenzprofilen der Zielgruppen, 6) Strukturierung der Inhalte und Abhängigkeiten von Lernmodulen, 7) Gestaltung der Lehr-/Lernumgebung und 8) die Integration in die bestehende Lernumgebung. Darüber hinaus gehen die Autoren auf die kontinuierliche Verbesserung des didaktischen und infrastrukturellen Konzepts und die Trainingsevaluation als Maße für die Effektivität einer Lernfabrik ein (Plorin et al., 2015, S. 15-18).

Im Jahr 2016 veröffentlichten Tisch et al. ihren Learning-Factory-Curriculum-Guide, der einen systematischen Ansatz für die Gestaltung von Lernfabriken darstellt (siehe Abb. 2). Dieser didaktisch-technologische Ansatz ermöglicht eine systematische Gestaltung auf drei Ebenen: „Lernfabrik“ (Makro), „Lehrmodul“ (Meso) und „Lernsituation“ (Mikro). Horizontal zu den konzeptionellen Gestaltungsebenen (Makro, Meso und Mikro) gliedert sich der Ansatz in zwei didaktische Transformationen. In der ersten didaktischen Transformation erfolgt die Beantwortung der Frage, was die relevanten Lernziele und Inhalte für die involvierten Interessensgruppen sind. Diese erste didaktische Transformation wird auf der obersten Gestaltungsebene initiiert und dann auf untergeordneten Ebenen weiter spezifiziert. In der zweiten didaktischen Transformation soll geklärt werden, wie diese Lernziele und die Inhalte in der Lernfabrik umgesetzt werden können. Ziel ist die Gestaltung von Lernsystemen, Lehrmodulen und geeigneten Lernsituationen, um die angestrebten Kompetenzen effektiv zu entwickeln. Diese zweite didaktische Transformation wird auf jeder Ebene initiiert, wobei die jeweils übergeordnete Ebene die allgemeinen Möglichkeiten vorgibt (Tisch et al., 2016, S. 1358-1359).

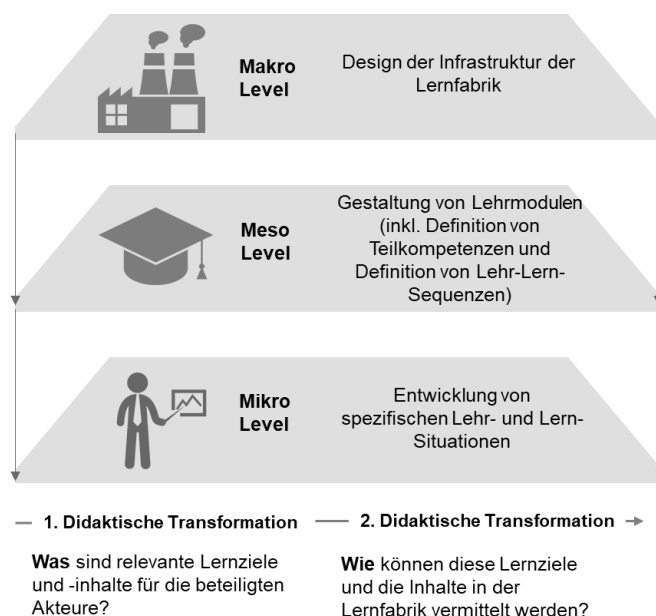


Abbildung 1: Learning-Factory-Curriculum-Guide (Tisch et al., 2016, S. 1359).

Der Learning-Factory-Curriculum-Guide kam als Instrument in den letzten Jahren in zahlreichen Studien zur Anwendung (z. B. Sadaj, Hulla, & Ramsauer, 2020, S. 63-64). Während es sich bei dieser Vorgehensweise um einen detaillierten Rahmen mit entsprechenden Methoden und Werkzeugen für jede Entscheidungsebene handelt, werden beim Vorgehen von Doch et al. (2015) keine expliziten unterstützenden Methoden und Werkzeuge angegeben. Die Vorgehensweise nach Plorin et al. (2015) dient vor allem dazu, Erweiterungen von Lernfabriken zu realisieren und weniger dazu, neue Lernfabriken und deren Lernmodule zu entwickeln. Aus diesem Grund stützt sich das im nächsten Kapitel vorgestellte Vorgehensmodell auf den Learning-Factory-Curriculum-Guide nach Tisch et al. (2015).

Vorgehensmodell für das Design von Trainings in Lernfabriken und Makerspaces für KMUs

Die Entwicklung eines Trainingsdesigns für Lernfabriken und Makerspaces für KMUs wird gemäß Abb. 3 organisiert. Das Vorgehen gliedert sich in drei Phasen: 1) Definitionsphase, 2) Gestaltungsphase und 3) Konfigurationsphase.

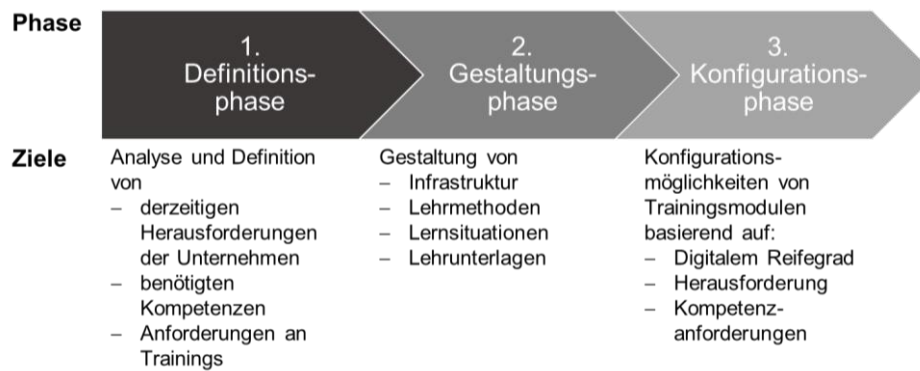


Abbildung 2: Vorgehensmodell zum Design von Lernfabriken und Makerspaces und Trainings für KMUs (eigene Abbildung).

In der Definitionsphase wird zunächst eine Literaturrecherche vorgenommen. Dabei wird sowohl die Forschungsperspektive in Form von wissenschaftlichen Journals und Büchern betrachtet als auch die Industrieperspektive mittels neuesten Studien und Brancheneinblicken seitens Interessensvertretungen, Beratungsunternehmen und weiteren Stakeholdern beleuchtet. Basierend darauf werden Dimensionen für einen semi-strukturierten Interviewleitfaden abgeleitet. Sie beziehen sich weitgehend auf die derzeitigen Herausforderungen der Unternehmen, auf Kompetenzprofilen hinsichtlich Digitalisierung und auf Anforderungen an Trainings. Die Stichprobe besteht aus Industrievertreterinnen und Industrievertretern von KMUs, Beraterinnen und Berater aus verschiedenen Branchen, Interessensvertreterinnen und -vertretern von KMUs, sowie Forscherinnen und Forschern. Daneben werden Best-Practice-Beispiele von Großunternehmen, die digitale Transformationsprozesse beschreiben, entwickelt. Aus den Erkenntnissen der qualitativen Erhebung erfolgt die Hypothesenformulierung, die Entwicklung eines Testinstruments, sowie die Durchführung einer Erhebung und Analyse der quantitativen Daten. Die Ergebnisse dieser Phasen waren bei der Erstellung dieses Artikels noch nicht ausreichend analysiert und sind Inhalt weiterer Publikationen.

Aufbauend auf die Forschungsergebnisse der Erhebungsphasen sollen Trainingsmodelle erstellt werden. Zunächst werden Kompetenzen bzw. Subkompetenzen formuliert, theoretisch begründet und in Aktivitäten in der Lernfabrik bzw. in Makerspaces didaktisch transformiert.

Basierend auf Tisch et al. (2016) wird die Gestaltungsphase mit der Entwicklung der Infrastruktur (Lernfabrik und Makerspace) für die Durchführung der Trainings eingeläutet. Ausgehend von der Prämisse, dass die Trainings auf eine volatile Geschäftswelt reagieren sollten, muss in diesem Schritt auf ausreichend Agilität und Anpassungsfähigkeit der Infrastruktur geachtet werden. Dabei wird sowohl auf den geeigneten Prozess, der in der Lernumgebung abgebildet werden soll, inklusive der (digitalen) Technologien und Werkzeuge wie beispielsweise Augmented Reality Brillen und eine Internet of Things Plattform als auch auf das Produkt eingegangen.

In einem weiteren Schritt werden die Lehrmodule entwickelt, wobei die Subkompetenzen, die bereits grob konzeptioniert wurden, weiter ausgeführt werden. Parallel dazu sollen zudem die Lehrmethoden (E-Learning auf einer Lehrplattform, Flipped Classroom Elemente, Case Study, Diskussionen/Debatten etc.) ausgewählt werden. Basierend darauf werden im nächsten Schritt spezifische Lernsituationen definiert und die Schulungen spezifiziert. Darunter fallen die Erstellung der theoretischen Lehrinhalte basierend auf der ausgewählten Lehrmethode sowie die Aufgabenstellung und der Ablauf.

Bei dem Design der Lernfabriken und Makerspaces sowie der Trainingsinhalte muss außerdem der digitale Reifegrad berücksichtigt werden. Dabei sollte der Fokus sowohl auf dem digitalen Reifegrad des Unternehmens hinsichtlich der Organisation und der Technologie als auch auf der digitalen Reife der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter liegen. Aus diesem Grund sollte vor jedem Training eine Erhebung zum digitalen Reifegrad hinsichtlich Organisation, Technologie und Mitarbeiterinnen/Mitarbeitern durchgeführt werden. Basierend darauf sollen die Trainingsmodule individuell an das Unternehmen sowie dessen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter angepasst werden (Konfigurationsphase). Im Hinblick auf unterschiedliche Herausforderungen und Kompetenzanforderungen sollen Trainingsmodule differenziert konfiguriert werden können. Die drei Phasen sollten in regelmäßigen Abständen erneut durchlaufen werden.

Zusammenfassung und Conclusio

KMUs befinden sich derzeit im digitalen Wandel. Von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern werden sowohl digitale Kompetenzen als auch mehr Agilität und Flexibilität verlangt. Derzeit gibt es wenige praktische Trainings, die diese Kompetenzen vermitteln – insbesondere in Österreich. Lernfabriken und Makerspaces sind geeignete hands-on Lernumgebungen, um Kompetenzen zu vermitteln, die in der digitalen Transformation sowie im Zeitalter der Digitalisierung benötigt werden. In diesem Beitrag wurde auf Kompetenzmodelle sowie die Kompetenzvermittlung in KMUs im Rahmen der digitalen Transformation eingegangen. Des Weiteren wurden Lernfabriken und Makerspaces und deren Rolle als Lernumgebung diskutiert. Darauf aufbauend wurde geklärt, wie Vorgehensmodelle zur Erstellung von Lernfabriken und deren Trainings aussehen könnten. Beispielhaft wurde ein Vorgehensmodell für Lernfabriken und Makerspaces zum Design von Trainings erstellt. Eine Fokussierung hinsichtlich Digitalisierung wurde erreicht, indem das Vorgehensmodell modular aufgebaut ist und auf verschiedene digitale Reifegrade eingegangen werden kann. Zudem ist das Vorgehensmodell nicht nur einmal zu durchlaufen, sondern nach Beendigung eines Zyklus soll wieder bei Schritt 1 begonnen werden, wobei vor allem die Herausforderungen und Anforderungen der Unternehmen und in weiterer Folge auch die Infrastruktur der Lernumgebungen (z.B. mit neuen digitalen Technologien angepasst werden sollte. Der Beitrag liefert somit eine Antwort auf die Frage: „Wie

kann eine Vorgehensweise für das Design von Trainings in Lernfabriken und Makerspaces zum Thema Digitalisierung in KMUs gestaltet sein?“ In weiterer Folge muss dieses Vorgehen praktisch angewendet und validiert werden. Weitere Forschung in diesem Bereich sollte die folgenden Themen berücksichtigen:

- Vorgehensmodelle zur Erstellung von Trainings in Makerspaces und deren Vergleich
- Bewertung von Vorgehensmodellen zur Bewertung von Trainings in Lernfabriken und Makerspaces

Literaturverzeichnis

Abele, E., Chryssolouris, G., Sihm, W., Metternich, J., ElMaraghy, H., Seliger, G. Sivard, G., ElMaraghy, W., Hummel, V., Tisch, M. & Seifermann, S. (2017). Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. *CIRP Annals* 66, 803–826.

Abele, E., Metternich J., Tisch M., Chryssolouris G., Sihm W., ElMaraghy H., Hummel V., & Ranz, F. (2015). Learning Factories for Research, Education, and Training. *Procedia CIRP*, 32 (1), 1–6.

Arnold, R. & Schüßler, I. (2008). Entwicklung des Kompetenzbegriffs und seine Bedeutung für die Berufsbildung und für die Berufsbildungsforschung. In G. Franke (Hrsg.), *Komplexität und Kompetenz* (S. 52–74). Bielefeld: wbv

Arthur D. Little: Digitale Transformation von KMUs in Österreich 2017 – Erhebung des Digitalisierungsstatus. Verfügbar unter:

<https://www.wko.at/branchen/stmk/information-consulting/unternehmensberatung-buchhaltung-informationstechnologie/digitale-transformation-kmu.pdf> [26.01.2021].

Binder, D., Thaler, B., Unger, M., Ecker, B., Mathä, P. & Zaussinger S. (2017). *MINT an öffentlichen Universitäten, Fachhochschulen sowie am Arbeitsmarkt – Eine Bestandsaufnahme*. IHS Studie. Verfügbar unter:

<https://irihs.ihs.ac.at/id/eprint/4284/1/2017-ihs-report-binder-mint-universitaeten-fachhochschulen.pdf> [27.01.2021].

Blackley, S., Sheffield, R., Maynard, N., Koul, R. & Walker, R. (2017). Makerspace and reflective practice: Advancing pre-service teachers in STEM education. *Australian Journal of Teacher Education (Online)*, 42 (3), S. 22.

Böhm, T. (2018). *Corporate Makerspaces. Operation Models, Implementation and Contributions to Organizational Learning*. Unveröffentlichte Dissertation an der Technischen Universität Graz.

- Böhm, T., Friessnig, M., & Ramsauer, C. (2015). A Fablab As Part Of A New Kind Of Business Incubator For Hardware Startups. *Proceedings FAB 11* (S. 15-23). Verfügbar unter: <https://graz.pure.elsevier.com/de/publications/a-fablab-as-part-of-a-new-kind-of-business-incubator-for-hardware>
- Cachay, J., Wennemer, J., Abele, E., & Tenberg R. (2012). Study on Action-Oriented Learning with a Learning Factory Approach. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 55 (9), 1144–1153.
- Crawley, E., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D. & Edström K. (2014). *Rethinking Engineering Education*. Cham: Springer International Publishing.
- Culpepper, M. (2016). Types of Academic Makerspaces, Their Import to the Education Mission, and The Characteristics of Their Culture and Community. *Proceedings of the 1st International Symposium on Academic Makerspaces. Higher Education Makerspace Initiative (HEMI)*, 10–13.
- Doch, S., Merker, S., Straube, F. & Roy, D. (2015). Aufbau und Umsetzung einer Lernfabrik: Produktionsnahe Lean-Weiterbildung in der Prozess- und Pharmaindustrie. *Industrie Management*, 25, 26–30.
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K. & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP*, 54, 13–18.
- Erpenbeck, J. & Heyse, V. (1996). Berufliche Weiterbildung und berufliche Kompetenzentwicklung. In B. Bergmann (Hrsg.), *Kompetenzentwicklung '96. Strukturwandel und Trends in der betrieblichen Weiterbildung* (S. 15–152). Münster: Waxmann.
- Friessnig, M., Karre, H., Schnöll, H. & Ramsauer C. (2016). Development of an Educational Program Using Capabilities of (Academic) Makerspaces. *Proceedings of the 1st International Symposium on Academic Makerspaces. Higher Education Makerspace Initiative (HEMI)*, 3–57.
- Gessler M. (2010). Das Kompetenzmodell. In E. Bröckermann & M. Müller-Vorbrüggen (Hrsg.), *Handbuch Personalentwicklung: Die Praxis der Personalbildung, Personalförderung und Arbeitsstrukturierung* (S. 43–62). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Grzybowska K. & Lupika A. (2017). Key competencies for Industry 4.0, Conf. *Int. Conf. Econ. Manag. Innov.* 1, 250–253.
- Hatch, M. (2014). *The maker movement manifesto. Rules for innovation in the new world of crafters, hackers, and tinkerers*. New York: McGraw-Hill Education.
- Herstätter, P., Wildbolz, T., Hulla, M., & Ramsauer, C. (2020). Data acquisition to enable Research, Education and Training in Learning Factories and Makerspaces. *Procedia Manufacturing*, 45, 289–294.
- Heyse, V. & Erpenbeck, J. (2004). "Vorwort". In V. Heyse & J. Erpenbeck (Hrsg.), *Kompetenztraining* (S. XI–XXX). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

KfW Bankengruppe (2016). *Digitalisierung im Mittelstand: Status Quo, aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen*. Verfügbar unter:

<https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Studien-und-Materialien/Digitalisierung-im-Mittelstand.pdf> [27.01.2021].

KfW Bankengruppe (2017). *Unternehmensbefragung zur Digitalisierung der Wirtschaft: breite Basis, vielfältige Hemmnisse*. Verfügbar unter:

<https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Unternehmensbefragung/Unternehmensbefragung-2017-%E2%80%93-Digitalisierung.pdf> [26.01.2021].

Klieme, E. & Leutner, D. (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. Beschreibung eines neu eingerichteten Schwerpunktprogramms der DFG. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52 (6), 876–903.

Lanza, G., Nyhuis, P., Fisel, J., Jacob, A., Nielsen, L., Schmidt, M. & Stricker, N. (2018). *Wandlungsfähige, menschenzentrierte Strukturen in Fabriken und Netzwerken der Industrie 4.0*, acatech Studie. München: Herbert Utz Verlage.

Lindner D. (2019). *KMU im digitalen Wandel*, Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.

Link, N. & Geissel, B. (2015). Konstruktvalidität konstruktiver Problemlösefähigkeit bei Elektroniker/innen für Automatisierungstechnik. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, 111 (2), 208–22

Moser, D. (2014). Kompetenz und Kompetenzverständnis im Kontext des Lernens. Versuch der Klärung eines vielstrapazierten Begriffes. In D. Moser & E. Pichler (Hrsg.), *Kompetenzen in der Berufspädagogik* (S. 13–30). Graz: Leykam.

Müller-Frommeyer, L. C., Aymans, S. C., Bargmann, C., Kauffeld, S., & Herrmann C. (2017). Introducing Competency Models as a Tool for Holistic Competency Development in Learning Factories: Challenges, Example and Future Application. *Procedia Manufacturing*, 9 (1), 307–314.

Pelletier, C. & Cloutier, L. M. (2019). Challenges of Digital Transformation in SMEs: Exploration of IT-Related Perceptions in a Service Ecosystem. In Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/330401455_Challenges_of_Digital_Transformation_in_SMEs_Exploration_of_IT-Related_Perceptions_in_a_Service_Ecosystem [26.01.2021]

Plorin D., Jentsch D., Hopf H. & Müller E. (2015). Advanced Learning Factory(aLF)–Method, Implementation and Evaluation. *Procedia CIRP*, 32, 13–18.

Ramsauer, C. & Rabitsch, C. (2016). Agile Produktion - Ein Produktionskonzept für gesteigerten Unternehmenserfolg in volatilen Zeiten. In H. Biedermann (Hrsg.), *Industrial Engineering und Management. Techno-ökonomische Forschung und Praxis*. Wiesbaden: Springer Gabler.

Ramsauer, C., Kayser, D. & Schmitz C. (2017). *Erfolgsfaktor Agilität*, Weinheim: Wiley VCH.

Reetz, L. (1990). Zur Bedeutung der Schlüsselqualifikationen in der Berufsbildung. In L. Reetz & T. Reitmann (Hrsg.), *Schlüsselqualifikationen. Dokumentation des Symposiums in Hamburg „Schlüsselqualifikationen – Fachwissen in der Krise“* (S. 16-35). Hamburg: Verlag

Sadaj, E. A., Hulla, M., & Ramsauer, C. (2020). Design approach for a learning factory to train services. *Procedia Manufacturing*, 45, 60–65.

Stock, T. & Seliger G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0, *Procedia CIRP*, 40, 536–541.

Tisch, M., Hertle, C., Abele, E., Metternich, J. & Tenberg, R. (2016). Learning factory design: a competency-oriented approach integrating three design levels, *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, 29, 1355–1375.

Tvenge N. & Martinsen K. (2018). Integration of digital learning in industry 4.0, *Procedia Manufacturing*, 23, 261–266.

Wagner, U., AlGeddawy, T., ElMaraghy H. & Müller E. (2012). The State-of-the-Art and Prospects of Learning Factories. *Procedia CIRP*, 3, 109–114.

Wilczynski, V. (2015). Academic maker spaces and engineering design. *122nd American Society for Engineering Education Annual Conference Exposition*, 1, 342–360.

MARIA HULLA

Dipl.-Ing.ⁱⁿ, Universitätsassistentin, Institut für Innovation und Industrie Management, Technischen Universität Graz

PATRICK HERSTÄTTER

Dipl.-Ing., Universitätsprojektassistent, Institut für Innovation und Industrie Management, Technischen Universität Graz

HARALD BURGSTEINER

Ing. Mag. Dipl.-Ing. Dr. techn., Hochschulprofessor für Medieninformatik und Mediendidaktik, Institut für digitale Medienbildung, Pädagogische Hochschule Steiermark

DANIELA MOSER

Dr.ⁱⁿ; Hochschulprofessorin für Bildungswissenschaften mit Schwerpunkt Berufsbildungsforschung, Institut für Bildungswissenschaften, Pädagogische Hochschule Steiermark

CHRISTIAN RAMSAUER

Dipl.-Ing., Dr., Ordentlicher Universitätsprofessor, Institut für Innovation und Industrie Management, Technischen Universität Graz