

Sebastian ANSELMANN¹, Lars WINDELBAND² & Uwe FABHAUER¹

(¹Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd & ²Karlsruher Institut für
Technologie)

Lernfabriken als neuer Lernraum in der beruflichen Bildung – Sachstandsanalyse und Potentiale.

bwp@-Format: **Berichte & Reflexionen**

Online unter:

https://www.bwpat.de/ausgabe43/anselmann_etal_bwpat43.pdf

in

bwp@ Ausgabe Nr. 43 | Dezember 2022

Digitale Arbeitsprozesse als Lernräume für Aus- und Weiterbildung

Hrsg. v. Karin Büchter, Karl Wilbers, Lars Windelband & Bernd Gössling

www.bwpat.de | ISSN 1618-8543 | *bwp@* 2001–2022

bwp@

www.bwpat.de



Herausgeber von *bwp@* : Karin Büchter, Franz Gramlinger, H.-Hugo Kremer, Nicole Naeve-Stoß, Karl Wilbers & Lars Windelband

Berufs- und Wirtschaftspädagogik - online

SEBASTIAN ANSELMANN¹, LARS WINDELBAND² & UWE FAßHAUER¹

(¹Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd & ²Karlsruher Institut für
Technologie)

Lernfabriken als neuer Lernraum in der beruflichen Bildung – Sachstandsanalyse und Potentiale

Abstract

Lernfabriken fungieren als komplexe Simulationen von realen Arbeits- und Produktionsabläufen, um insbesondere berufliche Handlungskompetenzen in einer „Industrie 4.0 typischen“ Facharbeit entwickeln zu können. Dabei stellen sie selbst cyberphysische Systeme dar, die an beruflichen Schulen zugleich als traditioneller Lernraum (Lernlabor) und virtueller/digitaler Lernraum zu gestalten sind („digitaler Zwilling“). Der für „digitales Lernen“ typischen räumlichen und zeitlichen Entgrenzung kann zunächst nicht entsprochen werden. Gleichwohl machen sie die Digitalität der veränderten Arbeitswelt zum Gegenstand beruflicher Lernprozesse. Dieser Beitrag reflektiert zunächst Lernfabriken als neuen Lernraum und den Anteil cyberphysischer Systeme darin. Anschließend werden anhand erster Ergebnisse einer empirischen Studie der erreichte Stand in der Implementierung und Konzeptentwicklung der beruflichen Lernfabriken an berufsbildenden Schulen in Süddeutschland aufgezeigt.

Learning Factories as a New Learning Space in Vocational Education and Training - Status Analysis and Potentials

Learning factories function as complex simulations of real work and production processes, and in particular in order to be able to develop vocational competencies in an “Industry 4.0 typical” skilled work. In this context, they themselves represent cyber-physical systems that are to be designed at vocational schools as both a traditional learning space (learning lab) and a virtual/digital learning space (“digital twin”). The spatial and temporal dissolution of boundaries typical of “digital learning” cannot be met at first. Nevertheless, they make the digitality of the changed world of work the subject of vocational learning processes. At first, this paper reflects on learning factories as new learning spaces and on the contribution of cyber-physical systems therein. In a second step, the current state of implementation and concept development of vocational learning factories at vocational schools in South Germany is shown, based on the preliminary results of a survey.

Schlüsselwörter: *Lernfabriken, didaktische Innovation, Schulentwicklung*

bwp@-Format: **BERICHTE & REFLEXIONEN**

1 Einleitungsgedanke

Lernfabriken stellen eine komplexe Simulation von tatsächlichen Arbeits- und Produktionsabläufen dar. Zielgruppen für diese reale, dynamische Produktionsumgebung können Schüler:innen, Auszubildende, dual Studierende oder im Beruf befindliche Personengruppen sein. Abele et al. (2015) und Faßhauer et al. (2021) identifizieren vier wesentliche Charakteristika, die von einer Lernfabrik erfüllt werden müssen. Dazu zählt die Abbildung authentischer Arbeitsprozesse unter Berücksichtigung von technischen und organisatorischen Aspekten; eine dynamische Arbeitsumgebung, die einer realen Wertschöpfungskette entspricht; die tatsächliche Fähigkeit in der Lernfabrik ein Produkt herstellen zu können, sowie ein umfassendes didaktisches Konzept zur Integration der jeweiligen Lehr- und Lernarrangements. Lernfabriken bereiten die Lernenden also auf die Teilhabe und Mitgestaltung komplexer und dynamischer Arbeitsprozesse in einer vernetzten und digitalisierten Arbeitswelt vor.

Dabei stehen nicht nur die primär zu entwickelnden Fachkompetenzen im Umgang mit bestimmten Arbeitsaufgaben und der Umgang mit Arbeitsgegenständen im Vordergrund, sondern auch die Ausbildung und Aneignung u.a. der Teamkompetenz in der Zusammenarbeit in der Lernfabrik (auch zwischen unterschiedlichen Berufen). Ebenso wird die Prozesskompetenz adressiert, um die Zusammenhänge im Produktionsprozess bis hin zum gesamten Wertschöpfungsprozess verstehen und ggf. gestalten zu können (Windelband 2023; Lindemann 2015; Dilger/Sloane 2005),

So umfassend die damit verbundene Herausforderung an alle beteiligten Akteur:innen sind, so überraschend ist die tatsächliche Lücke in der Forschung zu diesem Themenfeld. Zwar beschäftigen sich eine Reihe von Arbeiten mit der Konzeption von Lernfabriken und der Integration in den jeweiligen Unterricht (vgl. hierzu exemplarisch Faßhauer et al. 2021; Roll/Ifenthaler 2020; Scheid 2018; Windelband 2023). Dennoch fehlt eine grundlegende forschungsbasierte Annäherung an Lernfabriken als komplexe Lernumgebung und neuen Lernraum für die berufliche Bildung unter Berücksichtigung möglichst aller kennzeichnenden Faktoren. Dazu zählt vor allem eine vertiefte Perspektive auf digitale Arbeitsprozesse als Lernräume im 21. Jahrhundert. Gleichzeitig fehlen auch Forschungsergebnisse zu Kriterien für eine erfolgreiche Anwendung der Lernfabriken in den jeweiligen Anwendungskontexten (Aus- und Weiterbildung, Hochschulausbildung).

Im Rahmen eines Verbundprojektes in der gemeinsam vom Land Baden-Württemberg und dem BMBF finanzierten Qualitätsoffensive Lehrerbildung untersucht das Projekt “Technik- und Wirtschaftsdidaktik integriert (TWIND)” Konzeptentwicklungen im Kontext von Lernfabriken. Somit reflektiert dieser Beitrag zunächst die Konzeption von beruflichen Lernfabriken und der damit verbundenen Lernräume. Anschließend werden erste Befunde einer deskriptiv explorativen Erhebung mit dem Fokus auf dem betrieblichen Ablauf der Lernfabrik und der Verwendung/Ausrichtung von didaktischen Komponenten dargestellt.

2 Theoretische Fundierung

2.1 Lernorte in der beruflichen Bildung

Die Vorbereitung auf die Komplexität des zukünftigen Arbeitsplatzes erfolgt in der beruflichen Bildung auf multiplen Wegen (Hantsch et al. 2021; Pahl 2022). Der Berufsschule als Lernort für die Herausforderung einer digitalisierten Arbeitswelt kommt dabei nach Harteis (2022) eine besondere Stellung zu.

“Transformations in the way we work have always presented a challenge for vocational education and training. As work requirements change, workers’ preparation for work needs to adapt. In countries with highly developed systems of vocational training (such as Germany), training regulations have always adapted according to technological change.” (Harteis 2022, 421)

Dehnbostel (2020) führt in diesem Zusammenhang die Anforderungen und Konsequenzen der digitalen Arbeitsprozesse als Lernräume für die berufliche Bildung aus. Zwar stehen betriebliche und arbeitsplatzbezogene Lernformen bei einer digitalisierten Arbeitswelt im Fokus, unbestreitbar ist allerdings die Vor- und Paralleleistung der beruflichen Schulen. Die massive Durchdringung der Lernorte durch die Digitalisierung und damit verbundener Technologien, wie beispielsweise „Augmented Reality“ und „Mixed Reality“ (Guggemos/Seufert, 2021), hat fundamentale Auswirkung gerade auch an die Ansprüche im Bildungssystem. So werden die

„[...] dezentrale arbeitsgebundene und arbeitsverbundene Lernorte wie Lerninsel, Lernstation, Lernstatt, Lernfabrik und Technikzentrum entwickelt und erprobt. Die arbeitsgebundenen oder arbeitsintegrierten Lernorte verschränken dabei reale Arbeitsstrukturen mit einer Lerninfrastruktur, womit zugleich das informelle Lernen mit dem formalen oder nichtformalen Lernen integriert wird. Das Konzept zielt auf die Weiterentwicklung von betrieblichen, zwischen- und überbetrieblichen Lernortsystemen unter besonderer Berücksichtigung des Lernorts Arbeitsplatz“ (Dehnbostel 2021, 130)

Somit werden arbeitsgebundenes, arbeitsverbundenes arbeitsorientiertes Lernen (Dehnbostel 2020) elementar. Die Lernräume vermischen sich nicht nur, sie greifen gezielt gesteuert ineinander über. Damit werden zugleich die Kooperation und Vernetzung betrieblicher Lernräume untereinander und mit außerbetrieblichen, schulischen und hochschulischen Lernorten intensiviert umschrieben. Charakteristisch für das arbeitsverbundene Lernen ist dagegen die Trennung von Lernort und realem Arbeitsplatz, die jedoch räumlich und organisatorisch direkt miteinander verbunden sind. Qualitätszirkel, Lernstätten und Lernfabriken sind Beispiele hierfür. Lernräume der betrieblichen Weiterbildung mit physischen und virtuellen Lernortanteilen gewinnen an Bedeutung. Für die berufsbildenden Schulen ergeben sich dadurch neue Möglichkeiten eines arbeitsorientierten Lernens in Aus- und Weiterbildung. Die Ansprüche die technologische Entwicklung und die Möglichkeiten durch Vernetzung und Verzahnung öffnet Lernräume und -prozesse. Somit gilt nach Faßhauer (2020) das Schlagwort der Lernortkooperation im Dualen System der Berufsausbildung als implizite Normalität mit hohem Entwicklungsbedarf.

2.2 Lernfabriken in der beruflichen Bildung

Genauso, wie Lernen nicht mehr als ein an einen Ort oder mit einem Prozess assoziierten Bereich gedacht werden kann, muss sich auch der Lernort als durchlässiger, fluider Kontext begreifen, in dem Lernen und Transition ermöglicht, besser noch gefördert wird (Zitter et al. 2021). Dabei kommen die Anforderungen der Industrie 4.0 wie bei Digi Comp Edu skizziert (European Commission 2018) genauso eine große Bedeutung zu, wie der Ausdifferenzierung des technologisch-pädagogischen Inhaltswissens (Link/Nepper 2021), um die Komplexität der Beziehungen zwischen Schüler:innen, Lehrkräften, Inhalten, Methoden und Technologien aufzuzeigen und Lehren zu können. So gelten die Kennzeichen der Industrie 4.0, wie die Verzahnung der Produktion mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik und damit die Vernetzung des gesamten Wertschöpfungsprozesses. Daneben liegt der Fokus auf individualisierten Arbeitsprozessen mit schnellen Innovationszyklen und möglichst nachhaltigem Ressourcenmanagement (Kilian et al. 2020). Die Lernfabriken können genau diese Entwicklungen innerhalb eines Produktionsprozesses abbilden.

Das duale Ausbildungssystem in Deutschland sieht eine Verzahnung der einzelnen Lernorte in einem lernortkooperativen Setting vor (Wenner 2022). Die kontinuierliche Entgrenzung der dabei auftretenden einzelnen Lernräume sowie die veränderten Anforderungen der digitalen Transformation bedingen auch eine Neuausrichtung und Adaption einzelner Ausbildungsabschnitte. Aktuelle Studienergebnisse des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) von Kaufmann et al. (2022) und der EVA M+E Studie (Becker et al. 2022) zeigen hier weiteren Veränderungsbedarf in den Metall- und Elektroberufen in Bezug der Gestaltung der Ausbildungsberufe sowie in der Verknüpfung der Lernorte zur Aus- und Weiterbildung auf.

Die vor allem an vielen berufsbildenden Schulen in Süddeutschland vorhandenen Lernfabriken vermitteln unter realen Bedingungen nachempfundene Prozessschritte, die den dynamischen Produktionsumgebung in den jeweiligen Industriezweigen entsprechen. Sie bilden damit den aktuellen Wandel in der industriellen Produktion ab. Somit stellen Lernfabriken einen Lernraum mit flexiblen und adaptierbaren Prozessschritten und einer systematischen Verknüpfung einzelner Lern- und Arbeitsschritte dar. Diese Kooperation zwischen einzelnen beruflichen Fachrichtungen wie Metalltechnik, Informatik/Informationstechnik, Elektrotechnik, Mechatronik bis hin zu kaufmännischen Berufen werden im Rahmen eines einer realen Wertschöpfungskette nachempfundenen Produktionszyklus verknüpft. Lernfabriken simulieren damit komplexe und aktuelle Arbeits- und Produktionsabläufe. Zielgruppen für diese, dynamische Produktionsumgebung können Schüler:innen, Auszubildende, Studierende oder im Beruf befindliche Personengruppen sein.

Zinn (2014) beschreibt die Lernfabrik als Konzept, bei dem

„[...] Lernende authentische Möglichkeiten haben, berufliche Aufgaben mit berufsspezifischen Arbeitsmitteln in einer wirklichkeitsnahen Lernumgebung zu bearbeiten. Die Lernfabrik soll einen Betriebskontext vorstellbar machen, in dem für Lernende reale Arbeitsbedingungen simuliert werden. Es handelt sich dabei nicht um eine einfache Theorie-Praxis-Ergänzung, sondern um eine komplexe, anspruchsvolle räumliche und didaktisch-methodische Konzeptualisierung“ (Zinn 2014, 23).

Um diesem hohen Anspruch gerecht zu werden sind Lernfabriken modular aufgebaut. So kann auf veränderte Ausbildungssituationen ebenso flexibel reagiert werden wie auf geänderte Anforderungsprofile der Ausbildungsbetriebe. Zudem ist eine kontinuierliche Weiterentwicklung bzw. didaktische Feinabstimmung möglich. Bei vielen aktuell entstehenden Lernfabriken zum Schwerpunkt Industrie 4.0 an berufsbildenden Schulen ist die folgende Unterscheidung zu erkennen (Windelband et al. 2022):

- *Grundlagenlabore (GL)*, die den Auszubildenden eine Hinführung zu den digital gesteuerten Produktionstechnologien ermöglichen. In unterschiedlichen Grundlagenmodulen werden Fragestellungen einer modernen industriellen Fertigung umgesetzt (u.a. Sensorik/Aktorik, Robotersysteme, Identifikationstechnologien, Kommunikationsarchitektur, MES- und Datenbanksystem).
- *Lernfabriken (LF)* (Smart Factories), bei denen modulare Schwerpunkte aus den Grundlagenlaboren zu einer ganzheitlichen Lernfabrik verknüpft werden. Hier haben die Auszubildenden die Möglichkeit, intelligente Produktionsprozesse auf der Basis realer Industriestandards zu erlernen, vernetzte Abläufe selbst zu steuern sowie konkrete berufliche Problemsituationen zu lösen.

Dabei nehmen die didaktisch anspruchsvolleren und technisch aufwändigeren Lernfabriken (Smart Factories) an beruflichen Schulen zunehmend eine Schlüsselrolle ein, um die technische Komplexität und den Innovationscharakter von Industrie 4.0 unter realitätsnahen Bedingungen in eine berufliche Handlungssituation zu überführen.

Lernorte in der Beruflichen Bildung unterliegen einem kontinuierlichen Wandel- und Anpassungsprozess (Harteis 2022). Ein Ausdruck des innovativen und flexiblen Charakters ist die Integration von neuen Lernorten wie Lernfabriken. Innerhalb des Konzepts von Lernfabriken sind es cyberphysische Systeme (CPS) die einen entscheidenden Innovator hinzu der Ausbildung zu modernen Ausbildungsorten leisten können. Die National Science Foundation (NSF) (2016) definiert CPS als "*engineered systems that are built from, and depend upon, the seamless integration of computational algorithms and physical components.*" (NSF 2016, S.13). Die Welt der Technik hat sich in den letzten Jahrzehnten stark gewandelt. Elemente, die früher in rein mechanischer oder elektrischer (d. h. physischer) Form existierten, und insbesondere jene Elemente, die Logik, Steuerung und Entscheidungsfindung beschreiben, nehmen zunehmend die Form von eingebetteten Systemen und Software (d. h. Cyber-Elementen) an. Das Akronym CPS wird häufig verwendet, um technische Systeme zu beschreiben, die aus der nahtlosen Integration von Rechenalgorithmen und physischen Komponenten aufgebaut sind und davon abhängen (NSF 2016). In dieser Blickrichtung bezieht sich "Cyber" auf die Computer, Software, Datenstrukturen und Netzwerke, die die Entscheidungsfindung innerhalb des Systems unterstützen, und "physikalisch" bezeichnet nicht nur die Teile der physischen Systeme (z. B. die mechanischen und elektrischen Komponenten eines automatisierten Fahrzeugs), sondern auch die physische Welt, in der das System interagiert ist, wie zum Beispiel eine Fertigungsstraße oder eine modular aufgebaute Lernfabrik. CPS ist eng verbunden mit gebräuchlichen Begriffen wie Internet der Dinge (IoT), industrielles Internet und intelligente Städte sowie mit den Bereichen Robotik und Systemtechnik (Thiede et al. 2016).

Liu und Kollegen (2016) führen als CPS, u. a. intelligente industrielle Fertigung, intelligentes Verkehrswesen und intelligente Stromnetze an. Kennzeichnend dabei sind, dass traditionell isolierte, automatisierte Systeme in moderne, miteinander verbundene intelligente Systeme umgewandelt werden. Dabei sollen berufliche Akteure, Systeme und physische Anlagen miteinander verbunden werden um als synchronisierter Verbund erheblichen wirtschaftlichen Mehrwert zu generieren. Zu den Merkmalen von CPS gehören Komplexität, dynamische Variabilität und Heterogenität, die sich aus den Wechselwirkungen zwischen Cyber- und physischen Teilsystemen ergeben (Lee/Sehia 2016). Diese Merkmale führen zu einer Reihe von Herausforderungen, die zu den bestehenden und wichtigen Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen herkömmlicher kritischer Systeme hinzukommen. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, können Verfahren der künstlichen Intelligenz (KI) und des maschinellen Lernens (ML), die sich in zahlreichen Bereichen (Robotik, Automatisierung, Vorhersage usw.) bewährt haben, als Lösungen für CPS genutzt werden (Liu et al. 2016).

Thiede und Kollegen (2016) weisen auf die Chancen hin die eine Ausbildung in cyberphysische Produktionssystemen haben. Dabei dient sie als Alternative oder Ergänzung der theoretischen Inhalte im Ausbildungs- und Schulkontext und ist mit der eingebetteten Lernfabriken ein vielversprechender didaktischer Ansatz. Da cyberphysische Produktionssysteme in der Fertigung immer mehr an Bedeutung gewinnen werden, stellen Ausbildung und Training Schlüsselfaktoren für eine erfolgreiche Implementierung für Unternehmen dar. Unter Verwendung eines vereinfachten Bewertungssystems mit Kategorien, die an den Komponenten eines cyberphysischen Systems wird ein Werkzeug geschaffen, das den zielgerichteten Einsatz in Lernumgebungen zu diesem Thema ermöglicht. Der Ansatz steht im Einklang mit entsprechenden Prozessen und Systemen im industriellen Maßstab und den jeweils erforderlichen Fähigkeiten für Entwicklung und Betrieb (Gräßler et al. 2016). Ziel ist es dabei, Elemente von CPS in der Lernfabrik als flexible Komponenten zu implementieren. Schwerpunkte stellen in diesem hochvernetzten System einer Lernfabrik im Allgemeinen (Lernfabriken für Forschungs- und Qualifizierungszwecke), die folgenden Elemente (Gräßler et al. 2016):

- Flexible Rekonfiguration von Produktionssteuerungssystemen Dezentralisierung der Entscheidungsfindung und Ausführung
- Modularisierung des Produktionssystems
- Adaptive Anbindung aller Produktionsteilnehmer
- Stecken und Produzieren
- Dezentrales Produktionsplanungssystem

Das Konzept umfasst die Kommunikationsstruktur, eine dezentrale Produktionssteuerung und die Heuristik und Algorithmen jedes Geräts in der Fabrik, um ein autonomes, dezentrales Produktionssteuerungssystem zu ermöglichen. Jedes Gerät des Produktionssystems erhält die Fähigkeit, die für seinen eigenen Betrieb notwendigen Informationen zu sammeln und seinen eigenen Status an andere Geräte zu kommunizieren.

Dabei ist die tatsächliche Gestaltung von Lernfabriken mit CPS ein komplexer Prozess und erfordert detaillierte Ansätze für verschiedene Aspekte. Studien zu Design und Aufbau von

Lernfabriken (beispielhaft Abele et al. 2015, Kreß et al. 2021, McHauser et al. 2020) zeigen die Grenzen des statischen Konzepts der Lernfabriken auf. Gräßler et al. (2021) zeigen auf, dass kein Gestaltungsansatz auf die Zielevaluation, die Skalierbarkeit und die zeitliche Abbildbarkeit des Lernfabrikkonzeptes in Gänze fokussiert. Zur optimalen Nutzung des Potenzials von CPS in Lernfabriken und zur entsprechenden Entfaltung des Potentials von Lernfabriken als Lernort für zukünftige dynamische Arbeitsplätze gilt es Lernfabriken modular und vernetzt zu denken wie auch zu planen.

In Hinblick auf Design, Aufbau und Entfaltung von Potentialen identifizieren Kreß et al. (2021) sowie Gräßler et al. (2016) eine Reihe von Gestaltungsansätzen zur Klassifizierung von Lernfabriken im Kontext der Forschung und Qualifizierung. In Zuge dessen werden Mängel bei der Mehrzahl der bestehenden Lernfabriken identifiziert. Diese Kritik umfasst den Prozess bis hin zur Implementierung, wie auch den Betrieb der fertigen Lernfabrik.

- Lernfabriken lassen ein umfassendes und der Komplexität des Gegenstandes entsprechendes didaktisches Konzept weitestgehend vermissen.
- Die Gestaltung von Lernfabriken ist in der Regel als ein einmaliges Projekt angelegt. Es existiert meist kein detailliertes Vorgehensmodell bzw. ein Set an notwendigen und optionalen Modulen. Es gibt meist kein detailliertes Vorgehensmodell zur Gestaltung von Lernfabriken.
- Der Erfolg einer Lernfabrik hängt maßgeblich von der Entwicklung kompetenzorientierter Lernmodule ab. Die meist curricular verankerten Lernziele sind durch gut strukturiert kompetenzorientiert gestaltete Lernmodulen erreicht werden.
- Das Design der Lernumgebung sollte den Transfer von der Lernfabrik in eine reale Fabrikumgebung berücksichtigen und einen hohen Realitätsgrad haben.
- Ein umfassendes Evaluationsprogramm von Lernfabriken und aller beteiligter Akteursgruppen ist entscheidend zur Weiterentwicklung.
- Lernfabriken sind ressourcenintensiv und leben von einer kontinuierlichen flexiblen Adaption und Weiterentwicklung von Modulen und Anforderungen.
- Lernfabriken sollten reale Fabriken und ihre Herausforderungen in so vielen Facetten wie möglich abbilden.
- Lernfabriken sind meist immobil, insbesondere Lernfabriken der ersten Generation. Durch die gezielte Einbindung von CPS, virtuellen bzw. simulierten Modulen und VR Konzepten sollen Lernfabriken flexibler und adaptierbarer werden.

Damit ist der Anspruch an Lernfabriken und die damit verbundenen didaktischen Mittel immens, jedoch Ausdruck einer immer umfassenderen Komplexität bei den Arbeitsprozessen.

„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 nach vollziehen zu können, werden Facharbeiter:innen der gewerblich-technischen und

immer mehr auch den kaufmännischen Berufsfeldern mit diesem Prozessverständnis konfrontiert.“ (Faßhauer et al. 2021)

So zeigen Sudhoff (2021) sowie Löhr-Zeidler et al. (2016) über 20 grundlegende Schwerpunkte für Lernfabriken an beruflichen Schulen, die in einer (vollständigen) Anlage abgebildet werden können. Die Bandbreite reicht von Digitalisierungsprozessen über Produktionsmanagementprozesse hin zu Automatisierung, Künstliche Intelligenz, Produktentwicklung und Produktionsplanung, wie auch die Anlagensteuerung über ein Manufacturing Execution System (MES). Die Themenstellungen sind jedoch nicht immer mit beruflichen Handlungen verknüpft, oftmals dominieren Fragestellungen zum Verständnis und Einordnung der Technik. Ein klareres Referenzraster für berufliche Fragestellungen der gewerblich-technischen Fachrichtungen bilden die generischen beruflichen Handlungsfelder Industrie 4.0 von Becker et al., 2017. Diese umfassen:

- Anlagenplanung – Simulation
- Anlagenaufbau – Vernetzung
- Anlageneinrichtung und Inbetriebnahme
- Anlagenüberwachung
- Prozessmanagement – Visualisierung/Monitoring/Koordinierung/Organisation
- Datenmanagement – Umgang mit Betriebsdaten/Softwarezugang/Parametrieren/Programmieren
- Instandhaltung
- Instandsetzung – auch softwaregestützt an vernetzten Anlagen
- Störungssuche und -behebung

Hinzu kommen Fragestellungen zu Grundlagen der Produktentwicklung, Arbeitsplanung, Fertigungssteuerung, Produktionsmanagement und Software-Engineering für Produktionssysteme, die bei der Erstellung eines Produktes innerhalb der Lernfabrik umgesetzt werden können. Der Zusammenhang zwischen Produktentwicklung und anschließender Produktion wird nachvollziehbar vermittelt. Neben den beruflichen Aspekten wird auch ein Bewusstsein für die Situation der potentiell eingesetzten Mitarbeiter:innen geschaffen (Gräßler et al. 2016).

Lernfabriken vereinen somit eine Reihe von lernförderlichen Faktoren (Rau 2004) die maßgeblich den Wissenstransfer beeinflussen (Tynjälä et al. 2021). Eine didaktisch wertvolle Lernumgebung in Anlehnung an die Prozesse der vollständigen Handlung (Seufert 2021) umfasst nach Rau (2004) folgende Fähigkeiten:

- Einbeziehen eigener Ideen bei der Arbeitsausführung
- Arbeitsintensität: Zeitdruck, Arbeitstempo, Schwierigkeit, Arbeitsmenge)
- Vorhersagbarkeit: Handlungs- & Entscheidungsspielräume
- Erleben von Kontrolle über eine Situation
- Unmittelbare Ergebnisrückmeldungen

- Körperliche Abwechslung
- Übertragene Verantwortung ganz allein tragen oder. gesamte Arbeitsgruppe für Arbeitsergebnis verantwortlich
- In der Arbeitstätigkeit bereits vorhandenes Vorwissen effektiv nutzen
- Möglichkeit sich weiterzubilden
- Neues dazu lernen
- Aufgabenvielfalt/Abwechslungsreichtum

Voraussetzungen für die Kompetenzentwicklung in der Arbeit: Vorhersagbarkeit, Aufgabenvielfalt, Ergebnisrückmeldungen (Rau 2004). Die sowohl an die beruflichen Lernfabriken gestellten Anforderungen, als auch die damit verbundenen Herausforderungen zum Wissenstransfer, offenbaren die Komplexität dieses recht neuen Lernraums. Mit der im folgenden beschriebenen Erhebung soll die Grundlage für eine forschungsbasierte Annäherung an die beruflichen Lernfabriken als komplexe Lernumgebung und neuen Lernraum für die berufliche Bildung unter Berücksichtigung möglichst aller kennzeichnenden Faktoren gelegt werden. Dazu zählt vor allem eine vertiefte Perspektive auf digitale Arbeits- und Geschäftsprozesse als Lernräume im 21. Jahrhundert.

3 Erhebungsdesign und Methode

Lernfabriken gelten als vielversprechende und methodisch hochkomplexe Lernräume (Leppert 2021), dennoch gibt es aktuell nur wenige Forschungsarbeiten, die den Einsatz, die Ausrichtung und die Gelingensbedingungen von Lernfabriken in der beruflichen Bildung untersuchen.

3.1 Instrumentenentwicklung

Aufgrund der noch fehlenden Forschungsansätze wurde bei der Instrumentenentwicklung ein theoriegeleitetes exploratives Verfahren angewendet (Döring/Bortz 2016; Cohen et al. 2018). Um ein möglichst umfassendes Spektrum abdecken zu können, sind alle Items auf Grundlage von vorangegangenen Forschungsarbeiten einzelner Aspekte (z. B. Roll/Ifenthaler 2020; Scheid 2018; Windelband 2023) oder Reflexionen (z. B. Faßhauer et al. 2021; Windelband 2023) entwickelt worden. Zwar finden sich nur wenige Forschungsarbeiten darüber wie eine Lernfabrik inhaltlich und didaktisch konzipiert ist, umso klarer ist aber die Bedeutung einer Lernfabrik für moderne und vor allem digitale Arbeitsprozesse:

„Die Implementierung einer Lernfabrik bedeutet für die einzelne berufliche Schule einen erheblichen Innovationsschub, der deutlich über die eigentliche technologische Weiterentwicklung hinaus wirksam wird. Er ist zugleich Ergebnis und Anlass für einen ggf. tiefgreifenden sozialen Gestaltungsprozess im Rahmen der Schulentwicklung, der zumindest auch die Organisationsentwicklung, die Personal- und Unterrichtsentwicklung sowie die Rahmung interner und externer Kooperationen beeinflusst. Einen wesentlichen Einflussfaktor stellt jedoch die Technologie als solche dar, so u.a. die Zusammensetzung technischer Komponenten der Lernfabrik sowie der Digitalisie-

rungsgrad der Schule und die Nutzung digitaler Medien insgesamt.“ (Windelband et al. 2022, 63).

Diesen umfänglichen Anspruch greift der Fragebogen mit vier Kategorien und insgesamt 41 Items auf:

A. Fragen rund um die Lernfabrik, mit 14 Items.

Mit diesen Items werden grundlegende Kennwerte rund um die eingesetzte Lernfabrik abgefragt und dabei die involvierten Abteilungen, eingesetzte Personengruppen und grundsätzliche Zwecke erhoben (s. u. Abschnitt 4.1).

B. Fragen zur Prozessgestaltung der Lernfabrik, mit 9 Items.

Mit diesen Items werden hier spezifische Merkmale der Prozessgestaltung der untersuchten Lernfabrik beleuchtet. Hiermit werden thematische Schwerpunkte, Simulation von Produktzyklen ebenso wie häufig verwendete Lehr-Lernmethoden und zusätzlich vermittelte Themenbereiche aus dem Schulkontext erhoben (s. u. Abschnitt 4.2).

C. Fragen zu den didaktischen Komponenten, mit 8 Items.

Mit acht umfangreichen Items werden hier die Kompetenzstrukturmodelle des beruflichen Lernens abgebildet. Zudem werden sowohl Einstellungen zum nachhaltigen Einsatz von digitalen Medien im Unterricht als auch deren Mehrwert aus Sicht verantwortlichen Personen fokussiert.

D. Demographische Daten zur ausfüllenden Person, mit 10 Items.

Mit zehn Items werden hier die demographischen Daten der verantwortlichen Person erhoben. Besonderes Augenmerk liegt auf der Qualifikation und der Berufserfahrung.

Somit werden eine Reihe von Hintergrundvariablen rund um den Einsatz und die Bedingungen von beruflichen Lernfabriken (z. B. Größe, Art, Nutzungsverhalten, Auslastung, Akzeptanz, Ausstattung, Weiterentwicklung, Kooperationen) abgedeckt. Adressat dieser Fragen ist die an der jeweiligen beruflichen Schule verantwortliche Person für die Lernfabriken. Tabelle 1 zeigt dabei die Kategorien, ausgewählte Itembeispiele sowie die entsprechenden Auswahlmöglichkeiten aus dem Fragebogen.

Tabelle 1: Kategorien, Itembeispiele und Auswahlmöglichkeiten des Fragebogens zu Lernfabriken

Kategorie	Itembeispiel	Auswahlmöglichkeit
A	<p>Was ist der hauptsächlichste Zweck der betriebenen Lernfabrik? (in Anlehnung an Abele et al. 2015)</p> <p>Wie häufig werden einzelne Komponenten der Lernfabrik erneuert bzw. ausgetauscht?</p>	<p>Einfachwahlmöglichkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung der Ausbildungsprozesse • Unterstützung von Weiterbildungsprogrammen • Forschung zu ausgewählten Themenbereichen <p>Freitextfeld</p>
B	<p>Wo sehen Sie die thematischen Schwerpunkte in der Lernfabrik? (in Anlehnung an Sudhoff 2021; Löhr-Zeidler et al. 2016)</p> <p>Welche Bereiche der Produktlebenszyklen werden in der Lernfabrik abgebildet? (in Anlehnung an Becker et al. 2017)</p>	<p>Mehrfachnennungen möglich</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung von Produktionsprozessen • Produktionsmanagement • Problemdiagnose und -lösung • Robotik • Mensch-Maschine-Schnittstelle • Manufacturing Execution System (MES) • Service und Instandhaltung • Vernetzung und Datensicherheit <p>(insgesamt 21 Antwortmöglichkeiten)</p> <p>Mehrfachnennungen möglich.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anlagenplanung • Simulation • Anlagenaufbau • Vernetzung • Anlageneinrichtung und Inbetriebnahme • Anlagenüberwachung • Prozessmanagement • Visualisierung/Monitoring/Koordinierung/Organisation <p>(Insgesamt 10 Antwortmöglichkeiten)</p>
C	<p>Was glauben Sie, wird in der Lernfabrik überwiegend entwickelt? (Kompetenzstrukturmodell beruflichen Lernens; Lindemann 2015; Sloane 2005; Dilger/Sloane 2005)</p>	<p>Einschätzung, von 1 = wird gar nicht vermittelt, bis 5 = wird sehr fundiert vermittelt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Soziale Kompetenz • Fach- & Sachkompetenz • Prozesskompetenz • Personale Kompetenz • Sprachkompetenz

<p>Welchen dieser Punkte können Sie zustimmen? (Zinn 2014)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mathematisches Verständnis • Symbole/Zeichen- und Textinterpretation • Methodenkompetenz • Lernkompetenz • Überzeugungen und Werthaltungen <p>Einschätzung, von 1 = stimme gar nicht zu, bis 5 = stimme voll zu</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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.
<p>D</p> <p>Wie viele Jahre haben Sie insgesamt an Berufserfahrung?</p> <p>Falls Sie im Schulkontext tätig sind. Welchen Qualifizierungspfad haben Sie gewählt?</p>	<p>Freitextfeld</p> <p>Einfachwahlmöglichkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundständiges Lehramtsstudium • Studium eines anderen Fachbereichs • Alternativer Zugang plus Freitextfeld

Somit wird deutlich, dass im Hauptteil des Fragebogens didaktisch-methodische Komponenten der Unterrichtsentwicklung sowie der Prozessgestaltung der Lernfabrik erhoben werden.

Ebenso dürften Aspekte der schulischen Personalentwicklung, insbesondere der Rekrutierung und Fortbildung von Lehrkräften für den Einsatz von Lernfabriken eine erhebliche Rolle spielen. Dies wird im Fragebogen über Items zum Beispiel zur Qualifikation der beteiligten Lehrkräfte (in Anlehnung an Gössling et al. 2020) erreicht. Die Bündelung der 41 Items und der deskriptive Ansatz sollen einen ersten Einblick in die Lernfabriken als ein Lernort der beruflichen Bildung ermöglichen.

3.2 Durchführung

Im Rahmen einer online gestützten quantitativen Erhebung wurde in einem ersten Schritt ein umfassender Zugang zu allen 75 beruflichen Schulen mit Lernfabriken 4.0 in Baden-Württemberg etabliert. Dabei kooperieren auch unterschiedliche berufliche Schulen in der Umsetzung einer beruflichen Lernfabrik. Zum Vergleich wurden auch im Freistaat Bayern an beruf-

lichen Schulen Daten zum Einsatz von Lernfabriken erhoben. Die Konzentration auf den süddeutschen Raum ist bedingt durch die einschlägigen Förderinitiativen und die dortige große Verbreitung der Lernfabriken. Der Erhebungszeitraum war zwischen dem Dezember 2021 und Juni 2022. Gemeinsam mit einem An- und Empfehlungsschreiben wurde der Link zum Fragebogen über das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg sowie das Kultusministerium Bayern versendet. Dem Fragebogen vorgeschaltet war eine informierte Zustimmung. Die Datenerhebung erfolgte nach den DSGVO Standards für Onlinefragebogen. Die durchschnittliche Bearbeitungszeit des Fragebogens lag bei 20 Minuten.

3.3 Stichprobe

Im Rahmen der Erhebung wurden gezielt jeweils die federführenden Akteur:innen einer berufsschulischen Lernfabrik befragt. Je nach Bundesland werden die Einrichtungen zum Beispiel als „Lernfabriken 4.0“ (Baden-Württemberg) oder als „Lernfabrik“ (Freistaat Bayern) betitelt. Baden-Württemberg hat in zwei Initiativen „Lernfabriken 4.0“, Bayern in zwei Förderinitiativen „Industrie 4.0“ und „Exzellenzschulen an Berufsschulen“ (Wilbers/Windelband 2021) das Konzept in den letzten Jahren vorangetrieben. So sind allein in Baden-Württemberg 74 berufliche Schulen beteiligt. Dies entspricht rund 65 Prozent der öffentlichen beruflichen Schulen mit einem entsprechenden Angebot an Aus- und Weiterbildungsgängen in Metall- und Elektroberufen. In diesem Kontext werden Lernfabriken als

„[...] ‚vernetzte Anlagen‘ [verstanden], welche ermöglichen, das abstrakte Konzept von Industrie 4.0 für Nachwuchs- und Fachkräfte greifbar zu machen. Das Konzept der Lernfabriken basiert auf sechs Szenarien, die zusammen die Industrie 4.0-Philosophie für die schulische und unterrichtliche Umsetzung abdecken.“ (Barthruff et al. 2021, 83)

verstanden. Zu den ausfüllenden Expert:innen wurden zahlreiche biographische, wie auch die berufliche Entwicklung betreffende Hintergrundfragen gestellt. Insgesamt 69 Fragebögen mit den dahinter stehenden Expert:innen aus der jeweiligen Schule wurden hierfür analysiert. Das Durchschnittsalter betrug 51 Jahre (M= 50,90; Min= 34; Max= 62) und die Amtsbezeichnung im Schuldienst variierten zwischen Studienrat und Oberstudiendirektor wobei die Mehrzahl der Befragten die Position des Studiendirektors (28 Nennungen) oder Oberstudienrats (19 Nennungen) inne hatten. In der genannten Position arbeiteten sie im Schnitt seit 8,5 Jahren (M= 8,48; Min= 0,5; Max= 22). Insgesamt hatten sie 23,5 Jahre Berufserfahrung (M= 23,51; Min= 3; Max= 41). Als Zugang zur Position gaben 52 Personen ein grundständiges Lehramtsstudium an. 13 Personen nannten einen alternativen Zugang, zum Beispiel Ingenieursstudium mit anschließender pädagogischen Nachqualifikation. Der Arbeitsschwerpunkt lag erwartungskonform im dualen System (36 Nennungen) und in der Weiterbildung (19 Nennungen) sowie im Übergangssystem (3 Nennungen). Zur beruflichen Weiterentwicklung und im Rahmen des lebensbegleitenden Lernens haben 54 Personen in den letzten drei Jahren an einer formalen Weiterbildung teilgenommen. So wurden 51 fachliche Weiterbildungen angegeben, 33 didaktische Weiterbildungen und 31 technische Weiterbildungen sowie eine zur generellen Schulorganisation (Mehrfachnennungen waren möglich).

4 Ergebnisse

Der deskriptive Ansatz soll einen ersten Einblick in die Lernfabriken als Lernraum ermöglichen. Die deskriptive Analyse wird Antworten auf die Fragen geben können, welche didaktischen Komponenten umfänglich verwendet werden; wie der Betrieb der Lernfabrik und die komplexen Lehr-Lernarrangements zusammenwirken; wie die tatsächliche räumliche und technische Ausstattung der Lernfabrik ist; welche Möglichkeiten die Lernfabrik hat, den Anforderungen der Industrie 4.0 gerecht zu werden und welchen Grad an Auslastung und Akzeptanz eine Lernfabrik innerhalb der beruflichen Schule erfährt. Zudem werden Aspekte der schulischen Personalentwicklung, insbesondere der Rekrutierung und Fortbildung von Lehrkräften für den Einsatz von Lernfabriken eine Rolle spielen.

4.1 Allgemeine Fragen rund um die Lernfabrik

Hierbei werden mit 14 Items und Unterfragen grundlegende Kennwerte rund um die eingesetzte Lernfabrik dargestellt sowie die dabei involvierten Abteilungen, eingesetzten Personengruppen und grundsätzlichen Zwecke beschrieben.

Die befragten beruflichen Schulen mit Lernfabrik 4.0 zeigen ein heterogenes Bild hinsichtlich (a) ihrer Größe, (b) der involvierten Abteilungen sowie (c) ihrer Personalentwicklung und Fortbildung.

Zu (a): In der Mehrzahl sind zwei (34 Nennungen) bzw. drei Abteilungen (21 Nennungen) in die jeweilige Lernfabrik einbezogen. Eine stärkere Einbindung von noch mehr Abteilungen kam nur auf vier Nennungen. In acht Fällen ist nur eine Abteilung mit der Lernfabrik befasst. Diese Abteilungen umfassen überwiegend Ausbildungen der Metall- und Elektroberufe in Teil- und Vollzeit, Techniker:innen sowie ggf. Meisterklassen, z. B. für Industriemeister:innen. Daneben spielen Abteilungen für Berufskollegs und Technische Gymnasien eine Rolle. Somit werden überwiegend Mechatroniker:innen, Fachinformatiker:innen, Industriemechaniker:innen sowie Produktdesigner:innen ausgebildet. Das Spektrum umfasst weiterhin auch Maschinen- und Anlagenführer:innen, Industrieelektriker:innen, Elektriker:innen für Geräte und Systeme, Werkzeugmechaniker:innen, Zerspanungsmechaniker:innen, Feinwerkmechaniker:innen sowie IT-Systemelektroniker:innen.

Zu (b): Im Schnitt sind 81 Lehrkräfte (M= 80,89; Min= 15; Max=180) an den jeweiligen Schulen beschäftigt. An der Lernfabrik selbst sind deutlich weniger Lehrkräfte involviert. Im Schnitt sechs Personen (M= 5,89; Min= 1; Max= 14) und bei einem Drittel der Schulen eine weitere unterstützende Person, z. B. für Betrieb und Wartung der Lernfabrik. In Einzelfällen werden auch externe Personengruppen für die Software oder Ausbilder:innen aus den dualen Partnerbetrieben unterstützend tätig. Dabei integrieren die Lehrkräfte oftmals nur einzelnen Komponenten und in unregelmäßiger Form um die behandelten Themenfelder in den Unterricht. Die gesamte Lernfabrik wird dabei nur sehr selten genutzt. So gaben mehr als 70 Prozent der befragten Personen an, die Lernfabrik nur partiell zu nutzen.

Zu (c): In Anlehnung an Gössling et al. (2020) wurden auch Fragen rund um die Qualifikation der beteiligten Lehrkräfte gestellt. 80 Prozent gaben dabei an, dass es kein festes bzw. verbind-

liches Programm zur Qualifikation gibt. Nur 50 Prozent geben an, dass überhaupt Fortbildungen besucht werden müssen bevor die Teilnahme an der Lernfabrik erfolgen kann. Das umfasst meist Grundlagenkurse zur Bedienung der Lernfabrik und Softwareschulungen zu den gängigen Programmen. Die meisten Schulungen erfolgen als schulinterne Lehrkräftefortbildung (SchiLF) und/oder als Einstiegskurse durch die Hersteller der Lernfabrik. Auf die Frage, welche Schulungen wünschenswert sind, geben mehr als 50 Prozent der Befragten Akteur:innen an, dass keine zusätzlichen Schulungen notwendig sind. Die Rekrutierung für die Arbeit an der Lernfabrik erfolgt letztlich über motivierte Lehrkräfte in den einschlägigen Fachbereichen. Diese werden aktiv, durch die Abteilungs- und Schulleitungen angesprochen bzw. bekunden grundsätzlich Interesse. Ein gezieltes Rekrutierungsprogramm oder eine formalisierte Weiterbildung bzw. geregelte Qualifizierungspfade werden nicht genannt.

Die Durchschnittliche Schüler:innenzahl beträgt in etwa 1.400 ($M= 1423$; $Min= 120$; $Max= 4800$) für die gesamte Einrichtung. Regelmäßig wird allerdings nur ein geringer Teil an Schülerinnen und Schülern an der Lernfabrik unterrichtet. Bei den Techniker:innen ist die prozentuale Nutzungen deutlich höher. Tabelle 2 führt dies anhand der ermittelten Werte aus.

Tabelle 2: Prozentualer Anteil der Personen die regelmäßig an der Lernfabrik unterrichtet werden

Prozentualer Anteil	Schüler:innen	Techniker:innen
weniger 10%	28	8
10-25%	27	8
26-50%	3	9
51-75%	4	7
76-90%	1	6
mehr als 90%	0	14

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Ergebnisse zur Lernfabrik selbst. Aufgrund der im Aufbau befindlichen Struktur der Lernfabriken werden einzelne Komponenten selten erneuert bzw. ausgetauscht. Als Routinen zum Austausch werden von den Befragten 3-5 Jahre als Intervalle angegeben. Grundsätzlich werden die Anlagen als zu neu beschrieben, um aufgrund von Defekten ganze Strukturen austauschen zu müssen. Häufig werden daher nur Komponenten des mechanischen Verschleißes, defekte Kleinteile wie Sensoren, Schaltelemente, Anschlüsse oder Batterien ausgewechselt. Die Lernfabrik selbst wird meist als ein dynamisches Projekt gesehen. Adaptionen und Verbesserungen sind dabei fest eingeplant. Dies spiegelt sich zum Teil in den Einschätzungen zur Ausstattung der Lernfabrik wider, die in Tabelle 3 wiedergegeben werden.

Tabelle 3: Einschätzungen zur Struktur der Lernfabrik

Item	M
Wie würden Sie die räumliche Ausstattung der Lernfabrik beschreiben?	4,18
Wie würden Sie die technische Ausstattung der Lernfabrik beschreiben?	4,31
Wie würden Sie die Möglichkeiten der Lernfabrik beschreiben, den Anforderungen der Industrie 4.0 gerecht zu werden?	3,78
Wie würden Sie den Digitalisierungsgrad der eigenen Institution (z. B. Berufsschule) beschreiben?	3,73
Wie würden Sie den Digitalisierungsgrad der Lernfabrik beschreiben?	4,01
Wie würden Sie die allgemeine Auslastung der Lernfabrik beschreiben?	2,81
Wie würden Sie die personelle Besetzung der Lernfabrik beschreiben?	2,82

Von 1 = vollkommen unzureichend, bis 5 = vollkommen ausreichend

M= Mittelwert

Bei der Gestaltung und Umsetzung der Lernfabrik zeigt sich ein breit gestreutes Feld an Akteursgruppen und Auffassungen. Dies reicht vom eigenen Schulprojekt, kleinen dualen Partnern, wenige Großbetriebe, mehreren mittelständischen Unternehmen oder ganzen Kooperationsclustern, die die gesamte Region abdecken. Insgesamt wird die Zeit seit Beginn der Corona-Pandemie als hinderlich für die Initiierung und Aufrechterhaltung von Kooperationen gesehen. Tabelle 4 zeigt die große Bandbreite auch an der Aufteilung der an der Lernfabrik beteiligten Partnern (Mehrfachnennungen waren möglich).

Tabelle 4: Größe der an der Lernfabrik beteiligten Unternehmen

Unternehmensgröße	Nennungen
Kleinstunternehmen: weniger als 10 Beschäftigte	13
kleine Unternehmen: 10 bis 49 Beschäftigte	21
mittlere Unternehmen: 50 bis 249 Beschäftigte	36
Großunternehmen: 250 oder mehr Beschäftigte	45

4.2 Fragen zum betrieblichen Ablauf der Lernfabrik

Mit zwölf Items werden hier spezifische Merkmale der Prozessgestaltung der untersuchten Lernfabrik beleuchtet. Dies umfasst thematische Schwerpunkte, Simulation von beruflichen Handlungsfeldern ebenso wie häufig verwendete Lehr-Lernmethoden und zusätzlich vermittelte Themenbereiche aus dem Schulkontext. Ausgangspunkt ist die Frage nach den thematischen Schwerpunkten einer Lernfabrik. Tabelle 5 zeigt diese nach der Häufigkeit der Nennung. Bei der Beantwortung waren Mehrfachnennungen möglich.

Tabelle 5: Thematischen Schwerpunkte in der Lernfabrik, nach Sudhoff (2021) und Löh-Zeidler et al. (2016)

Rangstufe	Thematik	Häufigkeit
1	Automatisierung	53
2	Digitalisierung	42
3	Robotik	38
4	Vernetzung und Datensicherheit	37
5	Manufacturing Execution System (MES)	36
6	Flexible Fertigung	33
7	Mensch-Maschine-Schnittstelle	32
8	Problemdiagnose und -lösung	32
9	Service und Instandhaltung	28
10	Produktionsmanagement	27
11	Verbesserung von Produktionsprozessen	20
12	Energie- und Ressourceneffizienz	19
13	Energiemanagement	17
14	Künstliche Intelligenz	13
15	Produktentwicklung	12
16	Eingebettete Systeme	11
17	Produktentwicklung und Produktionsplanung	10
18	Assistenzsysteme	8
19	Fabrikplanung	5
20	Intralogistik	3
	Weitere thematische Schwerpunkte als Freitextfeld	<ul style="list-style-type: none"> • Datenbanksysteme und Datenhaltung • Microcontroller und Sensorik • Vernetzung von technischen und kaufmännischen Berufen und Unterrichtsinhalten

Die Hauptfelder stellen somit die aktuellen Herausforderungen und Anforderungen an eine zukunftsorientierte Ausbildung mit dem Schwerpunkt auf einer digitalisierten und vernetzten Produktion dar. Daneben ist die Darstellung von komplexen Arbeitsschritten und die flexible Ausrichtung relevant. Entsprechend nachrangig sind Themenbereiche der Produktentwicklung, Produktionsplanung sowie auch der gesamten Fabrikplanung.

Entsprechend der Möglichkeiten einer sich zunehmend digitalisierenden Arbeitswelt muss auch eine Lernfabrik nicht mehr alle generischen Handlungsfelder für Industrie 4.0 komplett real abbilden. Es besteht die Option der Simulation. Die neun durch Becker et al. (2017) identifizierten generischen Handlungsfelder für Industrie 4.0 beschreiben von der Anlagenplanung bis

zur Störungssuche an der in Betrieb stehenden Anlage den Prozess. Tabelle 6 zeigt die Verteilungen, bei der Beantwortung waren Mehrfachnennungen möglich.

Tabelle 6: Berufliche generische Handlungsfelder für Industrie 4.0 nach Becker et al. (2017)

Generische Handlungsfelder	Real	Simuliert	Nicht vorhanden
Anlagenplanung – Simulation	9	17	35
Anlagenaufbau – Vernetzung	37	6	16
Anlageneinrichtung und Inbetriebnahme	42	5	11
Anlagenüberwachung	44	1	14
Prozessmanagement – Visualisierung/Monitoring/Koordinierung/ Organisation	38	11	10
Datenmanagement – Umgang mit Betriebsdaten/Softwarezugang/ Parametrieren/Programmieren	39	12	9
Instandhaltung	35	5	19
Instandsetzung – auch softwaregestützt an vernetzten Anlagen	22	5	32
Störungssuche und -behebung	43	7	9
Weitere Bereiche Freitextfeld	1 ohne Nennung		

Deutlich wird bei dieser Auflistung, dass einige dieser beruflichen generischen Handlungsfelder für Industrie 4.0, die in der bayme vbm Studie identifiziert wurden (Spöttl et al. 2016, 127ff.), mit den aktuellen Anwendungen der Lernfabriken nicht oder vorwiegend nur als reales Handlungsfeld abgebildet werden.

Ein differenziertes Bild zeigt sich auch in der Zusammensetzung der Lernfabriken. 44 Einrichtungen setzen bei der Lernfabrik ganz auf den Einkauf fertiger Module im Fremdbezug. 19 Einrichtungen hingegen ergänzen die gelieferten Module in Eigenfertigung. Fertige Industriekomponenten stellen bei der Mehrzahl der Einrichtungen den Standard dar (43 Nennungen), während acht Einrichtungen auch Nicht-Industriekomponenten im Kontext der Lernfabrik einsetzen. Insgesamt spielen cyberphysische Komponenten mit 32 Nennungen eine größere Rolle als virtuelle technische Komponenten mit 22 Nennungen.

Neben den gängigen fach- und sachspezifischen Unterrichtskomponenten werden auch weitere Themenbereiche in der Lernfabrik vermittelt. Die Tabelle 7 zeigt nach Nennung der Häufigkeiten eine Rangfolge von weiteren Themenbereichen, die nach Sudhoff (2021) unmittelbar mit dem Betrieb und der Ausbildung in der modernen Produktionswelt in Beziehung stehen.

Tabelle 7: Zusätzliche Themenbereiche nach Sudhoff (2021)

Rangstufe	Themenfeld	Nennung
1	Arbeitssicherheit	35
2	Konzepte der vorausschauenden Wartung	32
3	Management und Organisation	18
4	Investitionsplanung	17
5	Einkauf und Verkauf	12
6	Marketing	6
7	Arbeitsbelastung (physisch, psychisch)	5
8	Personalplanung	2
9	Mitbestimmung	1

Aufgrund der relativen Neuheit von Lernfabriken, in Baden-Württemberg wurde 2015 die erste berufliche Lernfabrik an der Gewerblichen Schule in Göppingen eröffnet, sind viele Lernfabriken noch in der Implementierungsphase. Etwa die Hälfte befindet sich in der Phase, in welcher tatsächlich im Unterricht damit gearbeitet werden kann. Tabelle 8 zeigt die Phasen der Lernfabriken und zeigt ebenso auf, wo die Befragten die größten Herausforderungen sehen.

Tabelle 8: Phasen einer Lernfabrik nach Sudhoff (2021)

Phasen einer Lernfabrik	Aktueller Stand	Größte Herausforderung
Definition von Lernzielen u. Zielgruppen	3	7
Planung der Lernfabrikumgebung	1	6
Umsetzung der Lernfabrikumgebung	8	14
Zielgruppenspezifische Detaillierung der Lernziele	10	13
Technisch-methodische Gestaltung des Lernmoduls	7	15
Vorbereitung und Durchführung des Lernmoduls	13	2
Betrieb und Evaluation	18	2

Im Rahmen einer Freitextmöglichkeit wurden Gründe für die Herausforderungen von den befragten Expert:innen genannt. So erfordert „*der Umgang mit der Lernfabrik [...] sehr umfangreiche spezielle Kenntnisse zu den angewendeten Technologien, die alle Ebenen der Automatisierungspyramide umfassen*“ (Freitextantwort in der Kategorie). Hinzu kommt der hohe zeitliche Aufwand, was Planung, Koordination, Aufbau, Betrieb, der auch konstante Schulungen und Wartungen umfasst. Die befragten Personen sahen sich häufig in einem Spannungsfeld zwischen „*möglichst groß mit vielen Modulen und Möglichkeiten oder eher kleiner aber besser im Unterricht umsetzbar mit Einbeziehung einer realen Fertigung (z. B. Fräs-*

maschine mit Roboter)“ (Freitextantwort in der Kategorie). Auch die Bildungspläne werden diesbezüglich als zu vage formuliert angesehen. Also, knappe finanzielle und personelle Ressourcen in Kombination mit relativ neuen Wegen für die Unterrichtsgestaltung. Dabei galt es als herausfordernd die „*Reduktion eines komplexen Gesamtsystem auf die bildsamen Lerninhalte*“ (Freitextantwort in der Kategorie) zu bewerkstelligen. Dies zeigt sich u.a. in der „*Umstellung der Unterrichtsinhalte weg von den bisherigen Lernsituationen hin zu Lernsituationen mit Bezug zur smart Factory bzw. CP-Labs*“ (Freitextantwort in der Kategorie).

5 Diskussion

Dieser Beitrag reflektiert die Lernräume und die Entwicklung der Lernfabriken in der beruflichen Bildung mit dem Ziel, eine erste wissenschaftliche Grundlage für eine explorativ deskriptive Erhebung zu Lernfabriken zu legen. Lernfabriken gelten als vielversprechende und methodisch hochkomplexe Lernräume (Leppert 2021), deren Komponenten und Anwendungen dennoch kaum empirisch und flächendeckend untersucht wurden (Windelband et al. 2022). Das hier vorgestellte Instrument stellt einen ersten Schritt zur sukzessiven Deskription und Untersuchung von Lernfabriken an beruflichen Schulen dar. Der Hauptteil des Fragebogens zielt auf die Gestaltung der Lernfabriken, didaktisch-methodische Umsetzung in den Lernprozess, der Prozessgestaltung der Lernfabrik sowie dem Digitalisierungsgrad ab.

Ebenso werden Aspekte der schulischen Personalentwicklung, insbesondere der Rekrutierung und Fortbildung von Lehrkräften für den Einsatz von Lernfabriken in den Blick genommen. Ein Gradmesser für den erreichten Innovationsgrad ist die abteilungsübergreifende schulinterne Zusammenarbeit sowie die externe Lernortkooperation mit dualen Partnern im Kontext der Lernfabrik. Dies wird im Fragebogen über Items zu den Rahmenbedingungen der Lernfabrik und weiterführenden Fragen zu den dualen Partnern, die an der Gestaltung und Umsetzung der Lernfabriken beteiligt sind, erreicht. Dazu zählen ebenso deskriptive Parameter wie die Unternehmensgröße der beteiligten Partner. Darüber hinaus finden sich noch eine Reihe grundlegender Fragen, welche die Ausstattung und den Zustand der Lernfabrik beschreiben. Dies sind beispielsweise Items zur Selbsteinschätzung (von 1 = vollkommen unzureichend, bis 5 = vollkommen ausreichend) zu den Feldern:

- räumliche Ausstattung der Lernfabrik
- technische Ausstattung der Lernfabrik
- Möglichkeiten der Lernfabrik den Anforderungen der Industrie 4.0 gerecht zu werden
- Digitalisierungsgrad der eigenen Institution (z. B. Berufsschule)
- Digitalisierungsgrad der Lernfabrik
- allgemeine Auslastung der Lernfabrik
- personelle Besetzung der Lernfabrik

Die dargestellten ersten Ergebnisse zeigen wie dynamisch und heterogen der Prozess zur Implementierung von Lernfabriken gestaltet ist. Viele der Lernfabriken sind noch in der Einstiegsphase. So werden neue Wege gedacht, bewährte etabliert und mit den Anforderungen der

sich stetig digitalisierenden Arbeitswelt abgeglichen. Dabei stoßen die befragten Akteur:innen in den berufsbildenden Schulen rasch an formale und inhaltliche Grenzen. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die beruflichen Handlungsfelder im Kontext einer Industrie 4.0-Welt (noch) nicht immer abgebildet werden. Eine Studienteilnehmer fasst dies drastisch zusammen: *„Der Einsatz ist insgesamt schwierig, es fehlt an Ideen/Konzepten. Die Anlage ist teuer, umfangreich und hat dennoch kaum etwas mit der Praxis zu tun.“* Diese Aussage macht eindringlich deutlich, dass die Implementierung einer Lernfabrik für die einzelne berufliche Schule zwar einen erheblichen Innovationsschub darstellen kann (Windelband et al. 2023), dieser aber nur gelingt, wenn alle Beteiligten Personen auch das gleiche Ziel haben und mit ausreichend Ressourcen und Kompetenzen ausgestattet sind. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass besonders in der Konzeptionsphase und in der ersten Phase des Betriebs der Lernfabrik erhebliche Konflikte ausstehen sind. Die Einführung einer Lernfabrik ist ein Prüfstein, der die bestehenden Strukturen hinterfragt und teilweise neue Strukturen erzwingt. Die von Rau (2004) und Tynjälä et al. (2021) aufgezeigten notwendigen Faktoren für einen gelungene Wissenstransfer wie zum Beispiel Einbeziehen eigener Ideen bei der Arbeitsausführung, Vorhersagbarkeit und Erleben von Kontrolle über eine Situation gelten genauso auch für die Akteur:innen der Lernfabrik. Die an Lernfabriken gestellten Anforderungen als auch die damit verbundenen Herausforderungen zum Wissenstransfer offenbaren die Komplexität des Lernraumes. Dazu gehört das Verhältnis des Lernens in den Grundlagenlaboren und dem Lernen an der Gesamtanlage und erst damit tatsächlich in der Lernfabrik. Die Forschungshypothese lautete hier, dass vorwiegend in den Grundlagenlaboren in den Berufsschulen ausgebildet wird und es lediglich für einige wenige Ausbildungsberufe (z. B. Mechatroniker:in) sowie in den Techniker:innenklassen gelingt, angemessen problemorientierte berufliche Lernsituationen in der gesamten Lernfabrik umzusetzen. Hier bestätigen die Ergebnisse die Befunde aus älteren explorativen Studien zum berufsschulischen Einsatz von Lernfabriken in Baden-Württemberg, die zu einem sehr frühen Zeitpunkt der Implementierung durchgeführt wurden (Zinn 2014; Scheid 2018; Roll/Ifenthaler 2020; Windelband 2023). Ein wichtiger Erfolgsfaktor für das Gelingen und die nachhaltige Integration der Lernfabrik in den beruflichen Alltag ist, diese fest in die Lehrkräfteaus- und -weiterbildung zu integrieren. Wenn dies gelingt, dann können Lernfabriken einen wichtigen Beitrag im Kontext der beruflichen Ausbildung in den gewerblich-technischen Berufen und in anderen beruflichen Fachrichtungen liefern, da sie ein Denken, Arbeiten und Kooperieren in vernetzten Produktionssystemen fördern und den gesamten Wertschöpfungsprozess im Blick haben.

Der Charakter dieser dargestellten deskriptiv explorativen Studie kann als eine Einschränkung gesehen werden (Döring/Bortz 2016). Der Umstand, dass grundlegende und umfassende Forschungsarbeiten zum Vergleich und zur Validierung der hier vorgestellten ersten Ergebnisse bisher noch fehlen, erschwert die Einordnung. Dennoch kann die Studie einen ersten Schritt darstellen um bisher vernachlässigte Bereiche bei beruflichen Lernfabriken in einen größeren Kontext einzuordnen. Dabei kann dies nur als erster Punkt einer sich nun etablierenden projektbezogenen Forschungsreihe gelten. Die in Planung befindlichen Folgestudien werden, aufbauend auf den deskriptiven Ergebnissen einen akteurspezifischen Fragebogen entwickeln und implementieren.

Das Konzept der Selbsteinschätzung durch befragte Personen wird in der Forschungsliteratur (vgl. Cohen et al. 2018; Döring/Bortz 2016, Flick 2022) umfassend diskutiert. Die Limitationen einer Selbsteinschätzung befassen sich dabei meist mit dem Argument der fehlenden Kontrolle der Antworten durch beispielsweise Vorgesetzte oder Experten:innen in pädagogisch-psychologischer Diagnostik. Im Zuge dessen werden eine Reihe, bei dieser Erhebung verwendeter Punkte als Lösung genannt. Hierbei sind zu nennen, dass die Erhebungen gänzlich anonym stattfinden, dass den teilnehmenden Personen kein Nachteil durch eine Teil- bzw. Nichtteilnahme entsteht, dass die teilnehmenden Personen von Forschergruppen als die Expert:innen in dem behandelten Themenfeld verstanden werden, dass die gestellten Fragen keine Rückschlüsse auf sozial erwünschte Antworten zu lassen. Döring und Bortz (2016) betonen, dass in diesem Zusammenhang kein Verfahren zur Selbsteinschätzung ein Garant für absolute Wahrheiten darstellen kann. Mit dem bewussten Umgang mit Messtheoretischen Fehlerquellen kann allerdings die Aussagefähigkeit von Selbsteinschätzungsbögen deutlich gesteigert werden.

Die Ergebnisse der Recherche zu Lernfabriken sowie die ersten deskriptiven Ergebnisse fließen in die Konzeption eines zweiten Erhebungsdesigns ein. Dabei werden validierte Skalen zu Lehr-Lernkontexten in der beruflichen Bildung, Wissenstransfer und Lernfabriken als Innovatoren in der beruflichen Bildung mit dem beschriebenen Set an Items zur deskriptiven Einordnung der Prozesse an einer Lernfabrik kombiniert. Gleichzeitig wird der Kreis der zu befragenden Berufsschulen um zusätzliche Bundesländer erweitert, um eine umfassende Einschätzung zur Weiterentwicklung der berufsbildenden Schulen im Kontext der Anforderungen von Industrie 4.0/Digitalisierung zu erhalten.

Anmerkung

Die Autoren möchten an dieser Stelle explizit ihren Dank an Herrn Regierungsschuldirektor Tobias Barthruff (Referat 42) und das Ministerium für Kultus Jugend und Sport in Baden-Württemberg aussprechen. Durch die engagierte Unterstützung konnte die Befragung erst ermöglicht werden.

Literatur

Abele, E./Metternich, J./Tisch, M./Chryssolouris, G. et al. (2015): Learning factories for research, education, and training. In: *Procedia CiRp*, 32, 1-6.

Barthruff, T./Dorner, T./Hörner, R./Wiedmann, B. (2021): Die Strategie der Lernfabriken in Baden-Württemberg. In: Wilbers, K./Windelband, L. (Hrsg.): *Lernfabriken an beruflichen Schulen - Gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven*. Berlin, 83-94.

Becker, M./Spöttl, G./Windelband, L. (2017): Berufsprofile für Industrie 4.0 weiterentwickeln. Erkenntnisse aus Deckungsanalysen am Beispiel des Ausbildungsprofils Mechatroniker/-in. In: *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (BWP)*, 46 H. 2, 14-18.

Becker, M./Spöttl, G./Windelband, L. (2022): Flexible Kernberufsstrukturen für die digitalisierte Facharbeit. In: *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (BWP)*, 51, H. 3, 22-26.

Cohen, L./Mainion, L./Morrison, K. (2018): *Research Methods in Education*, 8th edition. London.

European Commission, Joint Research Centre (2018): *DigComp 2.1: the digital competence framework for citizens with eight proficiency levels and examples of use*. Luxembourg.

Dehnbostel, P. (2020): *Lernorte und Lernortkooperation – Erweiterungen und Entgrenzungen nicht nur in digitalen Zeiten*. In: *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (BWP)*, 49, H.4, 11-15.

Dehnbostel, P. (2021): *Lernorte der beruflichen Bildung*. In: Bellmann, L./Büchter, K./Frank, I./Krekel, E.M./Walden, G. (Hrsg.): *Schlüsselthemen der beruflichen Bildung in Deutschland*. Leverkusen, 127-140

Dilger, B./Sloane, P.F.E. (2005): *The Competence Clash – Dilemmata bei der Übertragung des 'Konzepts der nationalen Bildungsstandards' auf die berufliche Bildung*. In: *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online*, Ausgabe 8. Online: https://www.bwpat.de/ausgabe8/sloane_dilger_bwpat8.shtml (09.07.2022).

Döring, N./Bortz, J. (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin.

Faßhauer, U. (2020): *Lernortkooperation im Dualen System der Berufsausbildung – implizite Normalität und hoher Entwicklungsbedarf*. In: Arnold R./Lipsmeier A./Rohs M. (Hrsg.): *Handbuch Berufsbildung*. Wiesbaden, 471-484.

Faßhauer, U./Windelband, L. (2021): *Berufliche Lehrkräftebildung für die digitale Arbeitswelt kooperativ entwickeln – Ansatzpunkte für eine „Didaktik 4.0“*. In: *berufsbildung. Zeitschrift für Theorie-Praxis-Dialog*, 74, H. 190, 27-29.

Faßhauer, U./Wilbers, K./Windelband, L. (2021): *Lernfabriken: Ein Zukunftsmodell für die berufliche Bildung?* In: Wilbers, K./Windelband, L. (Hrsg.): *Lernfabriken an beruflichen Schulen - Gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven*. Berlin, 15-48.

Faßhauer, U./Windelband, L./Mutzke, B./Harm, S. (2021): *Lernfabriken an beruflichen Schulen als Gegenstand fachdidaktischer Professionalisierung – Entwicklung von standortübergreifenden Medienpaketen im beruflichen Lehramtsstudium*. In: *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online*, Ausgabe 40. Online: <https://www.bwpat.de/ausgabe/40/fasshauer-etal> (08.08.2022).

Flick, U. (2022): *The SAGE Handbook of Qualitative Research Design*. London.

Gössling, B./Hagemeier, D./Sloane, P.F.E. (2020): *Berufsbildung 4.0 als didaktische Herausforderung. Zum Umgang von Lehrkräften an berufsbildenden Schulen mit digitalisierten Arbeitswelten*. In: *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 115 H. 4, 546-566.

Gräßler, I./Pöhler, A./Pottebaum, J. (2016): *Creation of a Learning Factory for Cyber Physical Production Systems*. In: *Procedia CIRP*, 54, 107-112,

Guggemos, J./Seufert, S. (2021): *Teaching with and teaching about technology – evidence for professional development of in-service teachers*. In: *Computers in Human Behavior*, H. 115, 106613.

- Hantsch, R./Feichtenbeiner, R./Weber, H. (2021): Modell zur Gestaltung nachhaltiger betrieblicher Lernorte. In: Melzig, Ch./Kuhlmeier, W./Kretschmer, S. (Hrsg.): Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung. Die Modellversuche 2015-2019 auf dem Weg vom Projekt zur Struktur. Bonn, 362-381.
- Harteis, C. (2022): Research on workplace learning in times of digitalisation. In: Harteis, C./Gijbels, D./Kyndt, E. (Eds.): Research approaches on workplace learning: Insights from a growing field. Cham, 415-428.
- Kilian, M./Kuss, P./Hommelsheim, P. (2020): Spannungsfelder der Unternehmensverantwortung in einer digitalen Welt. In: Bertelsmann Stiftung/Wittenberg-Zentrum für Globale Ethik (Hrsg.): Unternehmensverantwortung im digitalen Wandel - Ein Debattenbeitrag zu Corporate Digital Responsibility. Gütersloh, 51-56.
- Kaufmann, A./Winkler, F./Zinke, G. (2022): Flexibilisierung in den industriellen Metall- und Elektroberufen: Impulse für die Ausbildung und die künftige Neuordnungsarbeit. In: Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (BWP), 51, H. 3, 17-21.
- Kreß, A./Wuchterl, S./Metternich, J. (2021): Design Approaches for Learning Factories – Review and Evaluation. In: Proceedings of the Conference on Learning Factories (CLF) 2021.
- Lee, E.A./Seshia, S.A. (2016): Introduction to Embedded Systems – A Cyber-Physical Systems Approach. Massachusetts.
- Leppert, S. (2021): Prozessmodelle als Grundlage für die Planung von Lernsituationen in komplexen Lehr-Lernarrangements. In: Wilbers, K./Windelband, L. (Hrsg.): Lernfabriken an beruflichen Schulen - Gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven. Berlin, 49-82.
- Link, N./Nepper, H.H. (2021): Über das TPACK-Professionswissen angehender Lehrkräfte zum Einsatz digitaler Medien im Technikunterricht. In Journal of Technical Education (JOTED), 9, H. 2, 142-167.
- Lindemann, H. J. (2015): Kompetenzorientierung. Kompetenzen beschreiben. Berlin.
- Liu, X./Xu, H./Liao, W./Yu, W. (2019): Reinforcement Learning for Cyber-Physical Systems In: 2019 IEEE International Conference on Industrial Internet (ICII), 318-327.
- Löhr-Zeidler, B./Hörner, R./Heer, J. (2016): Handlungsempfehlungen Industrie 4.0 - Umsetzungshilfen für Lehrerinnen und Lehrer der beruflichen Schulen. In: berufsbildung. Zeitschrift für Theorie-Praxis-Dialog, 70, H. 159, 11-14.
- McHauser, L./Schmitz, C./Hammer, M. (2020): Model-Factory-In-A-Box: A portable solution that brings the complexity of a real factory and all the benefits of experiential-learning environments directly to learners in industry. In: Procedia Manufacturing, 45, 246-252.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2016): A 21st Century Cyber-Physical Systems Education. Washington, DC.
- Pahl, J.P. (2022): Zeitgeschichtliche, gegenwärtige und zukünftige Perspektiven der beruflichen Aus- und Weiterbildung. In: Pahl, J.P. (Hrsg.): Berufliche Aus- und Weiterbildung im Berufsbildungsgesamtsystem. Wiesbaden, 293-421.

Rau, R. (2004): Lern- und gesundheitsförderliche Arbeitsgestaltung: Eine empirische Studie. In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie A&O, 48, H. 4, 181-192.

Roll, M./Ifenthaler, D. (2020): Lernortübergreifende Kompetenzentwicklung in der Industrie 4.0: Die Entwicklung digitaler Handlungskompetenz in der dualen Berufsausbildung aus der Ausbilderperspektive. In: Aprea, C./Sappa, V./Tenberg, R. (Hrsg.): Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik – Beihefte, Beiheft 29. Stuttgart, 185-209.

Scheid, R. (2018): Learning factories in vocational schools: Challenges for designing and implementing learning factories at vocational schools. In: Ifenthaler, D. (Ed.): Digital workplace learning: Bridging formal and informal learning with digital technologies. New York, 271-289.

Schmitt, B./Klaffke, H./Sievers, T./Tracht, K./Petersen, M. (2021): Veränderungen der Kompetenzanforderungen durch Zukunftstechnologien in der industriellen Fertigung. In: Seufert, S./Guggemos, J./Ifenthaler, D./Ertl H./ Seifried, J. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz in der beruflichen Bildung. Zukunft der Arbeit und Bildung mit intelligenten Maschinen?! Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik – Beihefte, Beiheft 31. Stuttgart, 103-128.

Seufert, S. (2021): Implikationen der Digitalisierung – neue Anforderungen an das betriebliche Bildungspersonal? In: Kohl, M./Dietrich, A./Faßhauer, U. (Hrsg.): „Neue Normalität“ betrieblichen Lernens gestalten. Konsequenzen von Digitalisierung und neuen Arbeitsformen für das Bildungspersonal. Bonn, 165-178.

Sloane, P.F.E. (2005): Kompetenzen und Kompetenzniveaus in der beruflichen Domäne von Wirtschaft und Verwaltung: Bildungsstandards, Kompetenzorientierung und Lernfelder. In: Verband der Lehrerinnen und Lehrer an Wirtschaftsschulen, Landesverband NRW e.V. (Hrsg.): Bildungsstandards für die berufliche Bildung II. Handlungserfordernisse. Dokumentation der 2. Tagung vom 17. Januar 2005 in Duisburg. Düsseldorf.

Spöttl, G./Gorltd, C./Windelband, L./Grantz, T./Richter, T. (2016): Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E-Industrie, München. Online: <https://www.baymevbm.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2016/Downloads/baymevbmStudieIndustrie-4-0.pdf> (10.09.2022).

Sudhoff, M. (2021): Lernfabriken an Hochschulen – Bestandsaufnahme. In: Heinze, R.G./ Kreimeier, D./Wannöffel, M. (Hrsg.): Lernfabriken an Hochschulen: Neue Lernorte auf dem Vormarsch? Bestandsaufnahme-Curriculare Ausrichtungen-Transferkanäle (No. 456). Düsseldorf, 16-37.

Thiede, S./Juraschek, M./Herrmann, C. (2016): Implementing Cyber-physical Production Systems in Learning Factories. In: Procedia CIRP, 54, 7-12.

Tynjälä, P./ Virtanen, A./ Virolainen, M.H./Heikkinen, H.L.T. (2021): Learning at the interface of higher education and work Experiences of students, teachers and workplace partners. In: Kyndt, E./Beusaert, S./Zitter, I. (Eds.): Developing Connectivity between Education and Work. London, 76-96.

Wenner, T. (2022). Wechselwirkung von Lernortkooperation und Ausbildungsqualität aus Sicht der Auszubildenden. Dissertation, Universität Kassel. Online: https://kobra.uni-kassel.de/bitstream/handle/123456789/13864/kup_9783737610438.pdf?sequence=1&isAllowed=y (08.09.2022).

Wilbers, K./Windelband, L. (2021): Vorwort. In: Wilbers, K./Windelband, L. (Hrsg.): Lernfabriken an beruflichen Schulen - Gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven. Berlin, 5-13.

Windelband, L. (2021): Eine neue Form der Prozessorientierung in der beruflichen Bildung im Zeitalter der Digitalisierung. In: Kohl, M./Diettrich, A./Faßhauer, U. (Hrsg.): „Neue Normalität“ betrieblichen Lernens gestalten. Konsequenzen von Digitalisierung und neuen Arbeitsformen für das Bildungspersonal. Bonn, 199-220.

Windelband, L. (2023): Lernfabriken in der beruflichen Bildung – Möglichkeiten für die berufliche Fachrichtung Metalltechnik. In: Grimm, A./Herkner, V. (Hrsg.): Entwicklungen und Herausforderungen einer beruflichen Fachrichtung Metalltechnik und deren Didaktik. Berlin (im Druck).

Windelband, L./ Faßhauer, U./Anselmann, S. (2022): Potenziale von Lernfabriken für die berufliche Lehrkräftebildung – Konzepte und Erprobungen in Baden-Württemberg. In: Gerholz, K.-H./Schlottmann, P./Slepcevic-Zach, P./Stock, M. (Hrsg.): Digital Literacy in der beruflichen Lehrerinnen- und Lehrerbildung. Bielefeld, 57-70.

Zinn, B. (2014): Lernen in aufwändigen technischen Real-Lernumgebungen – eine Bestandsaufnahme zu berufsschulischen Lernfabriken. In: Die berufsbildende Schule, 66, H. 1, 23-26.

Zitter, I./Beusaert, S./ Kyndt, E. (2021): On principles for connectivity between education and work. In: Kyndt, E./Beusaert, S./Zitter, I. (Eds.): Developing Connectivity between Education and Work. London, 230-236.

Zitieren des Beitrags

Anselmann, S./Windelband, L./Faßhauer, U. (2022): Lernfabriken als neuer Lernraum in der beruflichen Bildung – Sachstandsanalyse und Potentiale. In: *bwp@* Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online, Ausgabe 43, 1-27. Online:
https://www.bwpat.de/ausgabe43/anselmann_etal_bwpat43.pdf (18.12.2022).

Die Autoren



SEBASTIAN ANSELMANN, M.A.

Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Abteilung
Berufspädagogik

Oberbettringer Straße 200, 73525 Schwäbisch Gmünd

sebastian.anselmann@ph-gmuend.de

<https://www.ph-gmuend.de/einrichtungen/lehrende/a/anselmann-sebastian>



Prof. Dr. LARS WINDELBAND

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IBAP - Institut für
Berufspädagogik und Allgemeine Pädagogik

Hertzstr. 16, 76187 Karlsruhe

lars.windelband@kit.edu

https://www.ibap.kit.edu/berufspaedagogik/1653_2205.php



Prof. Dr. UWE FASSHAUER

Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Abteilung
Berufspädagogik

Oberbettringer Straße 200, 73525 Schwäbisch Gmünd

uwe.fasshauer@ph-gmuend.de

<http://www.ph-gmuend.de/einrichtungen/lehrende/f/fasshauer-uwe>