

# Lernen im Kontext der Digitalisierung – Herausforderungen von Assistenzsystemen und neuen Lernräumen für die berufliche Bildung

LARS WINDELBAND

## Zusammenfassung

Die Digitalisierung der Arbeitswelt stellt die berufliche Bildung und damit das Lernen vor vielfältige Herausforderungen. Die Entwicklungen der Digitalisierung, die aktuell unter den Schlagworten Industrie 4.0/Wirtschaft 4.0/Berufsbildung 4.0 und immer mehr auch unter Künstliche Intelligenz (KI) diskutiert werden, verändern Technologien, Produkte, Organisationsprozesse und letztendlich die ganz konkreten beruflichen Arbeitsaufgaben bis hin zu den beruflichen Lernprozessen. Die Konsequenzen für die berufliche Bildung von der Gestaltung der Berufsbilder, dem Einsatz veränderter Assistenzsysteme bis hin zur Implementierung neuer (digitaler) Lernräume (Lernfabriken 4.0) werden im Beitrag thematisiert. Am Beispiel der beruflichen Lernfabriken in Baden-Württemberg werden die Herausforderungen und Chancen für die berufliche Bildung aufgezeigt.

**Schlagnorte:** Digitalisierung, Assistenzsysteme, digitale Medien, Lernfabriken, Gestaltungsorientierung

## Abstract

The digitalization of the work processes a variety of challenges for vocational education and training and therefore for learning. The developments in digitalization, which are currently being discussed under the buzzwords Industry 4.0/Economy 4.0/Vocational Education 4.0 and increasingly also under Artificial Intelligence (AI), are changing technologies, products, organizational processes and ultimately the very specific vocational work tasks through to vocational learning processes. The consequences for vocational education and training, from the design of occupational profiles and the use of modified assistance systems to the implementation of new (digital) learning spaces (Learning Factories 4.0), are discussed in the article. The challenges and opportunities for vocational education and training are highlighted using the example of vocational learning factories in Baden-Württemberg.

**Keywords:** digitalisation, assistance systems, digital media, learning factories, design orientation

## 1 Auswirkungen der digitalen Transformation für die Facharbeit

Die Auswirkungen der digitalen Transformation auf die Arbeitswelt sind weitreichend. Automatisierung, Künstliche Intelligenz und Big Data verändern nicht nur die Art und Weise, wie Produkte hergestellt und Dienstleistungen erbracht werden, sondern damit auch die Anforderungen für die Beschäftigten auf der Shop-floor-Ebene. Dabei verändern sich die Anforderungen in der Facharbeit teilweise so massiv, dass neue Berufe entstehen, Berufe im Wandel sind oder traditionelle Berufe infrage gestellt werden. Flexibilität, Anpassungsfähigkeit und lebenslanges Lernen werden immer mehr zu den Schlüsselqualifikationen für die Beschäftigungsfähigkeit in einer digitalen Arbeitswelt (vgl. Agentur Q 2021).

In diesem Zusammenhang gewinnt die Didaktik 4.0 an Bedeutung. Sie bezieht sich nicht nur auf den Einsatz digitaler Medien im berufsbildenden Bereich, sondern auch auf die Entwicklung berufsrelevanter Fähigkeiten und Kompetenzen, die für die digitale Arbeitswelt relevant sind. Dazu gehören nicht nur technische Fähigkeiten wie eine veränderte Programmierung, digitalisierte Fehleranalyse oder eine Datenanalyse zur vorausschauenden Wartung, sondern auch soziale und teamrelevante Fähigkeiten wie kollaborative Zusammenarbeit, Problemlösung und kritisches Denken.

Die Konsequenzen einer veränderten beruflichen Didaktik im Zeitalter von Industrie 4.0 sind vielfältig. Sie erfordern eine enge Zusammenarbeit zwischen den beruflichen Lernorten sowie über Berufsgrenzen hinweg, um sicherzustellen, dass die Auszubildenden über die Fähigkeiten und Kenntnisse verfügen, die für den Arbeitsmarkt von morgen erforderlich sind (vgl. Faßhauer & Windelband 2021). Das Bildungspersonal muss innovative Lernkonzepte entwickeln, die den Bedürfnissen einer digitalen Generation gerecht werden und gleichzeitig die Anforderungen der Arbeitswelt von morgen erfüllen.

Die Konsequenzen der digitalen Transformation für die berufliche Bildung von der Gestaltung der Berufsbilder, dem Einsatz veränderter Assistenzsysteme bis hin zur Implementierung neuer (digitaler) Lernräume (Lernfabriken 4.0) werden im Beitrag thematisiert. Am Beispiel der beruflichen Lernfabriken in Baden-Württemberg werden die aktuellen Herausforderungen und Chancen, gerade mit einer Weiterentwicklung hin zu virtuellen Lernfabriken, für die berufliche Bildung beschrieben.

## 2 Veränderungen in der beruflichen Facharbeit in der M+E-Industrie

Die Ergebnisse der EVA M+E-Studie<sup>1</sup> (Becker, Flake, Heuer u. a. 2022) zeigen, dass die Entwicklungen in den Unternehmen im Gesamten und in der Ausbildung im Besonderen im Rahmen der digitalen Transformation ein breit gefächertes und durchaus heterogenes Bild zeichnen. In fast allen untersuchten Unternehmen (17 Fallstudien in Unternehmen der Metall- und Elektroindustrie – M+E Industrie) wurden Entwicklungsschritte zur digitalen Transformation eingeleitet. Die Geschwindigkeit und Tiefe der Maßnahmen unterscheidet sich von Betrieb zu Betrieb.

Die zunehmende Automatisierung in der Produktion führt dazu, dass sich die generischen Aufgaben von Fachkräften verändern: Sie müssen ihre Aufgaben mit digitalisierten Werkzeugen erledigen, die Produktionsanlagen über Mensch-Maschine-Schnittstellen bedienen und ihre Professionalität mithilfe digitalisierter Medien, Bedienelemente und kooperativer Arbeitsstrukturen entfalten. Es erfolgt dabei keine grundlegende Verschiebung der Aufgabenschwerpunkte: Konstruktionsmechaniker:innen müssen weiterhin Metallkonstruktionen mit Schweißverfahren produzieren, Zerspanungsmechaniker:innen weiterhin Bauteile mit spanenden Verfahren herstellen und Elektroniker:innen für Betriebstechnik sind weiterhin für elektrische Verkabelungen von Maschinen und Anlagen zuständig. Allerdings sind bei nahezu allen Aufgaben und Produktionsverfahren digitalisierte Werkzeuge, Methoden und Produktionsmittel im Einsatz, die entsprechende informationstechnische Kenntnisse erfordern. Fachkräfte benötigen durchgängig Kompetenzen für den Umgang mit der Digitalisierung in Verbindung mit Fach-, Sozial- und Selbstkompetenzen, die auf die konkreten Produktions- und Instandhaltungsaufgaben ausgerichtet sind, soweit es sich um Produktionsverfahren und Fertigungsprozesse handelt. Berufliche Handlungskompetenzen zur Beherrschung der Industriemechatronik in allen Belangen gehören zu den zentralen Aktivitätsfeldern der Fachkräfte.

Die These der Disruption, als eine rasant verlaufende und einschneidende Entwicklung, der Unternehmen durch Digitalisierungseinflüsse unterliegen, bestätigt sich dabei nicht. Es handelt sich bei der digitalen Transformation in der M+E-Industrie vielmehr um einen kontinuierlichen Entwicklungsprozess hin zur weiteren Modernisierung der Produktion mit digitalen Instrumenten. Dem geht zumeist ein Optimierungsprozess der Organisationsstruktur und der Arbeitsorganisation in den Betrieben voran. Die Entwicklungsetappen werden dabei sorgfältig und eher zurückhaltend ge-

---

<sup>1</sup> In der EVA M+E-Studie wurden ein qualitatives, berufswissenschaftliches Instrumentarium sowie eine quantitative Unternehmensbefragung eingesetzt. Das Forschungsdesign war darauf ausgerichtet, Einflüsse und Veränderungen auf dem Shopfloor sowie die Akzeptanz der Teilnovellierung der M+E-Berufe durch die handelnden Akteure zu identifizieren, um Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur zukünftigen Gestaltung von Berufsbildern, Ausbildungskonzeptionen und von ZQ ableiten zu können.

Durch eine im Rahmen des IW-Personalpanels durchgeführte Unternehmensbefragung wurde der Umsetzungsstand der Modernisierung der M+E-Berufe erhoben. Zwischen den Monaten März und Mai im Jahr 2020 nahmen insgesamt 1.042 Unternehmen an der Onlinebefragung teil. Die berufswissenschaftliche Befragung umfasste 17 Expertengespräche mit Schlüsselpersonen des M+E-Sektors, 15 Fallstudien mit insgesamt 68 interviewten Personen in ausgewählten Unternehmen aller Größenklassen in Deutschland sowie zwei Expertenworkshops mit insgesamt 31 Teilnehmenden zur Validierung der Forschungsergebnisse.

plant. Trotzdem entfalten sie oft große Wirkung in den Belegschaften, weil deutlich wird, dass die Unternehmen sich der Digitalisierung stellen und diese auch implementieren. Dabei verfolgen Unternehmen vielfältige Ansätze, gehen unterschiedlich schnell voran und setzen verschiedenartige Software, Systeme und Prozessschritte ein.

Hinsichtlich der Teilnovellierung der Ausbildungsberufe im Jahr 2018 ist (basierend auf den Befragungen) festzustellen:

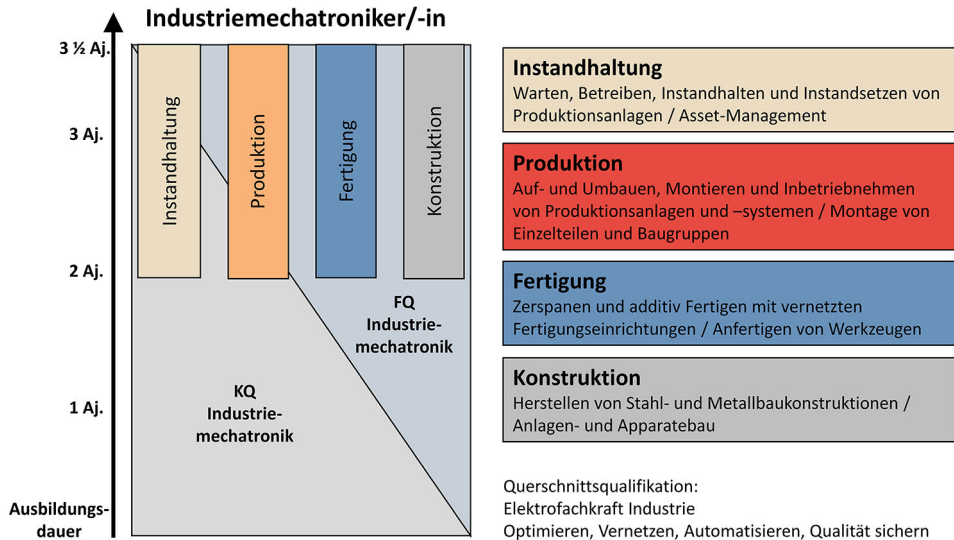
„Detailliertes Wissen zur Modernisierung der Ausbildungsordnungen und deren Umsetzung ist in den Unternehmen noch stark ausbaufähig. Immerhin kennt nach Ergebnissen der repräsentativen Befragung im Jahr 2020 gut die Hälfte der M+E-Unternehmen die neue Berufsbildposition und die kodifizierten Zusatzqualifikationen (kZQ) detailliert oder zumindest in groben Eckpunkten. Dabei sind größere Unternehmen mit der Modernisierung der Ausbildungsordnung häufiger vertraut und haben sich auch häufiger bereits im Detail damit beschäftigt als kleinere Unternehmen“ (ebd., S. 9).

Die Datenlage der bundesweiten Statistik zeigt, dass den Zusatzqualifikationen insgesamt eine sehr geringe Bedeutung zukommt. Die Themen der kZQs werden für die Ausbildungspraxis zwar als inhaltlich relevant eingeschätzt, an einer Prüfung durch die Kammern besteht aber so gut wie kein Interesse und auch die Umsetzung erfolgt weitestgehend ohne Ausrichtung auf die Vorgaben der Ausbildungsordnung. Inhaltlich werden von den Zusatzqualifikationen die additive Fertigung und die Programmierung noch am häufigsten umgesetzt und geprüft.

Um den digitalen Wandel weiter voranzutreiben, wäre es daher hilfreich, die Bedeutung der Digitalisierung für die Aus- und Weiterbildung als eine Querschnittstechnologie systematischer zu berücksichtigen und an die Unternehmensstrategien zu koppeln. Dazu sollten die bestehenden Ausbildungsberufe der M+E-Industrie im Sinne einer mechatronisch ausgerichteten Grund- und Fachbildung neu ausgerichtet werden, ohne sie inhaltlich zu überfrachten. Die Autoren der Studie fordern eine Neustrukturierung der M+E-Berufe. Auf der Basis der in den Unternehmen identifizierten und auf die Zukunft ausgerichteten Arbeitsprozesse (vgl. ebd.) besteht eine Möglichkeit darin, Berufe im Sinne von Kernberufen zu strukturieren (Abb. 1). Dies hätte auch eine Reduzierung der Zahl der Berufe zur Folge, weil die Gemeinsamkeiten der Arbeitsprozesse und dort verankerte Aufgaben im produzierenden Bereich – sozusagen als „neue Grundbildung“ – einen Kern für mehrere (alte) Berufe bilden können.

Kernqualifikation (KQ) neugestalteter M+E-Berufe wäre das Produzieren, Fertigen, Instandhalten, Herstellen (von Konstruktionen) und Optimieren technischer Systeme unter Zuhilfenahme digitalisierter Werkzeuge, Methoden und Arbeitsorganisationsformen. Sinnvolle Abgrenzungen zwischen einzelnen Berufen, aber auch innerhalb eines Berufsprofils, ließen sich durch die Ausrichtung auf relevante generische Handlungsfelder erreichen. Unter dem Dach der „Industriemechanik“ ließen sich Instandhalter:innen, Produktionsfacharbeiter:innen, Fertigungsfacharbeiter:innen und Konstruktionsfacharbeiter:innen ausbilden, die alle als gemeinsamen Kern Aufgaben der Industriemechanik bearbeiten können. Auszubildende und ausbildende Unternehmen erhielten dadurch die Möglichkeit, flexibel auf die Reifung des Berufswunschs innerhalb der Berufsausbildung wie auch auf sich wandelnde betrieb-

## Berufsstruktur Industriemechatronik



**Abbildung 1:** Vorschlag für eine Kern-Berufsstruktur für die M+E-Industrie (Becker, Spöttl & Windelband 2022, S. 25)

liche Bedarfe einzugehen. Einerseits besteht die Möglichkeit, von Beginn an industriemechatronische Aufgabenstellungen das Lernen dominieren zu lassen, die zu Kernqualifikationen führen. Andererseits lassen sich zunehmend industriemechatronische Fachqualifikationen ausbilden, die auf die zentralen Handlungsfelder (Instandhaltung, Produktion, Fertigung oder Konstruktion) ausgerichtet sind. Diese profilgebenden Handlungsfelder würden erst im weiteren Ausbildungsverlauf gewählt und vertieft.

### 3 Lernen im digitalen Wandel in der beruflichen Bildung

Der digitale Wandel hat die berufliche Bildung in den letzten Jahren grundlegend verändert. Die fortschreitende Digitalisierung eröffnet neue Möglichkeiten und Herausforderungen für Auszubildende, Lehrkräfte und die Ausbildung in den Unternehmen.

Folgende Potenziale und Herausforderungen sind dabei aktuell zu erkennen:

- Zugang zu Online-Lernplattformen: Durch die Digitalisierung haben Lernende heute die Möglichkeit, auf eine Vielzahl von Online-Lernplattformen zuzugreifen, um ihr Wissen und ihre Fähigkeiten zu erweitern.
- Individualisierung des Lernens: Digitale Technologien ermöglichen es, Lerninhalte und -methoden individuell anzupassen und den Lernfortschritt jedes einzelnen Lernenden zu verfolgen; intelligente Tutoringsysteme sind Lernumgebungen, die Lernenden maßgeschneiderte Lernpfade und individuelles Feedback geben können.

- Virtuelle Lernumgebungen: Virtuelle Realität und Simulationen ermöglichen es, realitätsnahe Lernumgebungen zu schaffen, in denen Auszubildende praktische Erfahrungen sammeln können.
- Flexibilität beim Lernen: Mit digitalen Lernmethoden können Lernende jederzeit und überall lernen, was eine Flexibilität in Bezug auf Lernorte und -zeiten ermöglicht. Chatbots/Lernbegleiter sind Programme, die Lernenden Unterstützung beim Lernen bieten (vgl. Schlimbach, Windolf & Robra-Bissantz 2023).
- Notwendigkeit für lebenslanges Lernen: Die rasante Entwicklung neuer Technologien/Medien erfordert eine kontinuierliche Weiterbildung des Bildungspersonals, um mit den Veränderungen Schritt zu halten. Prüfungs- oder Quizsysteme ermöglichen es Lehrenden, Prüfungen effizient zu erstellen, durchzuführen und zu bewerten (vgl. Fang, Roscoe & McNamara 2023).

Gleichzeitig ist jedoch immer wieder eine Reduzierung der Digitalisierung auf die technologischen Entwicklungen und deren Funktionsweisen zu erkennen, die jedoch viele wichtige Veränderungsprozesse der digitalen Transformationsprozesse nicht in den Blick nimmt. Zusätzlich zum technischen Fachverständnis ist jedoch ein Verständnis der gesamten Prozesskette, der Organisation sowie der Geschäftsprozesse und der Veränderungen der Mensch-Maschine-Schnittstellen aufzubauen. Damit erweitert sich der Gegenstand für die gewerblich-technische Berufsbildung erheblich, da die Digitalisierung und die durch sie bewirkten Veränderungen mehrdimensional zu betrachten sind.

Gerade die Prozesszusammenhänge, die Beherrschung der Schnittstellen sowie ein Umgang mit spezifischen Prozessdaten zur Problemlösung gewinnen an Bedeutung für didaktische Entscheidungen, da die virtuellen und physischen Systeme in der Arbeitswelt immer mehr verschmelzen (vgl. Spöttl, Gorldt, Windelband u. a. 2016; Becker, Flake, Heuer u. a. 2022; Zinke, Renger, Feirer u. a. 2017).

Gerade die Prozesszusammenhänge, die Beherrschung der Schnittstellen sowie ein Umgang mit spezifischen Prozessdaten zur Problemlösung gewinnen an Bedeutung für didaktische Entscheidungen, da die virtuellen und physischen Systeme in der Arbeitswelt immer mehr verschmelzen (vgl. Spöttl, Gorldt, Windelband u. a. 2016; Becker, Flake, Heuer u. a. 2022; Zinke, Renger, Feirer u. a. 2017).

Dies stellt die berufliche Bildung vor zentrale Herausforderungen (vgl. Faßhauer & Windelband 2020, S. 247):

- Arbeiten und Lernen mit und in virtuellen Systemen (Simulationen, Prozessvisualisierung, VR-Anwendungen und Simulationen)
- Arbeiten mit und an smarten Anlagen und Prozessen mit künstlicher Intelligenz (Expertensysteme, Assistenzsysteme, Diagnosesysteme, Wissensmanagementsysteme, Smart Maintenance)
- hybride Aufgabenwahrnehmung und Organisation von Prozessstrukturen (Hybridaufgaben, Mischberufe – Domänenübergreifende Zusammenarbeit)
- Arbeiten und Umgang mit Daten (Datensammlung, -analyse und -transfer, Datensicherheit)

- Entstehung neuer Mensch-Maschine-Schnittstellen (Organisation, Gestaltung, Lenkung, Assistenz)
- interdisziplinäres Lernen und vernetztes Zusammenarbeiten entlang der Wertschöpfungskette (berufliche Didaktikkonzepte, domänenübergreifend, Lernortkooperation)
- Lernen in realen und virtuellen Räumen (digitale Medien, Lernmanagementsysteme, Lernwerkzeuge, cyberphysische Lernfabriken)
- Umgang mit Komplexitäten und unvorhersehbaren Problemsituationen sowie ein Denken in vernetzten Systemen (System- und Arbeitsprozessverständnis, Erfahrungswissen).

Im Sinne einer beruflichen Handlungskompetenz bedeutet dies, die konkrete Lern- und Arbeitsaufgabe muss berufliche Problemstellungen einer digitalisierten Arbeitswelt in den Mittelpunkt stellen und nicht das digitale Werkzeug (z. B. VR-Brillen, digitaler Zwilling oder 3D-Druck).

## 4 Augmented Reality/Virtual Reality in der Berufsbildung

Augmented Reality (AR) und Virtuell Reality (VR) (erweiterte und virtuelle Realität) werden immer öfter zur Unterstützung der beruflichen Lernprozesse eingesetzt. Dabei können AR/VR zu einer Ergänzung oder zu einer Erweiterung des Lernsettings führen, um besonders realitätsnahe und damit arbeitsprozessnahe Abläufe in einem sicheren, virtuellen Raum nachzustellen.

„Der Einsatz von AR und VR in der außerhochschulischen beruflichen Weiterbildung ist branchenübergreifend umfassend. Es können bestimmte Szenarien trainiert werden. [...] Vorteil ist, dass die Lerninhalte anders als bei bislang schwerpunktmäßig genutzten ‚traditionellen‘ Lernmaterialien (Bücher, Präsentationen, Videos usw.) unmittelbar erlebt werden können“ (Huang, Roscoe, Johnson-Glenberg u. a. 2021).

In AR können bspw. durch zusätzliche Texte und andere Formen der Informationsweitergabe virtuelle Objekte ergänzt werden. Mithilfe von AR-Markern können Maschinen oder einzelne Bauteile mittig im Raum platziert werden, sodass aktiv um die virtuelle Abbildung des Geräts herumgegangen werden kann. So können beispielsweise Wirkungsweisen und Funktionen einzelner Bauteile besser verstanden werden. Im Sinne der Nachhaltigkeit kann bspw. das Lackieren von Autoteilen trainiert werden, ehe am realen Objekt gearbeitet wird. Dies kann Fehler, mögliche Verletzungen und Ausschuss kostengünstig reduzieren (vgl. Gerth & Kruse 2020). VR-Anwendungen bieten vor allem Lernenden die Möglichkeit, realitätsnahe Szenarien zu erleben, die im konkreten Arbeitsprozess im jeweiligen Beruf vorzufinden sind. Beispielsweise können sie den Umgang mit Maschinen (Inbetriebnahme einer Werkzeugmaschine) oder spezifische Reparaturaufgaben in einer virtuellen Umgebung umsetzen.

Eine Einschätzung über den Erfolg und deren Wirksamkeit von AR/VR-Technologien ist oftmals schwierig, diese hängen von vielen unterschiedlichen Faktoren ab:

„Die Entwicklung von AR/VR-Lernanwendungen ist als technologisch höchst anspruchsvoll zu werten. Oftmals ist der Lernerfolg keine Frage der Technologie, sondern der soliden Planung und Umsetzung eines didaktischen Konzeptes.“ (Zender, Weise, von der Heyde u. a. 2018, S. 9).

In unterschiedlichen Forschungsprojekten werden gerade AR/VR-Anwendungen entwickelt und erprobt, um hier Erfahrungen in der didaktischen Umsetzung in beruflichen Lernprozessen zu sammeln. Beispiele sind hier die beiden Projekte „LeARn4Assembly“ und „FeDiNAR“, die aus Mitteln des BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) gefördert werden.

Das Projekt „LeARn4Assembly“ beschäftigt sich mit der Unterstützung von Montageprozessen durch die Konzeption und Implementierung lernförderlich gestalteter digitaler kognitiver Assistenzsysteme auf der Basis von Technologien der Virtuellen und erweiterten Realität (VR/AR). Auf der Basis explorativer Arbeits- und Anforderungsanalysen werden unterschiedliche Gestaltungskriterien für die zu entwickelnden Assistenzsysteme herausgearbeitet und für die lernförderliche Gestaltung der Assistenzsysteme genutzt (vgl. Fredrich, Dick & Haase 2021). Die digitalen Assistenzsysteme können damit situativ (eingebunden in den Arbeitsprozess) und adaptiv (bezogen auf das Lernverhalten der Beschäftigten) die Informationsaneignung unterstützen, um der steigenden Komplexität in den Montageprozessen gerecht zu werden (ebd.).

Das Ziel des Verbundprojektes „FeDiNAR“ ist die Entwicklung und Evaluation eines AR-gestützten Lernsystems mit zugehörigen Lernszenarien, um von einem Lernenden „gemachte“ Fehler möglichst effizient für den individuellen Kompetenzerwerb zu nutzen. Mit dem FeDiNAR-System sollen Lernende mit konkreten Aufgaben in Lernszenarien konfrontiert werden, Entscheidungen treffen, Handlungen ausführen und Ergebnisse bewerten. Lernende stehen hierbei an der realen Maschine und können mit dieser direkt interagieren (vgl. Goppold, Nobis, Weber-Schallauer u. a. 2022). Hier wird an der Idee des Lernens aus Fehlern angeknüpft, um den Auszubildenden ein Feedback zu geben und die Folgen aus Fehlern transparenter zu machen.

Folgende Herausforderungen bestehen aktuell beim Einsatz von AR/VR in der beruflichen Bildung:

- **Kosten:** Die Implementierung von AR- und VR-Lösungen ist recht teuer, einschließlich der Anschaffung von Hardware und Software sowie der Entwicklung von maßgeschneiderten Inhalten (vgl. Fink, Eisenlauer, Frischbier u. a. 2023). Hier ist durch KI ein Entwicklungsschub zu erwarten.
- **Technische Anforderungen:** AR- und VR-Systeme erfordern leistungsfähige Hardware (vgl. Wölfel 2023; Rigling, Knorr, Zinn u. a. 2023), die möglicherweise nicht für alle Lernenden verfügbar ist.

- **Ergonomie und Komfort:** Langfristige Nutzung von VR-Brillen kann zu Unwohlsein, Ermüdung und zur Cyberkrankheit führen (vgl. Kim, Sunil Kumar, Yoo u. a. 2018; Wölfel 2023). Die Technologie muss komfortabel und benutzerfreundlich sein, um effektiv in die Ausbildung integriert zu werden.
- **Inhaltliche Herausforderungen:** Die Entwicklung hochwertiger und berufsrelevanter Inhalte für AR- und VR-Simulationen erfordert Zeit und berufliche Expertise (vgl. Heindl, Pittich 2023). Dies gelingt bisher nur durch Entwicklungsprojekte.

Durch den hohen Aufwand bei der Erstellung von AR- und VR-Lösungen existieren nur wenig aussagekräftige Forschungsergebnisse zur Wirksamkeit und Effizienz dieser Lösungen in ganz konkreten beruflichen Lernprozessen. Hier müssen weitere Entwicklungs- und Forschungsprogramme umgesetzt werden, um weitere Erkenntnisse für die Gestaltung von AR- und VR-Lösungen zur Förderung beruflicher Kompetenzen in konkreten beruflichen Handlungsprozessen zu gewinnen. Ein neues Anwendungs- und Nutzungsfeld für virtuelle Lösungen entsteht gerade im Kontext der beruflichen Lernfabriken, hier werden aktuell digitale Zwillinge zur Abbildung einzelner Arbeitsprozessschritte umgesetzt und in beruflichen Lernprozessen eingesetzt.

## 5 Lernfabriken zum Schwerpunkt Industrie 4.0 an berufsbildenden Schulen

In seinen grundlegenden Überlegungen beschreibt Zinn 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, S. 23).

In der modernen Berufsausbildung ist es notwendig, möglichst realitätsnahe Lern- und Arbeitsaufgaben beispielsweise an aktuellen Industrieanlagen zu erlernen, um berufliche Handlungssituationen zu ermöglichen. Hierzu eignen sich berufliche Lernfabriken, die allgemein hin als Erfolg versprechende und methodisch hochkomplexe Lernräume gelten (vgl. Leppert 2021). Trotz des mittlerweile immer mehr verbreiteten Einsatzes von Lernfabriken ist deren Einsatz derzeit nur wenig in aktuellen Forschungsarbeiten thematisiert. Insbesondere hinsichtlich ihres Einsatzes, der Ausrichtung und den Gelingensbedingungen in der beruflichen Qualifizierung gibt es bisher nur wenige Forschungsarbeiten.

Die Darstellung und das Erleben tatsächlicher Produktions- und Arbeitsabläufe sind in Form komplexer Simulationen in Lernfabriken möglich. Insbesondere Lernende der Zielgruppen Auszubildende, dual Studierende oder im Beruf befindliche

Personengruppen können von dieser an der Realität orientierten dynamischen Produktionsumgebung beim Lernen unterstützt werden. Abele, Metternich, Tisch u. a. (vgl. 2015) sowie Faßhauer, Wilbers und Windelband (vgl. 2021) identifizieren wesentliche Charakteristika, die von einer Lernfabrik erfüllt werden müssen. Dazu zählen

- die Abbildung authentischer Arbeitsprozesse unter Berücksichtigung technischer und organisatorischer Aspekte,
- eine dynamische Arbeitsumgebung, die einer realen Wertschöpfungskette entspricht,
- die tatsächliche Fähigkeit, in der Lernfabrik ein Produkt herstellen zu können, sowie
- ein didaktisches Konzept, das formelles, informelles und nicht-formelles Lernen vor Ort durch die aktive Beteiligung der Lernenden ermöglicht.

In der Regel sind die Lernfabriken sehr modular aufgebaut, um diverse Variationen in der Produktionsbearbeitung und damit unterschiedliche, vielfältige Lernsituationen abbilden zu können. Eine solche Modulbauweise ermöglicht, in Abhängigkeit von der Lernumgebung, den beruflichen Aufgabenstellungen auch eine ständige Weiterentwicklung der Lernfabriken, um auf neue Entwicklungen reagieren zu können. Die modulare Bauweise der Lernfabriken ermöglicht es den Lernenden, bestimmte Teilabschnitte/Bereiche der Lernfabrik kennenzulernen und schrittweise zur Gesamtanlage zu kommen. Hier findet eine Vernetzung aller Module zur Lernfabrik statt. Bei vielen aktuell entstehenden Lernfabriken zum Schwerpunkt Industrie 4.0 an berufsbildenden Schulen ist die folgende Unterscheidung zu erkennen:

- Grundlagenlabore, 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 (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.

Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen jedoch deutlich, dass es nur schwer gelingt, Lernprozesse innerhalb der Lernfabrik (Gesamtanlage) zu initiieren. Eine qualitative Studie von Böhnlein (vgl. 2021, S. 50) mit Interviews in ausgewählten beruflichen Lernfabriken in Baden-Württemberg zeigt, dass über alle gewerblich-technischen Ausbildungsberufe hinweg zu 90 Prozent die Grundlagenlabore für Fragestellungen zu Industrie 4.0 eingesetzt werden und nur zu 10 Prozent die gesamte Lernfabrik eingesetzt wird – oftmals „nur“ als Anschauungsobjekt. Häufig wird zu Beginn der Lernsituation der Gesamtprozess an der Lernfabrik veranschaulicht, bevor im Anschluss die Lernsituation an dem spezifischen Grundlagenlabor umgesetzt wird (vgl. ebd.). Vereinzelt

werden auch Lernsituationen – wie zu den Themen „MES“ oder „Inbetriebnahme einer Anlage“ – an der kompletten Lernfabrik umgesetzt. Dies bildet zum Zeitpunkt der Untersuchung aber noch die Ausnahme.

Diese Ergebnisse werden auch von der Forschergruppe Anselmann, Faßhauer und Windelband (vgl. 2022) bestätigt, die in einer empirischen Befragung an 75 Berufsbildenden Schulen in Baden-Württemberg zu der Erkenntnis kommen, 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. Die Ursachen dafür sind sehr vielfältig, sollten jedoch bei der zukünftigen Planung und Gestaltung beruflicher Lernfabriken berücksichtigt werden. Die Aussage aus der empirischen Studie von Anselmann, Windelband und Faßhauer (vgl. 2023) bringt es auf den Punkt: *„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“* (Anselmann, Windelband & Faßhauer 2023, S. 204).

Diese Aussage macht deutlich, dass die Implementierung einer Lernfabrik für die einzelne berufliche Schule zwar einen erheblichen Innovationsschub darstellen kann (vgl. Windelband, Bergmann, Reifschneider u. a. 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 auszustehen sind. Gleichzeitig muss es gelingen, die Lernfabrik besser gestaltbar zu machen, d. h. es muss gelingen, berufliche Problemstellungen wie eine Fehleranalyse/-diagnose oder eine Erweiterung der Anlage durch Auszubildende umzusetzen und nicht nur den Modellablauf einer vernetzten Produktion darzustellen, der keine wirkliche berufliche Handlungssituation beinhaltet. Umso größer und komplexer eine Anlage ist (es existieren berufliche Lernfabriken mit einem Investitionsvolumen von weit mehr als 1 Mio. Euro), umso schwieriger wird dies. Eine Umsetzung beruflicher Handlungssituationen an der Gesamtanlage wird nur gelingen, wenn die beruflichen Akteure (berufliche Lehrkräfte/Weiterbildungspersonal) auch in die Planung und Gestaltung der beruflichen Lernfabrik von Beginn an eingebunden werden.

Auch die Rahmenbedingungen der beruflichen Schulen lassen nur schwer eine Umsetzung beruflicher Handlungssituationen zu, da der Unterrichtsrhythmus dies oftmals stark behindert. Der notwendige „Reset-Knopf“, um den Ausgangszustand der beruflichen Lernfabrik nach der Nutzung wiederherzustellen, existiert nicht. Hier müssten Rahmenbedingungen verändert werden, um langfristige Projektarbeiten in einer Lernfabrik zu ermöglichen. Virtuelle Lernfabriken oder einzelne Virtualisierungen der Bearbeitungsschritte, bspw. mittels digitalen Zwillings, könnten dieses Problem lösen, da der Ausgangszustand der Lernfabrik in einer Virtualisierung sehr schnell wiederhergestellt werden kann. Virtuelle Lernfabriken fördern das Erlernen fortschrittlicher Fertigungskonzepte, indem sie virtuelle Objekte mit praktischen Akti-

vitäten kombinieren und Lernenden eine motivierende Lernerfahrung bieten (vgl. Aqlan, Zhao, Yang u. a. 2020). Sie ermöglichen Lernenden, eine kollaborative und immersive Lernumgebung in einer realitätsnahen Simulation zu erleben. Die Möglichkeit, Lernumgebungen unterschiedlich zu konfigurieren, durch zusätzliche Objekte zu erweitern oder durch Fehler zu lernen, erlaubt eine flexible und gestaltbare Lernumgebung zur Abdeckung verschiedener beruflicher Lernszenarien. Kritisch muss angemerkt werden, dass bisher lediglich erste Ansätze für die Nutzung des digitalen Zwillings innerhalb einer beruflichen Lernfabrik existieren.

## 6 Konsequenzen für ein (digitales) Lernen in der Berufsbildung

Digitales Lernen in der Berufsbildung bietet sowohl viele positive Aspekte als auch vielfältige Herausforderungen für ein berufliches Lernen. Der Beitrag zeigte Vor- und Nachteile des digitalen Lernens in der beruflichen Bildung auf. Die bisherigen Ansätze sind alle sehr stark technologiegetrieben, nur wenige Ansätze leiten die Anforderungen für den Lernprozess aus den beruflichen Arbeitsprozessen ab. Dadurch gelingt es nur teilweise, konkrete berufliche Handlungssituationen mit realen Problemsituationen abzubilden. Hier ist deutlich zu erkennen, dass die Gestaltung der digitalen Medien und der Lernräume nicht immer von „Berufsbildungsexperten und -expertinnen“ mit berufswissenschaftlichem Hintergrund umgesetzt wird.

Insgesamt ist es wichtig, digitales Lernen sorgfältig zu gestalten, um die Vorteile für ein berufliches Lernen zu nutzen und gleichzeitig die Nachteile zu minimieren. Folgende Erkenntnisse können aktuell zum Einsatz von Assistenzsystemen und Lernmedien in der beruflichen Bildung gewonnen werden.

### Erkenntnis 1:

Assistenzsysteme und digitale Medien können den Lernprozess nur unterstützen, das Lernen muss weiterhin problemorientiert und handlungsorientiert an beruflichen Aufgabenstellungen erfolgen.

- Berufsdidaktische und methodische Entscheidungen zum Einsatz und zur Auswahl der Medien und Assistenzsysteme treffen.

### Erkenntnis 2:

Lernen muss stärker auf berufliche Handlungssituationen und nicht auf Technologiefelder ausgerichtet werden, cyberphysische Lernumgebungen können dabei helfen.

- Verbindung von Lern- und Arbeitsprozessen bietet die Möglichkeit, den Wissenserwerb mit dem direkten Anwendungskontext in der beruflichen Handlungssituation zu verzahnen und ihn darüber hinaus zu erweitern.

### Erkenntnis 3:

Lernmedien und berufliche Lernräume müssen so gestaltet werden, dass die Lernenden aktiv den Lern- und Arbeitsprozess mitgestalten können.

- Ein berufliches Lernen bedingt eine große Veränderbarkeit in den Lernmedien, um unterschiedliche Lernszenarien umsetzen zu können.

## Literatur

- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., ElMaraghy, H., Hummel, V. & Ranz, F. (2015). Learning factories for research, education, and training. *Procedia CIRP*, 32, 1–6.
- Agentur Q (2021). Future Skills: Welche Kompetenzen für den Standort Baden-Württemberg heute und in Zukunft erfolgskritisch sind. Verfügbar unter <https://www.bw.igm.de/news/meldung.html?id=101055> (Zugriff am: 08.04.2024).
- Anselmann, S., Windelband, L. & Faßhauer, U. (2022). Lernfabriken als neuer Lernraum in der beruflichen Bildung – Sachstandsanalyse und Potentiale. Verfügbar unter [https://www.bwpat.de/ausgabe43/anselmann\\_et\\_al\\_bwpat43.pdf](https://www.bwpat.de/ausgabe43/anselmann_et_al_bwpat43.pdf) (Zugriff am: 18.12.2022).
- Anselmann, S., Windelband, L. & Faßhauer, U. (2023). Fokus berufliche Lernfabriken – Einblicke in neue Lernräume der beruflichen Bildung. *Bildung & Beruf*, 6. Jg., 198–205.
- Aqlan, F., Zhao, R., Yang, H. & Ramakrishnan, S. (2020). A virtual learning factory for advanced manufacturing. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. Verfügbar unter <https://informatics-sim.org/wsc20papers/056.pdf> (Zugriff am: 02.05.2024).
- Becker, M., Flake, R., Heuer, Ch., Koneberg, F., Meinhard, D., Metzler, Ch., Richter, T., Schöpp, M., Seyda, S., Spöttl, G., Werner, D. & Windelband, L. (2022). EVA M+E-Studie -Evaluation der modernisierten M+E-Berufe: Herausforderungen der digitalisierten Arbeitswelt und Umsetzung in der Berufsbildung. IBM, IW, TAB, IBBT: Bremen, Hannover, Köln, Schwäbisch-Gmünd. doi: <http://doi.org/10.15488/11927>.
- Becker, M., Spöttl, G. & Windelband, L. (2021). Künstliche Intelligenz und Autonomie der Technologien in der gewerblich-technischen Berufsbildung. In S. Seufert, J. Gugemos, D. Ifenthaler, J. Seifried & H. Ertl (Hrsg.), *Künstliche Intelligenz in der beruflichen Bildung: Zukunft der Arbeit und Bildung mit intelligenten Maschinen?! Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Beiheft 31*, 31–54. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Becker, M., Spöttl, G. & Windelband, L. (2022). Flexible Kernberufsstrukturen für die digitalisierte Facharbeit. *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (BWP)*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, Heft 3, 51. Jg., 22–26.
- Böhnlein, M. (2021). Entwicklung eines Medienpakets zu Anwendungskontexten von Lernfabriken an beruflichen Schulen. Masterarbeit an der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd.

- Fang, Y., Roscoe, R. D. & McNamara, D. S. (2023). Artificial intelligence-based assessment in education. In B. du Boulay, A. Mitrovic & K. Yacef (Hrsg.), *Handbook of artificial intelligence in education*, 485–504 Cheltenham: Edward Elgar.
- Faßhauer, U. & Windelband, L. (2020). Didaktik 4.0 – Entwicklung und Erprobung von Lernsituationen im Kontext digitalisierter Arbeitsprozesse. *Bildung & Beruf*, 3. Jg., 246–250.
- Faßhauer, U. & Windelband, L. (2021). Berufliche Lehrkräftebildung für die digitale Arbeitswelt kooperativ entwickeln – Ansatzpunkte für eine „Didaktik 4.0“. *berufsbildung*, Heft 190, 27–29.
- Faßhauer, U., Wilbers, K. & Windelband, L. (2021). Lernfabriken: Ein Zukunftsmodell für die berufliche Bildung? In K. Wilbers & L. Windelband (Hrsg.), *Lernfabriken an beruflichen Schulen – Gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven*, 15–48. Berlin: epubli.
- Fink, M. C., Eisenlauer, V., Frischbier, D. & Ertl, B. (2023). Zentrale Merkmale immersiver VR-Lernumgebungen. Eine Taxonomie veranschaulicht anhand von drei Beispielen. In B. Zinn (Hrsg.), *Virtual Reality, Augmented Reality und Serious Games als Educational Technologies in der Beruflichen Bildung*, 13–43. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Fredrich, H., Dick, M. & Haase, T. (2021). Zur Passung von Arbeitsanforderungen und digitalen Assistenztechnologien in handwerklichen und industriellen Montageprozessen. *GfA, Dortmund* (Hrsg.), *Arbeit HUMANE gestalten*. 67. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft Frühjahrskongress 2021, Bochum: GfA-Press.
- Gerth, S. & Kruse, R. (2020). VR/AR-Technologien im Schulungseinsatz für Industrieanwendungen. In H. Orsolits & M. Lackner (Hrsg.), *Research. Virtual Reality und Augmented Reality in der digitalen Produktion*, 143–179. Berlin: Springer [https://doi.org/10.1007/978-3-658-29009-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-658-29009-2_8).
- Goppold, M., Nobis, A.-L., Weber-Schallauer, L., Frenz, M. & Nitsch, V. (2022). Fehler- und Feedbackkultur in der betrieblichen Ausbildung als Rahmenbedingung für das Lernen aus Fehlern mit einem technischen Lernsystem. In S. Anselmann, U. Faßhauer, H.-H. Nepper & L. Windelband (Hrsg.), *Berufliche Arbeit und Berufsbildung zwischen Kontinuität und Innovation*, 249–261. Bielefeld: wbv Publikation <https://doi.org/10.3278/9783763971831>.
- Heindl, R. & Pittich, D. (2023). Virtuelle Fachräume. Zugänge, didaktische Ansätze und Benefits für einen beruflichen Kompetenzerwerb. In B. Zinn (Hrsg.), *Virtual Reality, Augmented Reality und Serious Games als Educational Technologies in der Beruflichen Bildung*, 73–94 Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Huang, W., Roscoe, R. D., Johnson-Glenberg, M. C. & Craig, S. D. (2021). Motivation, engagement, and performance across multiple virtual reality sessions and levels of immersion. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(3), 745–758. <https://doi.org/10.1111/jcal.12520>.
- Kim, J., Sunil Kumar, Y., Yoo, J. & Kwon, S. (2018). Change of blink rate in viewing virtual reality with HMD. *Symmetry*, 10(9), 400. <https://doi.org/10.3390/sym10090400>.

- Leppert, S. (2021). Prozessmodelle als Grundlage für die Planung von Lernsituationen in komplexen Lehr-Lernarrangements. In K. Wilbers & L. Windelband (Hrsg.), *Lernfabriken an beruflichen Schulen – Gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven*, 49–82. Berlin: epubli.
- Pina, A. (2010). An overview of learning management systems. In A. Pina (Hrsg.), *Virtual learning environments. Concepts, methodologies, tools and applications*, 33–51. Hershey: IGI Global. doi:10.4018/978-1-4666-0011-9.ch1.3.
- Rigling, S., Knorr, C., Zinn, B. & Sedlmair, M. (2023). Early Majority. Studierende entwickeln Virtual Reality, Augmented Reality und Mixed Reality Anwendungen in ihrem fachspezifischen Kontext. In B. Zinn (Hrsg.), *Virtual Reality, Augmented Reality und SeriousGames als Educational Technologies in der Beruflichen Bildung*, 117–136. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Schlimbach, R., Windolf, C. & Robra-Bissantz, S. (2023). A Service Perspective on Designing Learning Companions as Bonding and Mindful Time Managers in Further Education. Verfügbar unter [https://aisel.aisnet.org/ecis2023\\_rp/257/](https://aisel.aisnet.org/ecis2023_rp/257/) (Zugriff am 28.06.2024).
- Spöttl, G., Gorltdt, C., Windelband L., Grantz, T. & Richter, T. (2016). *Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E-Industrie*. Verfügbar unter [https://www.baymevbm.de/Redaktion/Freizugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2016/Downloads/baymevbm\\_Studie\\_Industrie-4-0.pdf](https://www.baymevbm.de/Redaktion/Freizugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2016/Downloads/baymevbm_Studie_Industrie-4-0.pdf) (Zugriff am: 21.06.2019).
- Windelband, L., Bergmann, V., Reifschneider, O., Reimann, D. & Schwarz, M. (2023). Handlungsempfehlungen zur inhaltlichen Umsetzung von Lernfabriken für die berufliche Weiterbildung: Abschlussbericht. KIT Scientific Working Papers 230. Karlsruhe: KIT DOI: 10.5445/IR/1000162893.
- Wölfel, M. (2023). *Immersive Virtuelle Realität: Grundlagen, Technologien, Anwendungen*. Berlin: Springer Vieweg.
- Zender, R., Weise, M., von der Heyde, M. & Söbke, H. (2018). Lehren und Lernen mit VR und AR – Was wird erwartet? Was funktioniert? In D. Krömker & U. Schroeder (Hrsg.), *Proceedings. DeLFI 2018. Die 16. E-Learning Fachtagung Informatik der Gesellschaft für Informatik e.V.*, 275–276. Bonn: Köllen.
- Zinke, G., Renger, P., Feirer, S. & Padur, T. (2017). *Berufsausbildung und Digitalisierung – ein Beispiel aus der Automobilindustrie*. Wissenschaftliche Diskussionspapiere. Heft 186. Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung.
- Zinn, B. (2014). Lernen in aufwändigen technischen Real-Lernumgebungen – eine Bestandsaufnahme zu berufsschulischen Lernfabriken. In *Die berufsbildende Schule*, 66(1), 23–26.

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1      Vorschlag für eine Kern-Berufsstruktur für die M+E-Industrie ..... 91

## Autor

**Prof. Dr. Lars Windelband**

Professur Berufspädagogik

IBAP – Institut für Berufspädagogik und Allgemeine Pädagogik  
am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

E-Mail: [lars.windelband@kit.edu](mailto:lars.windelband@kit.edu)