FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

FACHBEREICH WIRTSCHAFTS-
UND SOZIALWISSENSCHAFTEN

Lernfabriken an beruflichen Schulen

Gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven

Karl Wilbers und Lars Windelband (Hrsg.)



Texte zur Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung

Herausgegeben von Karl Wilbers

Band 26

www.wirtschaftspaedagogik.de

Texte zur Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung
Herausgegeben von Karl Wilbers
Band 26

Karl Wilbers und Lars Windelband (Hrsg.)

Lernfabriken an beruflichen Schulen

Gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven

Texte zur Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung
Band 26

Herausgeber dieses Bandes:

Prof. Dr. Karl Wilbers
Lehrstuhl für Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften
Rechts- und Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lange Gasse 20 | D-90403 Nürnberg
karl.wilbers@fau.de | www.wirtschaftspaedagogik.de

Prof. Dr. Lars Windelband
Professur Technik und ihre Didaktik
Institut für Bildung, Beruf und Technik
Abteilung: Technik
Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
Oberbettringer Straße 200 | D-73525 Schwäbisch Gmünd
lars.windelband@ph-gmuend.de | www.tec-edu.net

Graphic Recording im Band:
Dipl. Päd. Britta Mutzke,
Akademische Mitarbeiterin der Abteilung Berufspädagogik der
Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.dnb.de abrufbar.

© Karl Wilbers und Lars Windelband (Hrsg.). Das Werk wird durch das Urheberrecht und/oder einschlägige Gesetze geschützt. Jede Nutzung, die durch diese Lizenz oder Urheberrecht nicht ausdrücklich gestattet ist, ist untersagt. Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ „Namensnennung-Nicht Kommerziell-Keine Bearbeitung 3.0 Unported“ zugänglich. Um eine Kopie dieser Lizenz einzusehen, konsultieren Sie http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.de oder wenden Sie sich brieflich an Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, USA.

Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen zu den folgenden Bedingungen:



Namensnennung
Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.



Keine kommerzielle Nutzung
Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden.



Keine Bearbeitung
Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Druck und Verlag
epubli GmbH, Berlin, 2021
www.epubli.de
ISBN:

Vorwort

Die Gestaltung von Lernfabriken an beruflichen Schulen stellt eine aktuelle Herausforderung dar, der sich dieser Sammelband aus wissenschaftlicher und anwendungsorientierter Perspektive zuwendet. Besonders neu dabei ist, die Kooperation zwischen gewerblich-technischer und kaufmännischer Berufsbildung.

Kurzer historischer Abriss zur Idee des Buches

Baden-Württemberg hat in zwei Initiativen „Lernfabriken 4.0“, Bayern in zwei Förderinitiativen „Industrie 4.0“ und „Exzellenzschulen an Berufsschulen“ und Niedersachsen in der Förderinitiative „BBS fit for 4.0“ von 2016 bis 2018 den Aufbau von Lernfabriken in beruflichen Schulen gefördert. Bei diesen Förderinitiativen spielt gerade in den letzten Förderaufrufen das Zusammenspiel von gewerblich-technischer und kaufmännischer Ausbildung eine wichtige Rolle.

Im November 2018 konstituierte sich an der beruflichen Schule 2 in Nürnberg ein Arbeitskreis zum Austausch genau dieser Schnittstelle. Neben Schulleitungen und Lehrkräften war auch das bayerische Kultusministerium und die Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung (ALP) Dillingen sowie drei Professoren beteiligt, nämlich für den gewerblich-technischen Bereich die Professoren Lars Windelband und Uwe Faßhauer von der PH Schwäbisch-Gmünd sowie Professor Karl Wilbers von der Universität Erlangen-Nürnberg für den kaufmännischen Bereich. Für Bayern wurde dann im weiteren Verlauf in enger Zusammenarbeit mit einem Arbeitskreis zu Industrie 4.0 des Staatsinstituts für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) gute Beispiele für das Zusammenwirken von kaufmännischer und gewerblich-technischer Ausbildung bestimmt. In Baden-Württemberg wurde das Kultusministerium für die weitere Planung und Gestaltung zukünftiger Aktivitäten integriert.

Durch Studierende der Berufspädagogik Technik und der Wirtschaftspädagogik wurden dann zusammen mit den berufsbildenden Schulen in Bayern und in Baden-Württemberg die der Lernfabrikarbeit dieser guten Beispiele zugrundeliegenden Prozesse modelliert. Dabei wurden industrieübliche Verfahren (BPMN) und Softwaretools (Lucidchart) eingesetzt. Die erarbeiteten Prozessmodelle wurden mit Referenzmodellen (SCOR) abgeglichen. Diese Vorarbeiten dienten dazu, die Kooperationssituationen zu erfassen: In welchen Prozessschritten lernen gewerblich-technisch Lernende allein, kaufmännische Lernende allein und beide Gruppen gemeinsam? Auf der Basis der Kooperationsanlässe wurden Kompetenzerwartungen abgeleitet, die den Phasen gemeinsamen Lernens zugrunde liegen.

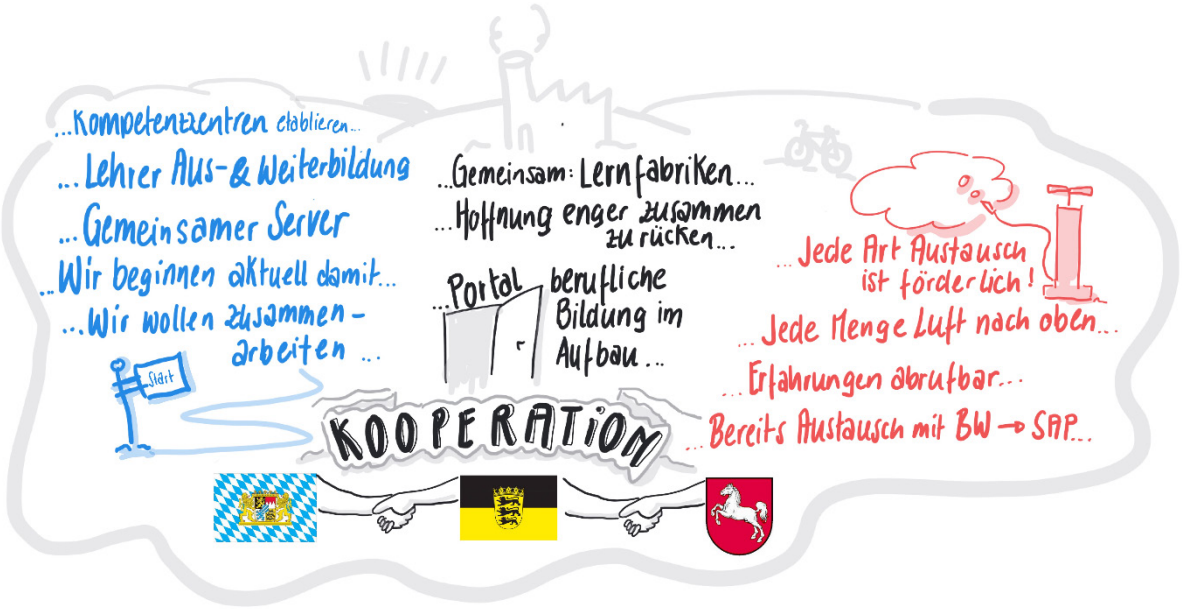
Netzwerkveranstaltung kaufmännischer und gewerblich-technischer Ausbildung in Lernfabriken

Die Ergebnisse der Analyse guter Beispiele standen im Zentrum des Austausches beruflicher Schulen aus Baden-Württemberg, Bayern und Niedersachen im November 2020. Sie wurde von der Universität Erlangen-Nürnberg (Prof. Wilbers) und der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd (Prof. Faßhauer & Prof. Windelband) in Zusammenarbeit mit den Kultusministerien in Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachen als Videokonferenz gestaltet. Über 100 Personen aus den drei Bundesländern nahmen an diesem Austausch teil. Die Veranstaltung zielte darauf, einen länderübergreifenden Austausch von beruflichen Schulen in Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachen zu gestalten, die Lernfabriken gestalten, und zwar unter der Berücksichtigung der aktuellen Belastungen der Pandemie und der Verbindung von gewerblich-technischer und kaufmännischer Bildung.

Der Input der Veranstaltung wurde zu einem wissenschaftlichen Beitrag (siehe Beitrag Faßhauer, Wilbers & Windelband) ausgearbeitet, der sich in diesem Band befindet. Er skizziert die Entwicklung von Lernfabriken an beruflichen Schulen im Kontext, widmet sich vor allem der didaktischen Gestaltung von Lernfabriken und wendet sich der wichtigen Frage der Verbindung von kaufmännischem und gewerblich-technischem Handeln in Lernfabriken zu. Außerdem stellt er aktuelle Herausforderungen dar, wie sie auf der Netzwerkveranstaltung thematisiert wurden.

Teil der konzeptionellen Grundlegung ist auch ein Beitrag zur prozessorientierten Sachanalyse (siehe Beitrag Leppert). Die (Re-)Konstruktion der der Lernfabrik zugrundeliegenden Lernprozesse ist eine wichtige Methode, die Potentiale für die Kooperation von gewerblich-technischem und kaufmännischen Handeln zu identifizieren und zu entwickeln.

Der konzeptionellen Grundlegung schließt sich in diesem Band die Darstellung der Strategien ausgewählter Bundesländer an. Auf der Netzwerkveranstaltung wurden in einem virtuellen Roundtable die Strategien der jeweiligen Kultusministerien durch vertretende Personen (Tobias Barthruff, Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg; Cornelia Frerichs, Niedersächsisches Kultusministerium; Werner Lucha, Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus) dargestellt und diese mit den Teilnehmern der Veranstaltung diskutiert.

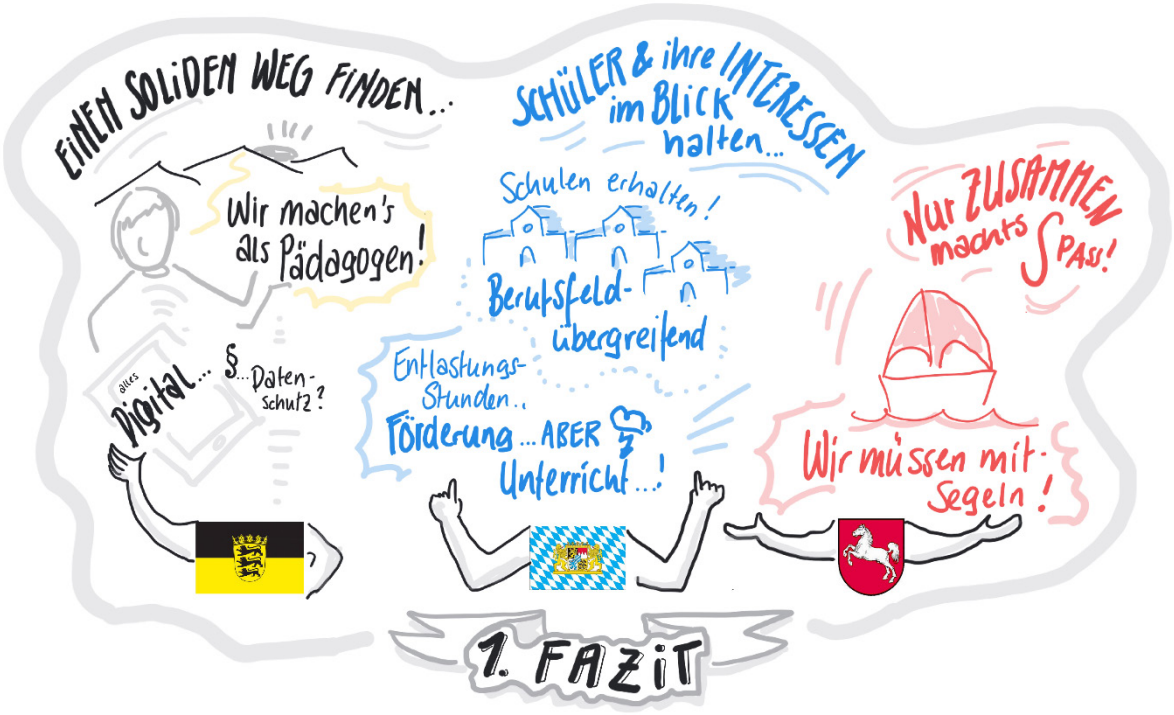


Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording zur Diskussion im virtuellen Roundtable



Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording zur Diskussion im virtuellen Roundtable

Zum virtuellen Roundtable wurde ein erstes Fazit gezogen.



Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording zum 1. Fazit des virtuellen Roundtables

An dem in zwei Runden organisierte Erfahrungsaustausch nahmen folgende Schulen teil:

1. Hubert-Sternberg-Schule & Johann-Philipp-Bronner-Schule Wiesloch (BW)
2. Berufsbildende Schule Brinkstrasse Osnabrück (NI)
3. Berufliches Schulzentrum Amberg (BY)
4. Berufliche Schule 2 & 4 der Stadt Nürnberg (BY)
5. Berufsschule I & II Kempten (BY)
6. Staatliche Berufsschule Lichtenfels & Berufliches Schulzentrum Kronach (BY)

Alle sechs Schulen aus drei Bundesländern haben ihre Erfahrungen mit ganz konkreten Umsetzungsbeispielen in der Kooperation von gewerblich-technischem und kaufmännischen Handeln in Beiträgen in diesem Band beschrieben.

Potentiale anderer Lernfabriken für die berufliche Bildung

Lernfabriken haben sich im Bereich der Aus-, Fort- und Weiterbildung als aussichtsreichen Lernort in der praxisnahen Ausbildung an beruflichen Schulen und Hochschulen etabliert.

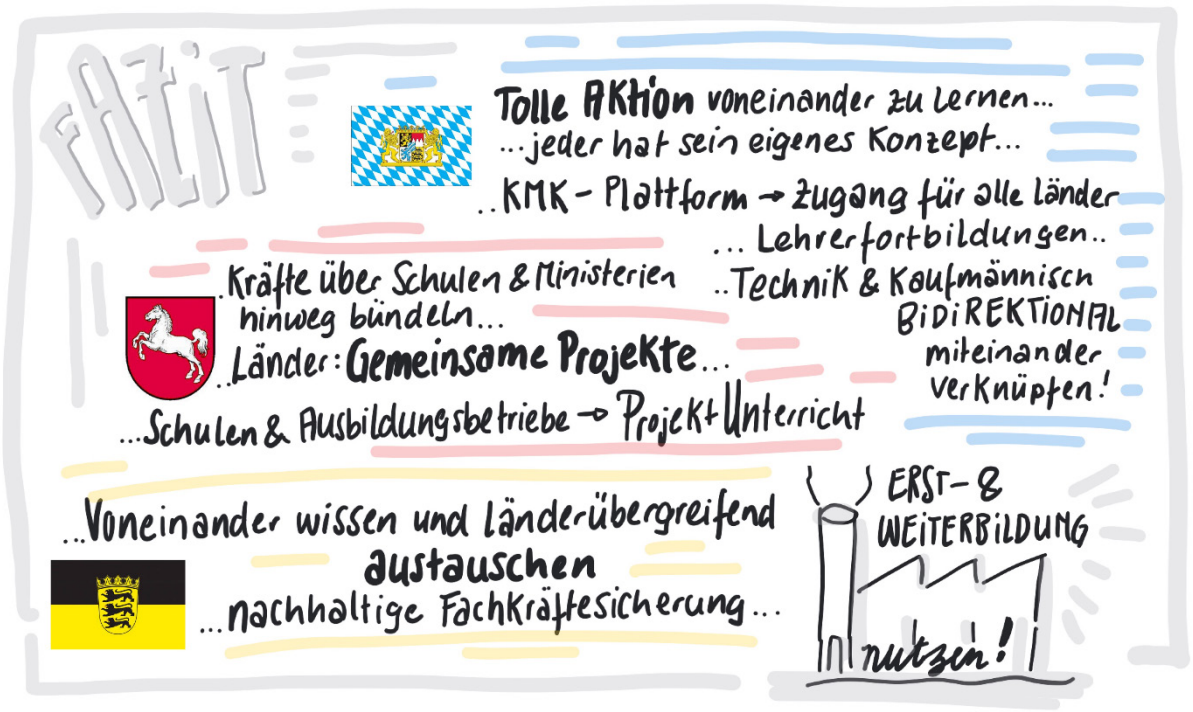
Durch das realitätsnahe Fabrikumfeld sowie ihre industriellen Standards im Bereich der Produktionstechnologie und Automatisierungstechnik, können qualifizierte Fachkräfte auf die zukünftigen Arbeits- und Geschäftsprozesse aus- und weitergebildet werden. Der Beitrag von Sascha Julian Oks, Max Jalowski, Nina Zansinger und Kathrin M. Möslein von der Universität Erlangen-Nürnberg zeigt dies am Beispiel von Industrie 4.0-Demonstratoren in der digitalen Transformation. Sie stellen dazu die Erfahrungen und Konzepte mit dem Portable Industrial Demonstrator for Cyber-Physical Systems (PID4CPS) vor. Dass die Diskussion zu den Lernfabriken jedoch nicht nur auf Technologieaspekte reduziert werden darf, wird besonders im Beitrag von Andrea Bianchi-Weinand und Manfred Wannöffel deutlich. Hier gelten die Lernfabriken an Hochschulen als eine innovative Lernumgebung zur Vermittlung von interdisziplinären Wissens. Der Lernort „Lernfabrik an der Hochschule“ für die Fortbildung von Lehrkräften berufsbildender Schulen wird im Beitrag von Felix Walker und Nico Link mit der Entwicklung und Evaluierung eines Fortbildungskonzepts im Bereich Industrie 4.0 beschrieben.

Aufgaben zur Festigung der Lernfabriken an beruflichen Schulen

Durch die technische Verknüpfung des ERP-Systems mit dem MES entsteht ein Möglichkeitsraum für die Verbindung von gewerblich-technischer und kaufmännischer Bildung, die zu neuen Kooperationen zwischen beruflichen Schulen und verschiedenen Berufe geführt hat. Diese Kooperationen müssen weiter ausgebaut und in die festen Lehrpläne integriert werden. Gleichzeitig müssen weitere Berufe in die Kooperation integriert werden, wie Logistikberufe, Designberufe, um die komplette Wertschöpfungskette abbilden zu können.

Damit Lernfabriken mit den neusten technologischen Entwicklungen schritthalten können, ist es für die Zukunft unabdingbar, bestehende Lernfabriken um diese zu erweitern. Dies beinhaltet unter anderem die Einbringung von künstlicher Intelligenz (KI). Die Visualisierung der Prozesse in den Lernfabriken, z. B. über den digitalen Zwilling, bietet neue Möglichkeiten der Optimierung der Prozessketten und der Simulation von beruflichen Problemsituationen. Dadurch können die Lernenden unterschiedliche berufliche Problemlösungen ausprobieren, ohne die reale Lernfabrik zu belasten.

Die weitere Gestaltung von Lernfabriken im berufsbildenden Bereich hier verlangt nach einem weiteren Austausch. Dieser sollte auch länderübergreifend getrieben werden. Die Herausgeber des Sammelbandes sehen deshalb, dieses Buch als Startpunkt, um zukünftig an der Kooperation zwischen gewerblich-technischer und kaufmännischer Berufsbildung im Kontext der Lernfabriken weiter zu arbeiten.



Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording der Zusammenfassung der Netzwerkveranstaltung

Nürnberg, Dezember 2020

Karl Wilbers und Lars Windelband

Inhalt

Vorwort ……..……..……...5

I Theoretische Grundlagen

Lernfabriken: Ein Zukunftsmodell für die berufliche Bildung?
(Uwe Fasshauer / Karl Wilbers / Lars Windelband) ……..…15

Prozessmodelle als Grundlage für die Planung von Lernsituationen in komplexen Lehr-Lernarrangements *(Stephan Leppert)* ……..49

II Strategien ausgewählter Bundesländer

Die Strategie der Lernfabriken in Baden-Württemberg
(Tobias Barthruff / Thomas Dorner / Raphael Hörner / Bernd Wiedmann) ……..…83

Digitale Transformation an berufsqualifizierenden Schulen in Bayern
(Werner Lucha / Andreas Weis) ……...…..95

Lernfabriken: Die Umsetzungs-Strategie in Niedersachsen
(Cornelia Frerichs) ……..….107

III Gute Beispiele außerhalb der Berufsbildung

Die Rolle von Industrie 4.0-Demonstratoren in der digitalen Transformation. Eine Standpunktbestimmung am Portable Industrial Demonstrator for Cyber-Physical Systems (PID4CPS) *(Sascha Julian Oks / Max Jalowski / Nina Zansinger / Kathrin M. Möslein)* ……....119

Lernfabriken an Hochschulen - eine innovative Lernumgebung zur Vermittlung interdisziplinären Wissens?
(Andrea Bianchi-Weinand / Manfred Wannöffel) ……...159

Entwicklung und Evaluierung eines Fortbildungskonzepts für Lehrkräfte an berufsbildenden Schulen im Bereich Industrie 4.0
(Felix Walker / Nico Link) ……..…175

IV Gute Beispiele für die Verknüpfung von kaufmännischer und gewerblich-technischer Berufsbildung

Eine Lernfabrik in Eigenregie
(Andreas Greiner / Horst Pongratz) ……....199

Verknüpfung von kaufmännischer und gewerblich-technischer Ausbildung in Kempten
(Thomas Eldracher / Andreas Ferdinand / Stefanie Hehberger) ……...223

Lernortkooperation im Wissensnetzwerk Kronach-Lichtenfels
(Rudolf Schirmer / Hans Jürgen Lichy / Rainer Meisinger) ……..…243

Gewerblich-kaufmännische Lernfabrik zweier beruflicher Schulen in Nürnberg
(Jürgen Klose / Martin Siegert / Markus Simon / Lorenz Wagner) ……...…..267

Das „Smart Factory Model“ in Osnabrück *(Stefan Sayk)* ……289

Lernfabrik der Hubert-Sternberg-Schule in Wiesloch
(Karl Frötschner / Klaus Heeger) ….…… ……303

Autorenverzeichnis……..……..321

I Theoretische Grundlagen

Uwe Faßhauer, Karl Wilbers & Lars Windelband

Lernfabriken: Ein Zukunftsmodell für die berufliche Bildung?

Der Beitrag erläutert die Entstehung von Lernfabriken in der praxisnahen ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung und den sich anschließenden Einsatz in der betrieblichen Weiterbildung. Der aktuelle Einsatz an beruflichen Schulen wird skizziert, der Begriff der Lernfabrik für die berufliche Bildung präzisiert und die technisch-didaktischen Ausrichtungen beschrieben. Die Gestaltung des Zusammenspiels von gewerblich-technischem und kaufmännischen Handeln stellt ein aktuelles Gestaltungsfeld von Lernfabriken an beruflichen Schulen in den Vordergrund. Abschließend werden aktuelle Herausforderungen für die weitere Entwicklung von Lernfabriken herausgearbeitet und diskutiert.

Inhaltsverzeichnis

1 Lernfabriken in der akademischen, betrieblichen und schulischen Bildung: Geschichte und aktueller Einsatz 18

1.1 Lernfabriken in der akademischen Bildung 18

1.2 Lernfabriken in der betrieblichen Weiterbildung 21

1.3 Lernfabriken an beruflichen Schulen 22

2 Lernfabriken an beruflichen Schulen: Begriffliche Präzisierung, technische und didaktische Konzepte 25

2.1 Begriffliche Präzisierung 25

2.2 Technische Konzepte für Lernfabriken 26

2.3 Didaktische Konzepte für Lernfabriken: Drei Ebenen 27

2.4 Vertiefung: Lernsituationen in Lernfabriken 29

3 Die Gestaltung des Zusammenspiels von gewerblich-technischer und kaufmännischer Bildung in Lernfabriken 33

3.1 Das Zusammenspiel von MES und ERP-System als Möglichkeitsraum 33

3.2 Notwendigkeit der Förderung systemischen Denkens in der Arbeit mit Lernfabriken 36

3.3 Stufen des Zusammenspiels zwischen gewerblich-technischer und kaufmännischer Bildung in Lernfabriken 36

4 Lernfabriken an beruflichen Schulen: Aktuelle Herausforderungen 39

4.1 Didaktische Gestaltung von Lernfabriken 39

4.2 Schul- und Netzwerkentwicklung und technische Herausforderungen 40

4.3 Qualifizierung der Lehrkräfte und des Ausbildungspersonal 40

4.4 Ressourcen und Nachhaltigkeit von Lernfabriken 41

4.5 Evaluation von Lernfabriken 42

5 Ausblick: Lernortkooperative Entwicklung von Lernfabriken 42

Literaturverzeichnis 46

Dieser Beitrag betrachtet Lernfabriken von der Entstehung und den Einsatzfeldern im akademischen Bereich der Ingenieurausbildung bis zum heutigen Einsatz in der beruflichen Bildung, vorwiegend an den berufsbildenden Schulen. Intensiver wird das Zusammenspiel von gewerblich-technischen und kaufmännischen Handeln im Kontext des Einsatzes von Lernfabriken und den Zugewinn für die berufliche Bildung betrachtet.



Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording der Impulse aus der Wissenschaft

1 Lernfabriken in der akademischen, betrieblichen und schulischen Bildung: Geschichte und aktueller Einsatz

Lernfabriken werden in Hochschulen, Unternehmen und beruflichen Schulen eingesetzt. Sie haben in diesen Institutionen eine unterschiedliche Geschichte, verschiedene Einsatzgebiete und eine unterschiedliche Ausrichtung.

1.1 Lernfabriken in der akademischen Bildung

In der medizinischen Ausbildung haben Lehrkrankenhäuser die Aufgabe, den Studierenden neben dem theoretischen Fachunterricht praktische Erfahrung zu vermitteln. Das Konzept der Lernfabriken nimmt diese Vorstellung für andere Bereich der akademischen Bildung auf.

Der Begriff „Lernfabrik“ als „Learning Factory“ wurde erstmals 1994 durch ein von der Penn State University gefördertes Projekt geprägt. Ziel war eine interdisziplinäre, praktische hochschulische Bildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren mit einer starken Kooperation mit Industrieunternehmen (Tisch 2018, 44). Seit der Gründung wurden 1.200 gesponserte Designprojekte auf Basis realer Problemsituationen unterschiedlicher Unternehmen durchgeführt. 2006 gewann dieses Projekt den Gordon-Preis der National Academy of Engineering (Lamancusa et al. 2008).

In Europa und in Deutschland fanden sich erste Überlegungen für die Umsetzung einer Lernfabrik etwa um die Jahrtausendwende, konkret in den Jahren 2004 bis 2007 in Darmstadt. Im Jahr 2007 wurde in Darmstadt am Institut Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt in Kooperation mit Unternehmen (Bosch, SEW) die erste Lernfabrik in Deutschland offiziell eröffnet. Mit der Unterstützung von Deutschland gelang eine zügige Entwicklung von Curricula und die Durchführung erster Pilot-Trainings (vgl. Prozesslernfabrik 2020). Die Lernfabrik wurde in ihrer Ausstattung und Möglichkeiten kontinuierlich weiterentwickelt. Es war die erste Lernfabrik in Deutschland, die den vollständigen Wertstrom von den Rohmaterialien über die Zerspannung und die Montage bis hin zum Versand abbildete (Abele et al. 2007).

Es folgen weitere universitäre Lernfabriken, wie etwa an der Ruhr Universität Bochum und der Technischen Universität München. Schwerpunkt der 2009 eröffneten Bochumer Lernfabrik

sind Lean-Production, Industrie 4.0 und Ressourcenmanagement. Die Lernfabrik für schlanke Produktion (LSP) an der Technischen Universität München ist ein modulares System, das verschiedene Fertigungsverfahren unterstützt (Abele et al. 2010).

Lernfabriken werden an Hochschulen für die universitäre Lehre und Weiterbildung, aber auch für die Forschung eingesetzt. Eine Lernfabrik für Lehre und Weiterbildung ist laut der Internationalen Akademie für Produktionstechnik (CIRP) definiert durch (Abele et al. 2015, 2):

- Prozesse, die authentisch sind, mehrere Stationen und sowohl technische als auch organisatorische Aspekte umfassen,
- eine veränderbare Umgebung, die einer realen Wertschöpfungskette entspricht,
- ein physisches Produkt, das hergestellt wird, und
- ein didaktisches Konzept, das formelles, informelles und nicht-formelles Lernen vor Ort durch die aktive Beteiligung der Lernenden ermöglicht wird.

Zielgruppen an Hochschulen sind in erster Linie Studierende aus produktions- oder logistiknahen Master- und Bachelorstudiengängen, die mithilfe von Lernfabriken in einer realen Produktionsumgebung Erfahrungen sammeln können.

Lernfabriken integrieren in der Regel eine Vielzahl unterschiedlicher Lehrmethoden, wobei das handlungsorientierte Lernen in der Produktion, also das aufgabenspezifische Problemlösen in realitätsgetreuer Lernumgebung, das Alleinstellungsmerkmal des Lernsystems Lernfabrik darstellt (Abele et al. 2015, 20). Lernfabriken zielen auf die Vermittlung interdisziplinärer Kompetenzen (siehe Beitrag Bianchi-Weinand und Wannöffel in diesem Band).

In der realen oder virtuellen Produktionsumgebung können u. a. Testläufe, Experimente oder problemorientierte Fragestellungen zu unterschiedlichen Fragestellungen im Bezug zu Technologien, organisatorischen Problemstellungen sowie zur Rolle des Menschen durchgeführt werden, die Bestandteil der Hochschulausbildung sind.

Eine neue Zielgruppe sind Studierende der Berufs- und Wirtschaftspädagogik, die auf die Arbeit der Lernfabriken in der beruflichen Bildung vorbereitet werden. Für diese Studierendengruppe sind sowohl die fachwissenschaftlichen, aber auch die didaktischen Perspektiven relevant. Neu sind hier die Fragestellungen zur Gestaltung von Lernprozessen und die Frage

nach Gelingensbedingungen zum erfolgreichen Lernen im Kontext von Lernfabriken im beruflichen Lehramt. Die Standorte der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd sowie der Universität Erlangen-Nürnberg haben dies bereits in die Studiengänge implementiert.

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

- Verbesserung des Produktions- und/oder Logistikprozesses: Schlanke Produktion, Lean Management, Just-in-Time Produktion.
- Rekonfigurierbarkeit: Fabrik-Virtualisierung, digitale Produktionsplanung, Simulation von Produktionssystemen, Informationssysteme zur Planung und Steuerung.
- Energie- und Ressourceneffizienz: Energie und Ressourcenverbrauch, Optimierungsstrategien, Messtechnologien.
- Mensch-Maschine-Gestaltung: Assistenz- und Lernsysteme, Arbeitsbedingungen und Arbeitsabläufe, Gestaltung von Arbeitsplätzen, Problemlösungsprozesse, Rolle des Menschen.
- Vernetzung der Produktionswelt: Testung neuer Industrie 4.0-Technologien, CPS-Systeme, Nutzung von Datenanalysen zur Transparenz und Optimierung, Integration intelligenter Produktionsmaschinen.
- Kompetenzentwicklung: Kompetenzen der Mitarbeiter, Lernstrategien, Lernformen und Lernmedien.

Zudem können durch das realitätsnahe Abbild der Fertigung bei reduzierter Komplexität und bei gleichzeitig deutlich geringerem Kostenaufwand Tests z. B. zum Lernen mit digitalen Me-

dien/Technologien von Studierenden oder Personen aus der Aus- und Weiterbildung durchgeführt werden. Hier können Lernfabriken dafür eingesetzt werden, die erarbeiteten Ergebnisse im Bezug zum erfolgreichen Lernen mit den jeweiligen Probanden zu überprüfen. Theoretische Ansätze können so in der Praxis in einer realitätsnahen Produktionsumgebung mit geringeren zeitlichem und finanziellem Risiko zur Anwendung gebracht werden. Dadurch ist ein beschleunigtes Entwicklungsverfahren möglich (Abele et al. 2019, 249 f.).

Lernfabriken zum Zwecke der Bildung und zum Zwecke der Forschung und Entwicklung lassen sich nicht klar voneinander trennen. Das neu erworbene Wissen kann damit zu neuen individuellen oder wissenschaftlichen Fragestellungen führen. Für die neu entstandenen Fragestellungen muss wiederum theoretisches Wissen angeeignet und überprüft werden (vgl. Wannöffel & Bianchi-Weinand 2018). In Bezug auf Hochschulen eröffnen Lernfabriken somit eine neue Form der Wissenschafts- und Erfahrungsorientierung, bei der kognitive und konstruktivistische lerntheoretische Ansätze berufliche Handlungskompetenz fördern können (vgl. ebd.).

1.2 Lernfabriken in der betrieblichen Weiterbildung

Lernfabriken an Hochschulen werden auch in der betrieblichen Weiterbildung eingesetzt. Die Weiterbildung von Fachkräften auf Facharbeitsebene, Ingenieur/innen aber auch Mitarbeiter/innen anderer Berufsgruppen zu unterschiedlichen Themen innerhalb der Lernfabriken, u. a. zur schlanken Produktion, ist ein weiteres Feld für die Lernfabriken an Hochschulen. Hier existieren Angebote für die berufliche Fort- und Weiterbildung für Unternehmen, Angebote für die eigenen Mitarbeiter/innen oder auch für externe Personen.

Seit einigen Jahren nutzen auch immer mehr Unternehmen auch unternehmensinterne Lernfabriken zur Aus- und Weiterbildung ihrer Mitarbeiter/innen. Bekannte Beispiele sind MPS Lernplattform der Daimler AG (seit 2011) mit Schwerpunkt Lean Production sowie die Festo Lernfabrik in Scharnhausen (seit 2014) von der Festo AG mit vier verschiedenen Themen, nämlich mechanische Bearbeitung, Ventilmontage, Automatisierung und Prozessoptimierung und Verwaltung der Lernfabrik (vgl. Abele et al. 2019). Im letzten Jahrzehnt wurden so in Deutschland und in Europa immer mehr Lernfabriken mit den unterschiedlichsten Schwerpunkten und für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche entwickelt.

Demonstratoren, die eine hohe Ähnlichkeit zu Lernfabriken haben, dienen in Unternehmen zur Unterstützung von Transformations- und Entwicklungsprozessen (siehe Beitrag Oks u. a. in

diesem Band). Dabei geht es um die Sicherung von Partizipation und Mitbestimmung und um integrative stakeholderzentrierte Verfahren der Systementwicklung, die auch die Akzeptanz neuer digitaler Verfahren sichern soll.

Unternehmen sind auch Partner in den Lernfabriken anderer Institutionen. Besonders in Baden-Württemberg müssen die vom Land geförderten Lernfabriken an beruflichen Schulen Kooperationen und Weiterbildungen mit regionalen klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) anbieten, um die Förderbedingungen zu erfüllen. Dabei dienen die Lernfabriken oft zur Weiterbildung in den Themen der digitalisierten Produktion und zu unterschiedlichen Fragestellungen von Industrie 4.0. Häufig werden sie auch als Ansatzpunkt für ein Veränderungsmanagement verwendet. Dabei stehen besonders die motivationalen Aspekte der Lernfabrik im Vordergrund (Abele et al. 2019, 234 f.).

1.3 Lernfabriken an beruflichen Schulen

Die Geschichte von Lernfabriken in der beruflichen Bildung ist schwer zu beschreiben, da kleinere Lernfabriken schon seit vielen Jahren bestehen. Sie wurden meist „Lernfabriken“ genannt, meist eher „Lernlabore“. Außerdem deckten sie typischerweise nur einzelne Aspekte einer komplexen Produktionskette ab.

Seit 2016 sind unterschiedliche Initiativen zur Förderung von beruflichen Lernfabriken in Deutschland zu erkennen, und zwar auf Landesebene. Besonders hervorzuheben sind die Förderinitiativen in Baden-Württemberg (siehe Beitrag Barthruff u. a. in diesem Band), in Bayern (siehe Beitrag Lucha und Weiß in diesem Band) sowie Niedersachsen (siehe Beitrag Frerichs in diesem Band). Alle drei Förderinitiativen stellen auch auf ein Zusammenspiel von gewerblich-technischem und kaufmännischen Handeln ab.



Abbildung 1: Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording zum virtuellen Roundtable

Erste Lernfabriken an beruflichen Schulen waren u. a. die Lernfabrik 4.0 der Gewerblichen Schule in Göppingen, die Smart Factory Anlage der Berufsbildenden Schulen Osnabrück Brinkstraße (siehe Beitrag Sayk in diesem Band) sowie die Industrie-4.0-Abfüllanlage der Berufsbildenden Schulen 2 in Wolfsburg. Statistische Daten zu den Einsatzgebieten von Lernfabriken in den beruflichen Schulen in Deutschland liegen nicht vor. Lernfabriken dürften jedoch schwerpunktmäßig in den Fachschulen und in der beruflichen Erstausbildung eingesetzt werden.

Fachschulen sind berufliche Schulen der beruflichen Weiterbildung. Sie schließen in unterschiedlichen Organisationsformen des Unterrichts (Vollzeit- oder Teilzeitform) an eine berufliche Erstausbildung und an Berufserfahrungen an. Die Kompetenzerwartungen in der Fachschule liegen – gemessen am Deutschen Qualifikationsrahmen – auf dem gleichen Niveau wie Bachelorstudiengänge in der akademischen Bildung. Vor diesem Hintergrund hat der Einsatz von Lernfabriken an Fachschulen viele Parallelitäten zu Lernfabriken an Hochschulen. Bei der Implementierung von Lernfabriken an beruflichen Schulen – gerade an Bündelschulen – sind Lernfabriken daher ein wichtiger Brückenkopf.

Die duale Berufsausbildung ist ein deutlich größeres Segment der beruflichen Bildung als die Fachschulen. In der dualen Berufsausbildung werden seit ein paar Jahren immer mehr Lernfabriken am Lernort Berufsschule eingesetzt. Hier steht das Ziel im Vordergrund, Schüler*innen eine berufliche Handlungskompetenz im Kontext der Entwicklungen zu Industrie 4.0 mit dem Wandel der Arbeitsbedingungen zu vermitteln. Aktuell haben Lernfabriken einen Schwerpunkt in der gewerblich-technischen Berufsbildung, und zwar rund um die Themenbereiche und die Berufsfelder Automatisierungstechnik, Elektrotechnik, Metalltechnik, Mechatronik sowie Steuerungs- und Regelungstechnik.

Die hohe technische Komplexität in den Produktionsprozessen im Kontext der Industrie 4.0 geht einher mit den hohen Anforderungen an das technische Verständnis der Lernenden und Lehrenden. Um die Arbeits- und Geschäftsprozesse im Kontext der Industrie 4.0 nachvollziehen zu können, werden Facharbeiter*innen der gewerblich-technischen und immer mehr auch den kaufmännischen Berufsfeldern mit diesem Prozessverständnis konfrontiert.

Für die kaufmännische Bildung ist die Arbeit mit Lernfabriken noch relativ neu. Die Entwicklung erfolgt hier zurzeit vor allem als Kooperation einer kaufmännischen und einer gewerblich-technischen Schule. In diesem Band werden als Beispiele die Zusammenarbeit der beruflichen Schule 2 und der beruflichen Schule 4 der Stadt Nürnberg (siehe Beitrag Klose u. a. in diesem Band), der Hubert-Sternberg-Schule und der Johann-Philipp-Bronner-Schule in Wiesloch (siehe Beitrag Frötschner und Heeger in diesem Band) sowie der Berufsschule I & II in Kempten (siehe Beitrag Eldracher, Ferdinand und Hehberger in diesem Band) dargestellt. Denkbar ist auch die Zusammenarbeit des kaufmännischen und des gewerblich-technischen Bereichs in einer Bündelschule wie im Fall des beruflichen Schulzentrums Amberg (siehe Greiner und Pongratz in diesem Band). Eine Ausnahme stellt die Zusammenarbeit von zwei Bündelschulen dar, wie im Fall des Beruflichen Schulzentrums Lorenz-Kaim-Schule in Kronach und der Staatlichen Berufsschule Lichtenfels (siehe Schirmer, Lichy und Meisinger in diesem Band).

2 Lernfabriken an beruflichen Schulen: Begriffliche Präzisierung, technische und didaktische Konzepte

2.1 Begriffliche Präzisierung

Der Begriff der Lernfabrik wird unterschiedlich verwendet. Die Lernfabrik soll einen Betriebskontext vorstellbar machen, in dem für Lernende reale Arbeitsbedingungen simuliert werden. Es handelt sich dabei um eine komplexe, anspruchsvolle, räumliche und didaktische-methodische Konzeptualisierung (vgl. Zinn 2014). Der Begriff Lernfabrik steht für eine fachdidaktisch-methodisch begründete Lehr-Lernumgebung, die idealerweise den gesamten Produktionsprozess und angrenzende Unternehmensbereiche abbildet (Steffen et al. 2013). Unter Berücksichtigung von Definitionen in der beruflichen Bildung (Zinn 2014, 23) lässt sich der Begriff der Lernfabrik wie folgt festlegen:

Lernfabriken werden hier definiert als Simulationen, die in einer modularen Struktur mit Hilfe flexibel nutzbarer aktueller technischer Komponenten mit hohen, aber unterschiedlichen Realitätsgraden sozio-technische Systeme der industriellen Produktion physischer Produkt abbilden und das beruflichen Lehren und Lernen, insbesondere mit Lernsituationen, zum Erwerb fachlicher, aber auch personaler Kompetenzen unterstützen.

Die Arbeit mit Lernfabriken ist in didaktischer Hinsicht eine Simulation: Das Lehren und Lernen lässt sich als Dreischritt von Briefing, Handeln mit Modell und Debriefing begreifen und hat neben dem Lernen im Modell auch das Lernen am Modell zu berücksichtigen. Lernfabriken haben damit Parallelen zu anderen Simulationen im kaufmännischen Bereich, etwa der Arbeit in Übungsunternehmen, aber auch zu technischen Simulationen, etwa Robotersimulationen (Wilbers 2020, 453 ff.).

Die Lernfabrik muss flexibel nutzbar sein. Unterschiedliche Kombinationen von Produktionsplanungen und -situationen im Sinne von betrieblichen Fallbeispielen lassen sich darstellen (vgl. Zinn 2014, 23).

Lernfabriken bestehen aus aktuellen technischen Komponenten. Lernfabriken haben einen hohen, aber unterschiedlichen Realitätsgrad. Der Realitätsgrad einer Lernfabrik wird durch das Vorhandensein oder den Mangel an Maschinen, Anlagen und Geräten dargestellt. Unter

diesen Voraussetzungen ist die Vermittlung von beruflichen Handlungskompetenzen nur nach dem aktuellen Stand der Technik möglich (vgl. ebd., 23).

Lernfabriken modellieren sozio-technische Systeme, d. h. dass das Modellhandeln sich nicht auf das technische System beschränken darf, sondern sowohl auf das technische System als auch auf das soziale System beziehen muss. Bezüglich des sozialen Systems geht es einerseits um das Miteinander von Menschen, auch unterschiedlicher Professionen, aber auch um verschiedene Strategien der Gestaltung, also Wertschöpfung oder Arbeitsorganisation.

Lernfabriken bieten ein großes Potenzial, durch die Simulation von realen Arbeits- und Geschäftsprozessen eine hohe Orientierung an beruflichen Handlungen zu erreichen. Voraussetzungen dafür ist eine hohe Aktualität der Lernfabriken im Bezug zur Soft- und Hardware, eine Variabilität in der Anlagengestaltung und -zusammensetzung, um unterschiedliche Szenarien zur Problemorientierung abzubilden und eine möglichst hohe Realitätsnähe in den Handlungssituationen abzubilden. Grundlage hierfür ist die Kenntnis der aktuellen beruflichen Situationen in der Arbeitswelt. Um die Potenziale der Lernfabrik nutzen zu können, müssen die Szenarien zum Ziel haben, eine selbstständige Organisation und Problemlösefähigkeit bei den Auszubildenden zu fördern (ebd., 23).

2.2 Technische Konzepte für Lernfabriken

Lernfabriken wurden hier definiert als Simulationen, die in einer modularen Struktur mit Hilfe flexibel nutzbarer aktueller technischer Komponenten sozio-technische Systeme der industriellen Produktion physischer Produkt abbilden. Bei der Zusammenstellung der technischen Komponenten lassen sich mehrere Strategien unterscheiden.

- Eigenfertigung oder Fremdbezug: Die Lernfabrik kann prinzipiell fremdbezogen werden. Große Lehrmittelhersteller bieten inzwischen umfangreiche Angebote an. Schulen können Lernfabriken – auch als Schulentwicklungsprojekt – selbst erstellen. Die Eigenfertigung bietet Chancen, aber auch Risiken (siehe Beitrag Pongratz und Greiner in diesem Band). Fremdbezogen Lernfabriken können unterschiedlich konfiguriert sein.
- Industriekomponenten oder Nicht-Industriekomponenten: Einige Lernfabriken verwenden ausschließlich Industriekomponenten, andere nicht. Eine Mischform ist denkbar. Ob eine ausschließlich aus Nicht-Industriekomponenten bestehende Konfiguration noch als Lernfabrik im oben genannten Sinne bezeichnet werden kann, ist strittig. In diese Kategorie fallen vor allem Zusammenstellungen von Elementen aus Konstruktions-Baukastensystemen wie fischertechnik oder Lego Technic.

- Cyber-Physical Komponenten oder virtuelle technische Komponenten: Industrielle Produktionsprozesse in Industrie 4.0 sind durch die Integration von cyberphysikalischen Systemen gekennzeichnet. Dies korrespondiert mit dem Aufbau einer Lernfabrik aus physikalischen und virtuellen Elementen. Rein virtuelle Arbeits- oder Lernwerkzeuge, die zur Simulation industrieller Prozesse verwendet werden, werden hier nicht als Lernfabriken im oben genannten Sinne verstanden.

2.3 Didaktische Konzepte für Lernfabriken: Drei Ebenen

Zur Beschreibung der generellen didaktisch-methodischen Ausrichtung kann ein Drei-Ebenen-Modell herangezogen werden. Demnach können drei Ebenen unterschieden werden, nämlich die Lernfabrik-Ebene, also Ebene der Lernfabrik als Ganze, die Lernmodul-Ebene sowie die Lernsituations-Ebene. Auf diesen Ebenen können sowohl die Struktur und die Rahmenbedingungen der Lernfabrik, die generelle Ausrichtung und Einordnung der Lernmodule, als auch die ganz konkrete Umsetzung der Lernsituation mit den spezifischen Zielstellungen abgebildet werden. Dies führt dazu, dass es keine einheitliche didaktische Konzeption für Lernfabriken existiert, sondern je nach Ausrichtung, Zielstellung und Zielgruppe sich die Parameter unterscheiden.

(a) Die **Lernfabrik-Ebene** fokussiert nach Tisch (2018, 74) die sozio-technische Lernfabrikinfrastruktur einschließlich des Produktions- und Logistikumfeldes, der Bearbeitungsprozesse, der Vernetzung der Produktionsschritte mit den relevanten Daten- und Schnittstellenpunkten innerhalb der Prozesskette, dem zu erstellenden Produkt sowie die Rolle und Aufgaben der Mitarbeiter*innen, den inhaltlichen Rahmen des zu gestaltende Lernfabrikprogramms mit der Verknüpfung von ERP-System und MES-System sowie ein grundlegendes didaktisches Konzept. Dieses ist stark vom Aufbau und der Zielsetzung der Lernfabrik abhängig, d. h. handelt es bei der Lernfabrik um eine Demonstrationsanlage, dient die Lernfabrik zur Prozessoptimierung oder fokussiert sie berufliche Fragestellungen für die Mitarbeiter*innen der shop-floor-Ebene bzw. Mitarbeiter*innen auf der Ebene kaufmännischer Sacharbeit.

(b) Auf der **Lernmodul-Ebene** steht die Gestaltung des Lernmoduls im Mittelpunkt. Innerhalb der Lernumgebung einer Lernfabrik sind häufig unterschiedliche Lernmodule integriert. Diese können miteinander verknüpft sein, oder in der thematischen Ausrichtung bzw. hinsichtlich bestimmter Zielgruppen unabhängig voneinander gestaltet sein. Die Gestaltung eines Lernmoduls umfasst neben einer Sequenzierung der Lernprozesse und -situationen auch die Planung der Veränderbarkeiten in der sozio-technischen Infrastruktur der Lernfabrik (ebd., 75). Die Themenauswahl bei den Lernfabriken ist dabei sehr unterschiedlich, wie das Beispiel von

Lernfabriken in Hochschulen zeigt: Von Materialflussauslegung und -optimierung (Lernfabrik Universität Darmstadt[1]), Akteure 4.0: Planspiel für die digitale Zukunft (Future Work Lap in Stuttgart[2]) oder Ressourceneffizienz in der Lean Production (Ruhr Universität Bochum[3]). Die thematische Ausrichtung fokussiert oftmals ingenieurwissenschaftliche Aspekte (Hochschulen) bzw. technische Aspekte (Unternehmen bzw. Berufsschulen). In Zeiten der zunehmenden Digitalisierung der Arbeitswelt und der damit einhergehenden Vernetzung ganzer Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette, sind nicht nur die Fertigungs- und Produktionsabläufe von Bedeutung bei der Themenauswahl, sondern auch Bereiche der Fabrikplanung und der Intralogistik, der kaufmännischen Prozesse und der Organisation von Arbeit. Dabei erweitern sich die Themen für die Lernmodule um arbeitspolitische Aspekte wie die Mitbestimmung oder die lernförderliche Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Bei den beruflichen Schulen ist das Lernmodul einer Lernfabrik in einem Lernfeld integriert, welches wiederum einem konkreten Ausbildungsberuf zugeordnet werden kann.

(c) Die **Lernsituations-Ebene** fokussiert die Ebene von in Lernfeldern bzw. Modulen verankerten Lernsituationen.

Allen drei Ebenen gemeinsam ist die Ausrichtung auf Arbeits- und Geschäftsprozesse. Jede Lernfabrik stellt ihr eigenes didaktisches Konzept auf, um sich an den jeweiligen Zielgruppen orientieren zu können. So sind Lernfabriken an Hochschulen folglich in erster Linie auf die Studierenden, aber auch auf die Bedürfnisse des akademischen Personals zugeschnitten (vgl. IG Metall 2018). Dagegen konzentrieren sich Lernfabriken an beruflichen Schulen auf Auszubildende und damit auf die Facharbeitsebene mit einem Lernen in beruflichen Handlungssituationen. Die sich daraus ergebenden Lern- und Kompetenzziele sind curricular in den entsprechenden Lernfeldern der jeweiligen Ausbildungsberufe für den berufsschulischen Teil verankert.

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

[1] https://www.prozesslernfabrik.de/ (Stand 20.10.2020)
[2] https://futureworklab.de/ (Stand 20.10.2020)
[3] https://www.lps.ruhr-uni-bochum.de/lernfabrik/index.html (Stand 20.10.2020)

- 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.

2.4 Vertiefung: Lernsituationen in Lernfabriken

Lernsituationen zeichnen sich durch Kompetenzerwartungen, ein zentrales Handlungsprodukt, einen Handlungsprozess, einen Handlungsraum und einen Handlungsprozess aus, die in einem gegebenen Bedingungsrahmen ein bestimmtes Lehrhandeln vorsehen (Wilbers 2020, 483 ff.).

Die mit Lernfabriken fokussierten **Kompetenzerwartungen** heben grundsätzlich auf Handlungskompetenz bzw. Problemlösefähigkeit ab. Zu den übergeordneten Lernzielen in der Lernfabrik gehören selbständiges Planen sowie Durchführen und Kontrollieren von Arbeitstätigkeiten nach dem Modell der vollständigen Handlung. In beruflichen Schulen steht das Ziel im Vordergrund, Auszubildenden und Studierenden der Fachschule den Erwerb bzw. die Vertiefung beruflicher Handlungskompetenz zu ermöglichen. Deshalb sind alle Lernfabriken an berufsbildenden Schulen problem- und handlungsorientiert aufgebaut sowie inhaltlich an entsprechenden Lernfeldern der Rahmenlehrpläne ausgerichtet.

Ziel ist es, durch ein problemorientiertes Handeln möglichst prozessorientiert und damit nah an den tatsächlichen Arbeits- und Geschäftsprozessen zu lernen. Aspekte der Vernetzung und ein Denken in vernetzten Systemen können damit eng verbunden werden. Besonders das weitere Zusammenwachsen von informationstechnischen mit den klassischen Produktionsprozessen kann hier an realen Aufgabenstellungen thematisiert werden. Darüber hinaus werden ein selbständiges und kontinuierliches Lernen, informelle Kompetenzen in abstraktestem Denken und Kommunikation sowie Problemlösefähigkeit als wichtige Fähigkeiten in einer Arbeitswelt 4.0 in der Lernfabrik gefördert.

Durch die aktuellen Entwicklungen im Kontext von Industrie 4.0 nimmt die Komplexität und die Vernetzung innerhalb der Praxisanlagen stetig zu, weshalb analytische Fähigkeiten für die gewerblich-technischen Berufe weiter an Bedeutung gewinnen (vgl. Zinke et al. 2017; bayme

vbm 2016). Diese komplexen Wirkzusammenhänge entlang der gesamten Wortschöpfungskette sind gedanklich nicht einfach zu erfassen. Deshalb ist eine Lernumgebung notwendig, die selbige möglichst exakt wiedergibt um effektiv ausbilden zu können (Lütjens 2006, 3). Die derzeit eingeführten Lernfabriken bieten zusätzlich zu den Kern Industrie 4.0 Inhalten (Sensorik/Aktorik, Flexible Fertigung, Vernetzung, …) die Möglichkeit, ein vertieftes Verständnis der Zusammenhänge innerhalb der Wertschöpfungskette zu erhalten. Da in einer Lernfabrik die gesamte Wertschöpfungskette und damit die gesamte Auftragsabwicklung von der Bestellung eines Produktes, der Planungsablauf, der Bestellung der notwendigen Materialien, der Materialzuführung, den Produktions- und Bearbeitungsschritten bis hin zur Qualitätskontrolle und der Auslieferung des Produktes (zum Kunden) abgebildet werden kann.

Die Lernsituationen umfassen somit wesentliche Elemente einer handlungsorientierten Qualifizierung wie Arbeits- und Geschäftsprozessorientierung, die Reflexion von Theorie und Praxis, Wissenschafts- und Erfahrungsorientierung (vgl. Wannöffel & Bianchi-Weinand 2018). Viele der Lernfabriken sind modular aufgebaut, so dass der Wertschöpfungsprozess (oftmals als Produktionsprozess) in mehreren Stufen gegliedert ist, z. B. in Form einer Bearbeitung von Produktionsschritten und einer Montageeinheit mit integrierten Funktionen der Logistik und der Qualitätssicherung. Der modulare Aufbau in der Ausstattung ermöglicht Formen der Optimierungen, sodass die Lernenden konkrete Verbesserungen in den Prozessketten nicht nur aufzeigen, sondern auch aktiv umsetzen können. Damit kann das theoretische Wissen direkt in einem „echten“ Produktions- und Logistikumfeld angewandt werden.

Eine zentrale Grundlage der Abgrenzung der Kompetenzerwartungen ist die implizite Vorstellung oder das explizite Modell der der Lernfabrik zugrundeliegenden Prozesse. Zur Explizierung des Prozessmodells bieten sich die Verfahren der prozessorientierten Sachanalyse (siehe Beitrag Leppert in diesem Band). Die Beiträge in diesem Band zu den Lernfabriken in Amberg (siehe Greiner & Pongratz), in Nürnberg (siehe Klose & Siegert), in Kempten (siehe Eldracher, Ferdinand & Hehberger), in Kronach-Lichtenfels (siehe Schirmer, Lichy und Meisinger) und in Wiesloch (siehe Frötschner & Heeger) zeigen konkrete Beispiele für Prozessmodelle, die Lernfabriken zugrunde liegen. Daneben können Prozessmodelle in beruflichen Schulen – wie das Beispiel in Osnabrück (siehe Sayk in diesem Band) zeigt – nicht nur Grundlage für die Sachanalyse, sondern auch Lerngegenstand sein.

Viele aktuell entstehende Lernfabriken zum Schwerpunkt Industrie 4.0 an berufsbildenden Schulen haben dabei ein zweistufiges didaktisches Konzept:

1. Dies ist zum einen das **Grundlagenlabor**, das den Auszubildenden eine Hinführung zu den digital gesteuerten Produktionstechnologien ermöglicht. In unterschiedlichen Grundlagenmodulen werden Fragestellungen einer modernen industriellen Fertigung vermittelt (u. a. Sensorik/Aktorik, Identifikationstechnologien, Kommunikationsarchitektur, MES- und Datenbanksystem).
2. Die zweite Stufe bildet die eigentliche **Lernfabrik** (Smart Factory) mit einer Verknüpfung aller Schwerpunkte aus den Grundlagenlaboren zu einer ganzheitlichen Lernfabrik. Hier haben die Auszubildenden die Möglichkeit, intelligente Produktionsprozesse auf der Basis realer Industriestandards zu trainieren, vernetzte Abläufe selbst zu steuern sowie konkrete berufliche Problemsituationen zu lösen.

Über alle Stufen werden die Schwerpunkte zu „Industrie 4.0“ modular und objektorientiert aufgebaut, um flexible Fertigungssysteme und damit konkrete berufliche Handlungssituationen realisieren zu können. Dadurch kann die Lernfabrik jederzeit flexibel angepasst, erweitert und auch für zukünftige Produkte, Aufgabenstellungen und Technologien offengehalten werden. Dies ist besonders wichtig, da die Entwicklungen zu Industrie 4.0 erst am Beginn sind und sich noch ständig weiterentwickeln werden (Windelband 2019, 40).

Handlungsprodukte sind allgemein Ergebnis einzelner Phase der vollständigen Handlung und das Handlungsprodukt der Durchführungsphase stellt dabei das zentrale Handlungsprodukt dar (Wilbers 2020, 483 ff.). Das Handlungsprodukt der Lernfabrik ist mithin nicht das im Zentrum stehende physische Produkt, das innerhalb der Lernfabrik gefertigt wird. Vielmehr müssen unter Zuhilfenahme des Modells der vollständigen Handlung die Handlungsprodukte der einzelnen Phasen ausdifferenziert werden.

Der **Handlungsprozess** wird im Rahmen von Lernsituationen in Lernfabriken unterschiedlich gestaltet. Eine Lernsituation in einer Lernfabrik sowohl einen erforschenden, experimentellen, systematisierenden, reflektierenden oder auch problemlösenden Charakter haben. In Lernfabriken werden damit praxis- und handlungsorientierte Ansätze, die vor allem aus der beruflichen Bildung stammen, in akademische Lernformen integriert. Die Lerngegenstände stehen in einem konkreten Situationsbezug und orientieren sich an realen beruflichen Aufgabenstellungen, für die berufliche Bildung oftmals mit einer hohen Problemorientierung. Die Lernenden können ihre Lernprozesse je nach Zielrichtung teilweise selbstorganisiert durchlaufen.

Lernfabriken bieten hier großes Potenzial, da sehr arbeitsprozessorientiert und nah an der realen beruflichen Praxis qualifiziert werden kann. Dies gelingt vor allem dann, wenn die Lernfabrik den aktuellen Entwicklungsstand der Praxis abbildet, d. h. die Anlage auf dem aktuellsten Stand der Technik ist. Gleichzeitig müssen berufliche Handlungssituationen an der Anlage

umsetzbar sein. Vom Einbau eines Sensors in die Anlage bis zur konkreten vorausschauenden Wartung bspw. können berufliche Handlungssituationen abbildbar und veränderbar gestaltet sein.

Weitere Elemente für die Gestaltung von Lernsituationen sind die eingesetzten Lernmethoden (u. a. Planspiel, Projekt, Demonstration, Instruktion, Fehlerdiagnose, Fertigungsaufgabe), die eingesetzten Lernmaterialien (vom Arbeitsblatt bis zu einem VR-Rundführung durch die Anlage), die verwendeten Lernmedien (digitale und vernetzte Medien zur Simulation, Visualisierung mittels digitalem Zwilling, Kommunikation und zur Kollaboration) sowie das Ergebnis als Lernprodukt (von ein Grundverständnis für Industrie 4.0 aufbauen bis zu konkreten Instandhaltungsaktivitäten für eine bestimmte Berufsgruppe an der Anlage) (vgl. Abb. 2).



Abbildung 2: Gestaltungskriterien methodisch-didaktischer Konzepte in Lernfabriken

Während des Handlungsprozesses werden von den Lernenden auch **Medien** eingesetzt. Hier werden zum Beispiel begleitende auch Tablets zur Prozessüberwachung oder VR-Brillen zur Visualisierung und Simulation eingesetzt.

Das begleitende **Lehrhandeln bzw. die Rolle der Lehrenden** ist anspruchsvoll. Der Wissens- und Kompetenzerwerb erfolgt in Lernfabriken oft in einem vom Lernenden aktiv-aufbauenden Prozess, kann jedoch auch instruierend per Einweisung erfolgen. Dementsprechend variiert das Lehrhandeln und sieht sowohl instruierende, begleitende oder beratende Aktivitäten vor.

3 Die Gestaltung des Zusammenspiels von gewerblich-technischer und kaufmännischer Bildung in Lernfabriken

3.1 Das Zusammenspiel von MES und ERP-System als Möglichkeitsraum

Durch die technische Verknüpfung des ERP-Systems mit dem MES entsteht ein Möglichkeitsraum für die Verbindung von gewerblich-technischer und kaufmännischer Bildung, der unterschiedlich ausgenutzt wird. Dabei verwaltet das Enterprise Resource Planning System (ERP) die gesamte Fabrik von Bestellung durch den Kunden bis hin zur Auslieferung und das Manufacturing Execution System (MES) regelt die Produktionsabläufe mit allen notwendigen Fertigungs- und Montageschritten.

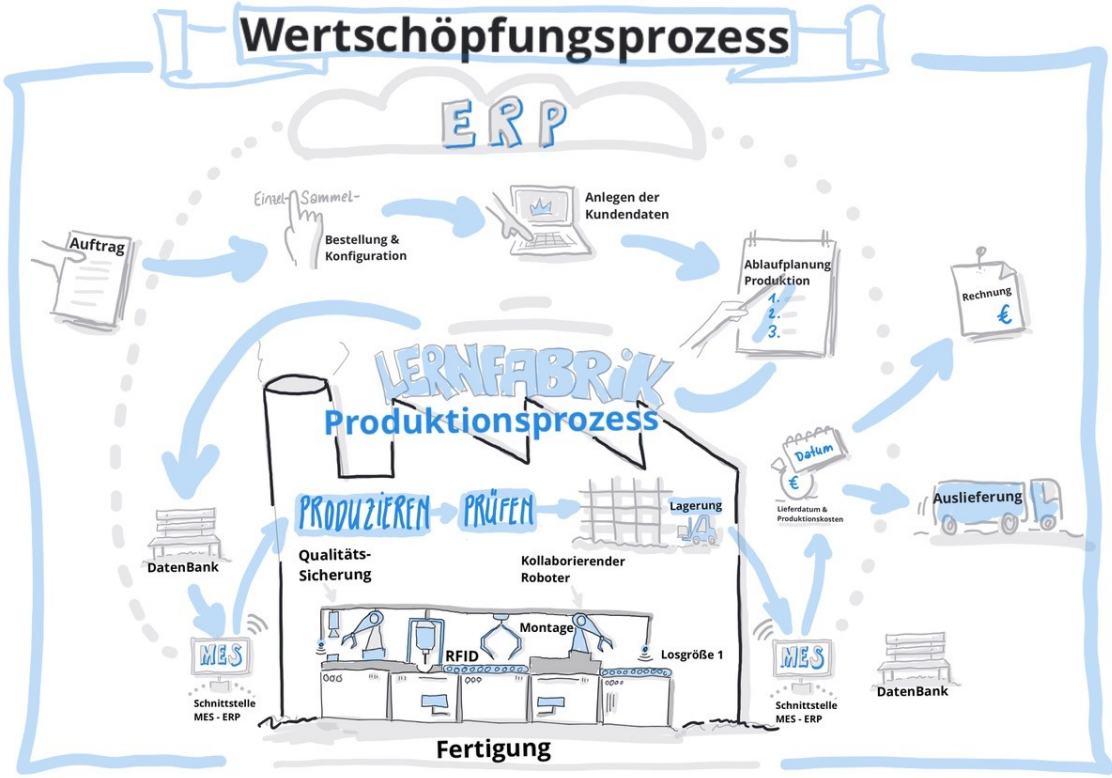


Abbildung 3: MES und ERP im Zusammenspiel zwischen gewerblich-technischer und kaufmännischer Berufsausbildung

Zentraler Punkt in einer Lernfabrik ist ein hergestelltes physisches Produkt (vgl. Abbildung 3), welches oftmals in unterschiedlichen Ausführungen produziert werden kann. Ziel der Lernfabrik 4.0 ist dabei, mit der Losgröße eins auf direkten Kundenwunsch zu fertigen.

Auf der betriebswirtschaftlichen Seite geht es zunächst um die Geschäftsprozesse im Wertschöpfungsprozess, d. h. um die Kette der Aufgaben mit allen Möglichkeiten zwischen Auftragseingang bis hin zur Auslieferung des Produktes mit Hilfe des ERP-Systems aufzuzeigen und umsetzen zu können. Ein wichtiger Punkt ist dabei die Schnittstelle zwischen dem ERP-System mit der Bestellung und der Fertigungssteuerung mit dem ME-System. Die Produktion, Montage, Qualitätsüberwachung sowie die Einbindung der Logistik im verketten Maschinensystem machen dabei die nächsten Schritte aus, die über das MES gesteuert werden. Dabei werden informationstechnische und betriebswirtschaftliche Daten direkt miteinander verknüpft und die Daten möglichst echtzeitnah und austomatisiert weitergegeben. Ebenso ist durch die

Fertigung die Auftragsänderung in der bereits angelaufenen Produktion möglich, um individuelle Lösungen oder kurzfristige Kundenwünsche umsetzen zu können.

Deutlich wird dies am Beispiel der Lernfabrik 4.0 in Bietigheim-Bissingen (Dröge et al. 2018, 129f.):

- Der MES-Rechner steuert die einzelnen Aufträge durch die Anlage und kommuniziert unablässig mit der SPS, die die einzelnen Prozessmodule koordiniert. Der MES-Rechner erhält die Produktionsaufträge aus einer zwischengeschalteten Datenbank, auf die sowohl der MES-Rechner als auch das ERP-System Lese- und Schreibrechte haben. Der Produktionsfortschritt sowie der Montageerfolg werden vom MES-Rechner zurück ans ERP-System gemeldet. Die Materialbestände werden dort nach Materialverbrauch automatisch aktualisiert.
- Die Aufträge werden in Serien- und Sonderproduktion unterschieden. Bei der Serienproduktion werden mehrere gleichartige Modellautos montiert. Auf dem RFID-Chip wird lediglich die Seriennummer des Modellautos gespeichert und diese in der Montagelinie verfolgt. Bei der Sonderproduktion befinden sich alle montagerelevanten Daten auf dem RFID-Chip. Das VMS (verkettete Maschinensystem) steuert sich anhand dieser Daten selbst. Der MES-Rechner gleicht lediglich die Auftragsnummer mit dem ERP-System ab, immer nach dem Prinzip „Keine Produktion ohne Auftrag“.

Nur ein zeitnaher Überblick über alle relevanten und verfügbaren Daten/Informationen innerhalb der Wertschöpfungskette, der geplante Stand im Gesamtprozess und die Verfügbarkeit der notwendigen Ressourcen erlaubt eine optimierte Organisation sowie ein flexibles Reagieren auf Veränderungen wie eine neue Auftragslage oder Störungen im System.

Es muss sichergestellt werden, dass die Auszubildenden innerhalb einer smarten Fabrik (hier die Lernfabrik), ob im Planungsbereich, in der Logistik, im Produktionsbereich oder im Service, die relevanten Informationen in geeigneter Form aufbereitet und präsentiert bekommt, um diese Informationen/Daten auch für die jeweilige Arbeitsaufgabe nutzen zu können. Damit gewinnt das Zusammenspiel zwischen unterschiedlichen Berufen noch einmal eine ganz neue Bedeutung.

Eine Vernetzung mit weiteren Berufsgruppen, insbesondere kaufmännischen Berufen, zeichnet sich zunehmend als künftige Aufgabe für die didaktischen Konzeptionen von Lernfabriken in der beruflichen Aus- und Weiterbildung ab. Dies wird vor allem an der Schnittstelle zwischen dem Manufacturing Execution System (MES) und dem Enterprise Resource Planning (ERP) deutlich. Hier bestehen jedoch didaktische Herausforderungen, um eine engere Verknüpfung in den Lernsettings zu erreichen.

3.2 Notwendigkeit der Förderung systemischen Denkens in der Arbeit mit Lernfabriken

Die Verknüpfungen zwischen kaufmännischen und gewerblich-technischen Handeln (Wilbers 2019) darf sich nicht nur auf die Weiterleitung von Daten und Informationen zwischen dem ERP- und MES-System beschränken, sondern es sollte ein Gesamtverständnis über den Geschäftsprozess, also ein umfassendes Prozessverständnis, entwickelt werden, wie auch unterschiedliche Studien im Kontext der Entwicklungen von Industrie 4.0 für die Berufsbildung fordern (vgl. Zinke et al. 2017; Pfeiffer et al. 2016, Ittermann & Niehaus 2018; bayme vbm 2016).

Die Anforderungen aus der Arbeitswelt zeigen deutlich, dass die Fachkräfte der Zukunft ein stärkeres Prozess- und Vernetzungsdenken benötigen. Dass die Wirklichkeit hier noch ein ganzes Stück weg ist, zeigt die Aussage von Schmid (2018, 31): „Der Systembegriff muss mehr in den Mittelpunkt der Ausbildung gestellt werden. Dies wird heute noch zu selten in der Berufsschule und Ausbildung gemacht. Bei Industrie 4.0 wird immer mit kleinen technischen Einheiten mit einem dazu identischen Abbild im Programm gearbeitet, die über Schnittstellen mit anderen Systemen in Wechselwirkung stehen und kommunizieren. Solches Denken muss Einzug in den Köpfen halten.“ Dabei müssen fachrichtungsübergreifende Verknüpfungen, konkrete didaktische Konzepte zur Förderung des ganzheitlichen Denkens in Prozesszusammenhängen sowie ein Denken in vernetzen Systemen mehr in den Mittelpunkt der Ausbildung gestellt werden. In der Praxis ist noch eine klare Trennung zwischen den einzelnen Berufen und Berufsgruppen in den Berufsschulen und Ausbildungsunternehmen zu erkennen.

3.3 Stufen des Zusammenspiels zwischen gewerblich-technischer und kaufmännischer Bildung in Lernfabriken

Gemeinsamer Bezugsrahmen für die gewerblich-technische und die kaufmännische Bildung sind Arbeits- und Geschäftsprozesse. Die (Re-)Konstruktion und Gestaltung der der Lernfabrikarbeit zugrundeliegenden Arbeits- und Geschäftsprozesse bietet damit einen Ansatzpunkt zur Entwicklung dieses Zusammenspiels. Ein Verfahren dazu ist die prozessorientierte Sachanalyse (siehe Beitrag Leppert in diesem Band).

Die erste Entwicklungsstufe des Zusammenspiels von gewerblich-technischem und kaufmännischen Handeln konzentriert sich auf die Realisierung des Make-Prozesses, vor allem im gewerblich-technischem Bereich. Aus Sicht von Modellen für Arbeits- und Geschäftsprozesse

wie dem SCOR-Modell oder der Einteilung von Management-, Geschäfts- und Supportprozessen (Wilbers, 2020, 44 ff.) fällt auf, dass sich die Arbeit in Lernfabriken auf den Prozess „Make“ (Herstellen) eines physischen Produkts, also eines Realgutes, konzentrieren. Dieser mehr oder minder komplexe Make-Prozess bildet sozusagen den Kern jeder Lernfabrik. Die Abbildung eines mehr oder weniger umfangreichen Make-Prozesses in einer Lernfabrik ist aufwändig und kann in didaktischer Hinsicht einen großen Fortschritt durch die Gesamtbetrachtung des Prozesses ermöglichen. Vor- und nachgelagerte Prozesse, etwa der Einkaufsprozess (source) oder der Rücknahmeprozess (return) werden in diesem Kernmodell noch nicht berücksichtigt. Das gilt auch für Management- und Supportprozesse bzw. Plan- und Enable-Prozesse. Der Prozess „Make“ ist der Ausgangspunkt jeder Lernfabrik, bietet aber kaum Möglichkeiten des Zusammenspiels von kaufmännischen und gewerblich-technischem Handeln. Im engeren Sinne erfolgt auf dieser Stufe noch kein Zusammenspiel von gewerblich-technischem und kaufmännischen Handeln. Für die Gestaltung des Zusammenspiels bedarf es hingegen auf einer nächsten Stufe einer Prozessverbreiterung und bzw. oder eine Prozessvertiefung.

Bei einer *Prozessverbreiterung* wird der für Lernfabriken typische Make-Prozess um vor- bzw. nachgelagerte Prozesse erweitert. Dabei spielt vor allem die Generierung einer Bestellung in der kaufmännischen Domäne vor dem Make-Prozess, aber auch die Rechnungsstellung nach dem Make-Prozess eine zentrale Rolle. Durch eine derartige Prozessverbreiterung ergibt sich ein Potential für das Zusammenspiel von kaufmännischem und gewerblich-technischen Handeln. Dies spiegelt sich im Zusammenspiel von ERP und MES. In didaktischer Hinsicht führt diese Prozessverbreiterung im Sinne der Theorie kooperativen Lernens (Wilbers 2020, 434 ff.) zu Reihenfolgeabhängigkeiten (Green & Green 2009, 77 ff.). Eine solche Abhängigkeit liegt vor, wenn die Beiträge eines Gruppenmitglieds bzw. einer Teilgruppe geleistet sein müssen, damit ein anderes Gruppenmitglied seine Beiträge erbringen kann. Diese Zusammenarbeit führt zu klar definierten Übergabepunkten, wobei allerdings das Kooperationspotential vorhanden, aber begrenzt ist.

Bei einer *Prozessvertiefung* wird der für Lernfabriken typische Make-Prozess um „Plan“- und „Enable“-Prozesse im Sinne des SCOR-Modells erweitert. Die Konzentration auf operative Aufgaben der Produktion entfällt. Diese Prozesse laufen zum Teil parallel bzw. innerhalb des Make-Prozesses. In didaktischer Hinsicht führt diese Prozessvertiefung im Sinne der Theorie kooperativen Lernens (Wilbers 2020, 434 ff.) zu Ressourcenabhängigkeiten (Green & Green 2009, 77 ff.). Eine Ressourcenabhängigkeit liegt vor, wenn jedes Mitglied bzw. jede Teilgruppe

nur einen Teil der Kompetenzen, Informationen, Materialien etc. einbringen kann, die notwendig sind, um die Gesamtaufgabe zu bewältigen. Ein typisches Beispiel ist die Erstellung eines komplexeren Angebots, das auf die Daten einer Konstruktion bzw. einer Produktionssimulation angewiesen ist. Beispiele, die sich in aktuellen Lernfabriken finden, die in den Beiträger der Schulen in diesem Band beschrieben werden, sind vor allem die Generierung eines Angebots im Zusammenspiel mit der Konstruktion bzw. eines Produktionsvorschlages, die Produktionssimulation, die Freigabe eines Fertigungsauftrages, aber auch Enable-Aufgaben wie das Qualitäts- oder das Prozessmanagement.

Die Prozessverbreiterung, insbesondere aber auch die Prozessvertiefung bietet umfangreiche Möglichkeiten der Gestaltung der Zusammenarbeit von kaufmännischem und gewerblich-technischem Handeln (Wilbers 2019). Unter Berücksichtigung des Unterschieds zwischen gewerblich-technischem und kaufmännischen Handeln (Wilbers 2020, 87 ff.), steigt die kaufmännische Relevanz von Lernfabriken bei einer stärken Akzentuierung (1) von Nominalgüterprozessen, (2) von Informationsprozessen, die der Steuerung der Real- und Nominalgüterströme dienen, (3) von Prozessen der Reflexion nominaler Wertschöpfung und (4) kaufmännischen Anwendungssystemen.

Aus der Perspektive von Digitalisierung, Industrie 4.0 und künstlicher Intelligenz ist dabei auffällig, dass die typische Transformation zu hybriden Produkten, also die Kombination von materiellen Produkten mit immateriellen Produkten nicht abgebildet wird. Außerdem scheint das Rechnungswesen in aktuellen Lernfabrikansätzen noch stark durch ein traditionelles Verständnis des Rechnungswesens geprägt. Automatisierung kaufmännischer Prozesse mithilfe von maschinellem Lernen, Rückwirkungen des Rechnungswesens auf die Prozessorganisation, neue Geschäftsmodelle wie Plattformen mit neuen Kennzahlen, etwa der Konversionsrate, aber auch der Einsatz von künstlicher Intelligenz oder neue Visualisierungstechniken scheinen noch eine untergeordnete Rolle zu spielen (Wilbers 2021). Dies wären jedoch Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Lernfabriken, um die Potentiale weiter auszuschöpfen und die Wertschöpfungsprozesse besser zu verknüpfen.

4 Lernfabriken an beruflichen Schulen: Aktuelle Herausforderungen

Auf der Grundlage der Literatur und der aktuellen Entwicklungsarbeiten an beruflichen Schulen lassen sich aktuelle Herausforderungen für die weitere Arbeit ableiten. Auf der Netzwerkveranstaltung „Lernfabriken: Gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven“ wurden eine Reihe von Herausforderungen im Austausch und der Diskussion entwickelt. In der Netzwerkveranstaltung wurden die Evaluation, die Schulentwicklung, die technischen Herausforderungen, die Ressourcen, die Didaktik und die Personalentwicklung als aktuelle Herausforderungen dargestellt.



Abbildung 4: Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording der Herausforderungen und Perspektiven

4.1 Didaktische Gestaltung von Lernfabriken

Eine „Didaktik der Lernfabrik“ auf den drei erwähnten Ebenen ist noch im Entstehen. Überzeugende, wissenschaftlich fundierte Konzepte zur Bestimmung der in Lernfabriken relevanten Kompetenzanforderungen, zur Erfassung der vorliegenden Kompetenzen der Lernenden in Lernfabriken und zur Entwicklung von Kompetenzen in Lernfabriken, einschließlich der Förderung des Transfers der erworbenen Kompetenzen in die Realität von Unternehmen, liegen erst in Teilen vor. Außerdem sind Prüfungskonzepte auf die Arbeit in Lernfabriken abzustimmen.

4.2 Schul- und Netzwerkentwicklung und technische Herausforderungen

Gerade bei Lernfabriken scheint es notwendig, diese Veränderung in der Ausstattung systematisch in ein umfassendes Veränderungsprojekt einzubetten. Die Anlagen folgen der Logik industrieller Prozesse mit einer enormen Komplexität, die zu erheblichen Anforderungen an die Personalentwicklung in der Schule führt und damit die Gefahr von Inselbildung – auch innerhalb der Schule – birgt. Der Einsatz von Lernfabriken sollte nicht auf kleine Teile der beruflichen Bildung, vor allem auf die Ausbildung in M+E-Berufen sowie Technikerschulen, begrenzt werden. Die Anlagen sind überwiegend so teuer, dass eine flächendeckende Bereitstellung für alle berufliche Schulen wenig realistisch erscheint und ein alternative Bereitstellungsstrategien bzw. Strategien der Zusammenarbeit entwickelt werden müssen. Außerdem stellt sich mit Blick auf den Wandel industrieller Prozesse die Frage nach der nachhaltigen Finanzierung.

Eine besondere technische Herausforderung ist die technische Integration von ERP und MES. Dies führt nicht nur zu einer mangelhaften Breitenwirkung, sondern auch dazu, dass für Industrie 4.0 interessante Anwendungsszenarien – etwa die partiell gemeinsame Beschulung von Industriekaufleuten und Industriemechaniker(inne)n – erschwert wird. Die vorhandenen technischen Komponenten scheinen dem Eindruck nach – wissenschaftliche Bestandsaufnahmen fehlen – stark voneinander abzuweichen. Dies stellt die Frage nach den Möglichkeiten und Grenzen einer Standardisierung von Lernfabriken.

4.3 Qualifizierung der Lehrkräfte und des Ausbildungspersonals

Die Qualifizierung von Lehrkräften in den verschiedenen Phasen und des Ausbildungspersonals ist eine erhebliche Herausforderung. Sie ist mit hohen didaktischen und technischen Anforderungen verbunden. Die hohe Unterschiedlichkeit der Lernfabriken erschwert die Aus- und Fortbildung der Lehrkräfte und deren Unterstützung – etwa in Form von Handreichungen – erheblich. Die Konzepte zur Weiterbildung von Lehrkräften unterscheiden sich sehr stark in den Bundesländern. In der Hochschulausbildung spielt dies so gut wie noch keine Rolle.

Dem Personal in den beruflichen Schulen, also den Berufsschullehrer/-innen, fehlt oftmals das berufsfachspezifische Wissen, da sie immer weniger die aktuelle berufliche Praxis mit den Veränderungen einer digitalisierten Arbeitswelt kennen. Sie haben dadurch Schwierigkeiten, die Zusammenhänge in einer Lernfabrik darzustellen und die komplexen Sachverhalte der vernetzten Arbeitswelt in der smarten Fabrik abzubilden. Für den nachhaltigen Betrieb von

Lernfabriken ist also ein Modell erforderlich, dass nicht nur den kontinuierlichen finanziellen Aspekt betrachtet, sondern auch menschliche und inhaltich-thematische Nachhaltigkeit gewährleistet (vgl. Abele et al. 2016).

Nur wenige Lehrkräfte sind aktuell an der Umsetzung der Lernfabriken an den berufsbildenden Schulen integriert (vgl. Kapitel 4). Dadurch sind oftmals nur wenige Ausbildungsberufe in der Lernfabrik integriert. Für eine Erweiterung der Einsatzgebiete der Lernfabriken müssen die Lehrkräfte weitergebildet und entsprechend qualifiziert werden. Erste Angebote in den Bundesländern sind dazu gestartet (siehe Beiträge Lucha & Weis; Barthruff et al.; Frerichs in diesem Band).

4.4 Ressourcen und Nachhaltigkeit von Lernfabriken

Die Planung, Entwicklung, Bau und Betrieb von Lernfabriken erfordern finanzielle und personelle Ressourcen. Besonders der finanzielle Aspekt stellt viele Lernfabriken vor große Herausforderungen. Viele Lernfabriken können nur realisiert werden, wenn diese durch das Land oder durch Unternehmen gefördert werden. Unternehmen, die Lernfabriken fördern, stehen meist in einer engen Kooperation mit den Lernfabriken, sodass diese ebenfalls davon profitieren können, um z. B. Weiterbildungen für ihre Mitarbeiter/-innen durchführen zu können. Ein Problem, was gleichzeitig eine Herausforderung für die Lernfabrik darstellt, sind die anfallenden Kosten für den Betrieb und die Weiternutzung einer Lernfabrik. Aufgrund der Prämisse, dass sich Lernfabriken weiterentwickeln müssen, fallen auch für neue Technologien, Equipment und Wartung dauerhaft neue Kosten an (vgl. Windelband & Faßhauer 2016).

Lernfabriken können aufgrund der Platzverhältnisse oft nur einen begrenzten Ausschnitt von Produktionsumgebungen darstellen. Eine genaue Abbildung der Realität ist dementsprechend begrenzt. Die Lernfabriken müssen sich auf bestimmte Themen konzentrieren und dabei wichtige Prozessschritte, die zuvor oder anschließend ablaufen, als gegeben ansehen. Zum Beispiel entstehen Grenzen bei den kaufmännischen Abläufen, da die Bestellung von Materialen oder der Verkauf von Produkten oft nur simuliert werden kann. Ein weiterer Punkt, der bei der Abbildung der Lernfabrik auftritt, ist der logistische Aufwand. Lernfabriken benötigen für das Abbilden einer realitätsnahen Fertigung eine ausreichende Fläche, die in vielen Standorten nicht vorhanden ist oder erst geschaffen werden muss. Damit das Konzept der Lernfabrik rentabel ist, sollte eine hohe Nachfrage an entsprechenden Schulungen innerhalb der Lernfabrik

vorhanden sein. Das benötigte jedoch Personal bzw. die Lehrkräfte die im normalen Schulbetrieb eingebunden sind.

4.5 Evaluation von Lernfabriken

Die Lernfabriken werden mit dem Ziel der Kompetenzentwicklung der Lernenden betrieben. Allerdings wird häufig nicht überprüft, ob die Lernansätze effektiv sind. Dies stellt ebenfalls ein Problem von Lernfabriken dar. Um effektive Lernfabriken zu erreichen müssen die Lernerfolge sowohl in der Konzeptionsphase als auch in der Evaluationsphase berücksichtigt werden (vgl. Abele et al. 2016). Hierzu gibt es für die berufliche Bildung noch keine wissenschaftlichen Ergebnisse, um Aussagen treffen zu können, wann eine Lernfabrik erfolgreich ist. Vor der Tatsache der unterschiedlichen Ausrichtungen von Lernfabriken sowie die verschiedenen Finanzmodelle von ca. 6.000 EURO - bis zu 1. Mio. EURO Anlagen würden hier Antworten, die Weiterentwicklung der Lernfabriken in der beruflichen Bildung unterstützen. Dazu fehlen bisher wissenschaftliche Begleitprogramme, die die beruflichen Lernfabriken in ihrer Entwicklung unterstützen können.

5 Ausblick: Lernortkooperative Entwicklung von Lernfabriken

Die Lernfabriken sollen eine realitätsnahe bzw. didaktisch-reduzierte Abbildung von Fertigungsprozessen in einer Lernumgebung abbilden. Die Herausforderung besteht darin, die komplexe Arbeitswelt realitätsnah abzubilden und trotzdem lernhaltige, problembezogene Aufgaben generieren zu können. “Die Anlagen sind so komplex in ihrem Aufbau, dass aktuell nur wenige Lehrkräfte damit arbeiten können.“ (Schmid 2018, 32). Bisher haben sich tatsächlich nur wenige Lehrkräfte mit Aufbau, Umsetzung und Implementierung der Lernfabriken generell und der Integration in den Unterricht konkret beschäftigt. Hier gilt es, möglichst viele Ausbildungsberufe und Lehrkräfte an den Berufsschulen zu beteiligen. Das Integrieren von Ausbildungsbetrieben in die Fragestellung der Lernfabrik gelingt bisher nur in Einzelfällen, das Potenzial für die duale Berufsausbildung - aber auch die berufliche Weiterbildung z. B. in Fachschulen wird somit noch nicht realisiert.

Ein Beispiel für eine gelungene Kooperation stellt das sog. Wissensnetzwerk Kronach-Lichtenfels (siehe Schirmer, Lichy und Meisinger in diesem Band) dar. Exemplarisch kann an dieser Stelle weiterhin auf eine lernortkooperativ entwickelte Lernsituation verwiesen werden, die im Rahmen eines vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg finanzierten Projektes entwickelt und erprobt wurde.

Ziel eines von drei dualen Teilprojekten war es, eine Lernfabrik einer beruflichen Schule (TS Aalen) mit der „Smart Factory“ Anlage vom Unternehmen der Carl Zeiss AG zu einem lernortkooperativen Projekt verbinden. Dazu musste das vorhandene Grundlagenmodul der Lernfabrik (CP Lap-Station Bohren) für die Erfassung von Leistungs- und Verbrauchsdaten aufgerüstet werden. Der Einbau der notwendigen Sensorik und die Visualisierung der für das predictive maintenance erfassten Verbrauchsströme (Fernwartung über andere Standorte hinaus) wurden weitgehend selbständig durch die Auszubildenden umgesetzt. Anschließend wurden diese Fähigkeiten auf der „Smart Factory“-Anlage des Ausbildungsbetriebes übertragen. Die gewonnenen Parameter werden für die Simulation einer Fernwartung genutzt. Damit wurden beide Lernfabriken miteinander verknüpft, um ein Produzieren an mehreren Standorten und deren Überwachung zu simulieren. Der Datentransfer und die Auswertung werden cloudbasiert gestaltet, die entsprechende Anbindung der gewonnenen Messdaten etc. war ein weiteres Ziel des Projektes zwischen beiden dualen Partnern (Faßhauer & Windelband 2020).

Durch die gemeinsame, lernortkooperative Entwicklung und Erprobung von didaktischen Konzepten hat sich eine non-formale Qualifizierung des Bildungspersonals ergeben. Das Projekt konnte zeigen, dass die didaktischen Anforderungen im Kontext von Industrie 4.0 in der – allerdings aufwändigen – Lernortkooperation gestaltet werden können. Lernortübergreifende Fragestellungen, die die Prozesskompetenz mit einem Denken und Handeln in Netzwerken im Kern haben, können in der Ausbildung integriert werden. Die Prozesszusammenhänge mit allen vor- und nachgelagerten Bereichen innerhalb der vernetzten Produktionssysteme fachlich zu verstehen und in ihrer bildenden sowie qualifizierenden Wirkung einschätzen zu können, wird dabei immer weniger von lediglich einem Lernort leistbar sein.

Das Modellprojekt zeigt jedoch auch wie schwierig die Zusammenarbeit zwischen den Lernorten und innerhalb der unterschiedlichen beruflichen Fachrichtungen an einer Berufsschule ist, da alle Institutionen wenig Freiraum für das Erproben und die Neugestaltung von (digitalisierten) Lernprozessen mit einer hohen Prozessorientierung haben. Wenn diese Freiräume fehlen, dann wird der Wandel hin zu einer Berufsbildung 4.0 mit einer veränderten Lernkultur nicht möglich sein.

Dass eine funktionierende Lernortkooperation hilfreich ist für die Implementierung des komplexen Lernträgers “Lernfabrik” scheint unstrittig zu sein. Werden jedoch umgekehrt die Entwicklungen im Rahmen der Durchsetzung von “Industrie 4.0” im Allgemeinen und die Implementierung von Lernfabriken an beruflichen Schulen im Besonderen selbst häufigere und bzw. oder intensivere Lernortkooperationen auf der Mikro- und Mesoebene hervorbringen?

Auch in vorangegangenen Jahrzehnten haben mehr oder weniger sprunghafte (”disruptive”) Einführungen neuer Technologien und Verfahren immer wieder zu tiefgreifenden Veränderungen in der Berufsausbildung geführt. Erinnert sei beispielsweise an die in den 1980er Jahren vergleichsweise schnelle Durchdringung von Industrieunternehmen mit CNC (Computerized Numerical Control), CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer-Aided Manufacturing) oder auch CIM Technologien (Computer Integrated Manufacturing), die letztlich neu geordnete Berufe und die Durchsetzung der Handlungsorientierung zur Folge hatten. Eine ähnliche Zäsur lässt sich womöglich mit der Etablierung von neuen Qualitätsmanagement-Konzepten in den 1990er Jahren konstatieren, die sicher einen starken Impuls zu einer weiteren Neuordnung der M+E Berufe sowie auf die Einführung von Prozessorientierung in der Ausbildung und Lernfeldern an den Berufsschulen nach sich zog. Die aktuelle tiefgreifende Entwicklung durch die Digitalisierung betreffen jedoch nicht alleine die M+E Berufe sondern praktisch alle beruflichen Fachrichtungen und Branchen gleichzeitig und eben auch die kaufmännischen, wie sich nicht zuletzt im Rahmen der Fachtagung gezeigt hat.

Daher lassen sich auch jetzt längerfristige Impulse für die Lernortkooperation auf Meso- und Mikroebene erwarten. Für die didaktische Gestaltung von beruflichen Lernprozessen zum Verständnis von vernetzten Arbeits- und Geschäftsprozessen in der Produktion und bei Dienstleistungen existieren bisher kaum elaborierte Konzepte. Vielmehr werden diese hinsichtlich spezifischer Bedarfe erst berufs- und lernortübergreifend entwickelt. Das dafür notwendige fachliche und fachdidaktische Know-how steht nicht komplett an einzelnen Lernorten zur Verfügung und lässt insbesondere die Zusammenarbeit von Unternehmen und Berufsschulen notwendig erscheinen.

Hierbei kommt zumindest den ambitionierten und oft auch gut ausgestatteten Berufsschulen inzwischen eine aktivere Rolle zu. Dies müsste dazu führen, dass nunmehr auch Unternehmen, v. a. KMU, ein stärkeres Eigeninteresse an einer didaktisch fundierten Lernortkooperation auf der Meso- und Mikroebene haben.

Ob diese Lernortkooperation selbst nun auch im Wesentlichen digitalisiert und zur Generierung didaktischer Innovationen wirksam eingesetzt werden kann - sich somit in die Analogie der „4.0“ Entwicklungen stellen ließe -, ist unter dem Eindruck der schnellen Entwicklungen im Zuge der Pandemiebewältigung deutlich positiver als noch vor wenigen Jahren zu sehen (Faßhauer 2018). Die gemeinsame Entwicklung, Erprobung und Evaluation didaktischer und curricularer Innovation durch Lehr- und Ausbildungspersonen ist Ausdruck einer hohen Intensität der Lernortkooperation. Selten institutionalisiert und häufig informell als gemeinsame Fortbildung hat sie eine gewisse Tradition, bleibt aber eher randständig und punktuell. Jedoch werden seit (mindestens) zwei Jahrzehnten Informationstechnologien, virtuelle Kommunikation- und Arbeitsplattformen sowie Ansätze des Wissensmanagements und der Netzwerkbildung als Unterstützungsstrukturen von Lehrenden beider Lernorte auf der Meso- und Mikroebene gemeinsam erprobt, evaluiert und auch berufsalltäglich eingesetzt. Deren Wirksamkeit hinsichtlich einer Verbesserung der Lernortkooperation ist stark von den jeweiligen Nutzenerwartungen der Akteure und dem bisher erreichten Niveau der Zusammenarbeit abhängig. Im Rahmen von Lernfabriken wäre diese - zusätzliche - Form der Lernortkooperation angemessen, hilfreich und nicht zuletzt aus Sicht von KMU sehr attraktiv, um Innovationen im Kontext der Lernfabriken auch für die eigene Weiterentwicklung des Unternehmens nutzen zu können.

Literaturverzeichnis

Abele E., Metternich J., Tisch M. (2019): *Best Practice Examples*. In: Learning Factories. Springer, 335-459.

Abele, E., Metternich, J., Tenberg, R. u. a. (2015). *Innovative Lernmodule und -fabriken. Validierung und Weiterentwicklung einer neuartigen Wissensplattform für die Produktionsexzellenz von morgen*. Darmstadt: TUprints.

Abele, E., Tenberg, R., Wennemer, J. & Cachay, J. (2010). *Kompetenzenzwicklung in Lernfabriken für die Produktion*. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 105(10), 909–913.

Abele, E.; Eichhorn, N.; Kuhn, S. (2007): *Increase of productivity based on capability building in a learning factory*. In: Computer integrated manufacturing and high speed machining: proceedings of 11th International Conference on Production Engineering, Zagreb, 37-41.

bayme vbm – Spöttl G., Gorldt C., Windelband L. et al. (2016). *Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E-Industrie*, München. https://www.bayme-vbm.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2016/Downloads/baymevbm_Studie_Industrie-4-0.pdf. Gesehen 03.10.2020. BITKOM (2014): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. URL: https://die-Industrie-4-0-Volkswirtschaftliches-Potential-fuer-Deutschland.pdf (09.07.2020).

Dröge, R-P; Grund, J.; Jurgensen, M. et al. (2018): *Lernfabrik 4.0 Bietigheim-Bissingen in Baden-Württemberg –Teil 1*. In: lernen & lehren, H. 129, 39-43.

Faßhauer, U. (2018). *Lernortkooperation im Dualen System der Berufsausbildung - implizite Normalität und hoher Entwicklungsbedarf*. In Arnold, R.; Lipsmeier, A. & Rohs, M (Hg.): Handbuch Berufsbildung. Wiesbaden (Springer VS).

Faßhauer, U. & Windelband, L. (2020): *Didaktik 4.0 - Entwicklung und Erprobung von Lernsituationen im Kontext digitalisierter Arbeitsprozesse*. In: Bildung und Beruf, Zeitschrift des Bundesverbandes der Lehrkräfte für Berufsbildung. Ausführliche Informationen und Downloadmöglichkeiten zum genannten Fallbeispiel unter: http://www.ph-gmuend.de/die-ph/profil/wissenschaftliches-profil/digitalisierung/teilprojekt-3

Green, N. & Green, K. (2009). *Kooperatives Lernen im Klassenraum und im Kollegium. Das Trainingsbuch* (4. Aufl.). Seelze-Velber: Kallmeyer; Klett/Kallmeyer.

IG Metall (2018): Industrie 4.0 gestalten lernen. URL: https://rubigm.ruhr-uni-bochum.de/forschung/2018-06-27_Lernfabriken-Industrie%204.0_finale%20Version1.pdf (24.06.2020).

Ittermann, P.; Niehaus, J. (2018): *Industrie 4.0 und Wandel von Industriearbeit*. In Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann P.; Niehaus, J. (Hrsg): Digitalisierung industrieller Arbeit. Berlin, 34-60.

Lamancusa, J.; Zayas, J. L.; Soyster, A. L.; Morell, L.; Jorgensen, J. (2008): *The Learning Factory: Industry-Partnered Active Learning*. In: Journal of Engineering Education. 97, 5-11.

Lütjens, J. (2006): *Das Konzept einer Lernfabrik*. In: bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online, Ausgabe 10, 1-15. Online: http://www.bwpat.de/ausgabe10/luetjens_bwpat10.pdf (03.10.2020).

Pfeiffer S.; Lee H.; Zirnig C. et al. (2016): *Industrie 4.0 – Qualifizierung 2025*. Hrsg: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, Frankfurt. http://arbeitsmarkt.vdma.org/documents/7974667/7986911/VDMA-Studie%20Qualifizierung%202025/f88fce03-d94e-46cb-a60f-54329236b2b7 (03.12.2018).

Prozesslernfabrik (2020): *Geschichte der Prozesslernfabrik CiP am PTW*. Unter: https://www.prozesslernfabrik.de/ueberblick/geschichte (19.10.2020).

Regber, H. (2018): *Lernfabriken: Kompetenzen für Industrie 4.0 entwickeln*. In: Die berufsbildende Schule 70. Jg., 27-30.

Scheid, R. (2017). *Kaufmännische Perspektiven der Lernfabriken in Baden--Württemberg*. In K. Wilbers (Hrsg.), Industrie 4.0: Herausforderung für die kaufmännische Berufsbildung. Berlin: Epubli.

Schmid, K.-G. (2018): *Beruflicher Unterricht zu Industrie 4.0 – über Tablet, Handreichung und digitale Kompetenz* In: lernen & lehren, Heft 129, 30-33.

Steffen, M.; Deus, J.; Frye, (2013): *Vielfalt Lernfabrik*. In: wt Werkstatttechnik online, Jg.: 103, H. 3, 233-239.

Tisch, M., Hertle, C., Cachay, J., Abele, E., Metternich, J. & Tenberg, R. (2013). *A Systematic Approach on Developing Action-oriented, Competency-based Learning Factories*. Procedia CIRP, 7, 580–585.

Tisch, M. (2018): *Modellbasierte Methodik zur kompetenzorientierten Gestaltung von Lernfabriken für die schlanke Produktion*. TU-Darmstadt (Dissertation). Aachen (Shaker).

Wannöffel, M.; Bianchi-Weinand, A. (2018): Lernfabriken an Hochschulen. In: Berufsbildung / 72. Jg., H. 169, 6-7.

Wilbers, K. (2017). *Industrie 4.0 und Wirtschaft 4.0: Eine Chance für die kaufmännische Berufsbildung*. In K. Wilbers (Hrsg.), Industrie 4.0: Herausforderung für die kaufmännische Berufsbildung (9–51). Berlin: Epubli.

Wilbers, K. (2019). *Veränderungen im Zusammenspiel von gewerblich-technischem und kaufmännischem Handeln durch Industrie 4.0 als Chance für die Berufsausbildung*. In G. Spöttl & L. Windelband (Hrsg.), *Industrie 4.0 Risiken und Chancen für die Berufsbildung?* (2. Aufl., 273-290). Bielefeld: W. Bertelsmann.

Wilbers, K. (2020). *Wirtschaftsunterricht gestalten* (5. Aufl.). Berlin: Epubli.

Wilbers, K. (2021). *Kaufmännische Aus- und Weiterbildung in der Industrie im Umbruch. Digitale Transformation im Zuge von Industrie 4.0 und künstlicher Intelligenz*. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, (ZBW - Beiheft „Künstliche Intelligenz in der beruflichen Bildung“), Im Druck.

Windelband, L. (2019): *Berufsschulen in Baden-Württemberg auf den Weg zur Berufsbildung 4.0 – eine Zwischenbilanz*. In: Vollmer, T.; Jaschke, S.; Hartmann, M. u.a. (Hrsg.): Gewerblich-technische Berufsbildung und Digitalisierung. Praxiszugänge Unterricht und Beruflichkeit. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, 31-44.

Windelband, L.; Faßhauer, U. (2016): *Industrie 4.0 als Herausforderung für die regionale Berufsschulentwicklung*. In: Berufsbildung / 70. Jg., H. 159, 23-25.

Zinke G.; Renger P.; Feirer S. et al. (2017): *Berufsausbildung und Digitalisierung – ein Beispiel aus der Automobilindustrie*. Hrsg.: Bundesinstitut für Berufsbildung Reihe Wissenschaftliche Diskussionspapiere, Heft 186, Bonn. https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/show/8329 (03.10.2020).

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

Stephan Leppert

Prozessmodelle als Grundlage für die Planung von Lernsituationen in komplexen Lehr-Lernarrangements

Das Denken und Handeln in Prozessen wird zunehmend als „Basiskompetenz“ im Kontext der digitalen Transformation genannt. Im Rahmen des Prozessmanagements werden die alltäglichen aufgabenbezogenen Anforderungen der Mitarbeiter/-innen dokumentiert und, wenn angezeigt, weiter optimiert. Checklisten, Guidelines oder Manuals sind Kennzeichnen eines „standardisierten“ Betriebsablaufs. Ziel komplexer Lehr-Lernarrangements (z. B. Lernbüros, Lernfabriken) ist es, einerseits den planvollen Geschäftsablauf anhand von ineinandergreifenden authentischen Anwendungssituationen kennenzulernen. Darüber hinaus gilt es jedoch auch, Einblicke in prozessbezogene Schwierigkeiten und deren Lösung zu ermöglichen. Die prozessorientierte Sachanalyse, kurz „ProSA“, knüpft daran an und soll pädagogischen Professionals ein schrittweises methodisches Vorgehen im Rahmen der Planung von handlungsorientiertem Unterricht anbieten. Die Konzeption geht u. a. der Frage nach, wie durch das gemeinsame Modellieren von Prozessabläufen, das Zusammenwirken von kaufmännischen und gewerblich-technischen Fachkräften transparenter gemacht werden kann. Prozessmodelle können, dem Gedanken der Interdisziplinarität folgend, als Basis einer teamorientierten Planung von Lernsituationen z. B. im Kontext von Lernfabriken genutzt werden kann.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung 51

2 Zum Verhältnis von „Prozessverständnis“ und „Modellierung“ 52

2.1 Annäherung an den Begriff „Prozessverständnis“ 52

2.2 Annäherung an die Tätigkeit „Modellieren“ 55

3 Die prozessorientierte Sachanalyse (ProSA) als Teil der Unterrichtsplanung gestalten 57

3.1 Prozessmodelle als Ergänzung der bestehenden curricularen Elemente 58

3.2 Prozessmodellierung im Team 58

3.3 Orientierungspunkte der Prozessmodellierung 59

3.4 Grundelemente von Modellierungsnotationen 62

3.5 Prozessmodellierung mit einer einheitlichen Notation 64

3.6 Prozessmodelle als Arbeits- und Gesprächsgrundlage pädagogischer Professionals 65

4 Ausgewählte Modellierungsnotationen im Kontext der ProSA 66

4.1 BPMN als Swimlane-Notation 66

4.2 Anpassungen der BPMN-Notation für die ProSA 66

4.3 Modellierung des „technischen Akteurs“ in BPMN 68

5 Leitfadenunterstützung für die Durchführung der ProSA 70

6 Fazit 71

Literaturverzeichnis 73

1 Einführung

Lernfabriken etablieren sich zunehmend als realitätsnahe, technologieadäquate und damit komplexe Lehr-Lernarrangements in Universitäten, der Industrie sowie in Berufsschulen. Fasshauer, Wilbers und Windelband (siehe Beitrag in diesem Band) weisen im Hinblick auf die Entwicklung von Lernsituationen in Lernfabriken auf den neuen „Möglichkeitsraum“ in der Gestaltung des Handlungsprozesses, der Konzipierung der Handlungsprodukte sowie der Anforderungen an das begleitende Lehrhandeln hin. Zur Beschreibung der didaktisch-methodischen Ausrichtung von Lernfabrik-Konzeptionen wurde ein 3-Ebenen Modell angeführt. Die Lernfabrik-Konzeptionen können sehr unterschiedlich ausfallen und richten sich nach der intendierten Zielsetzung. Die fortschreitende Digitalisierung bringt die Notwendigkeit der Offenheit und Dynamik auch im Hinblick auf die technologische und didaktische Erweiterbarkeit von Lernfabriken mit sich.

Auf der Ebene der Lernsituationen ist es das Ziel berufsschulischer Lernfabriken, einen Lernprozess zu ermöglichen, der geprägt ist durch problembewusstes Handeln nah an den tatsächlichen Arbeits- und Geschäftsprozessen. Den Rahmen bilden die curricularen Angaben in den zu Grunde liegenden Lernfeldern der beteiligten Ausbildungsberufe. Die Dynamik in der beruflichen Wirklichkeit wirkt sich auch auf das Grundmodell von Bader (2003, S. 213) aus. Die dort enthaltenen wechselseitigen Bezüge der Systematik von Handlungsfeldern, Lernfeldern und Lernsituationen rücken in den Fokus. Gefordert ist eine fortlaufende didaktische Reflexion der bedeutsamen Handlungssituationen, welche durch den in der Lernfabrik simulierten Prozess gefördert werden sollen und können. Der Ort für die Klärung dieser relevanten Anforderungen und die dazugehörige Ausarbeitung der Kompetenzerwartungen ist nach Wilbers (2020, S. 206) die Sachanalyse. Die fachorientierte Sachanalyse (FaSA) zielt zunächst auf die Ausarbeitung des Fachmodells, d. h. auf das dem Unterricht zugrundeliegende Fakten- und Konzeptwissen. Im Rahmen der prozessorientierten Sachanalyse (ProSA) werden die für den Unterricht zentralen Unternehmensprozesse aufbereitet und analysiert.

Die folgenden Ausführungen legen den Schwerpunkt auf die Skizzierung der Vorstellung von einer prozessorientierten Sachanalyse (ProSA). Eine grundlegende Rolle spielt dabei die Entwicklung von Prozessmodellen, als dynamische Artefakte zur Entwicklung und Abbildung von Prozessverständnis. Die schulischen Beiträge in diesem Band beinhalten jeweils ein kooperativ erarbeitetes Prozessmodell zu den in der jeweiligen Lernfabrik-Konzeption vorgesehenen Aufgabenstellungen, Akteuren und technischen Elementen. Vor dem Hintergrund der vielfachen Forderungen nach verstärktem Prozessdenken erfolgt zunächst eine Annäherung an die

Begrifflichkeiten des „Prozessverständnisses“ sowie des „Modellierens“. Im Anschluss wird die prozessorientierte Sachanalyse (ProSA) nach aktuellem Forschungsstand erläutert. Der Fokus liegt auf der Modellierung von Prozessen. Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Programms DigiTrans (Entwicklung von Lernsituationen in digital transformierten Lernfeldern) (Leppert & Wilbers, 2019, 90; 96-106) werden hierfür Tools und Leitfäden konzipiert und eingesetzt. Ein Hauptaugenmerk bildet dabei der Gedanke der Teamorientierung. Die Modellierung von Prozessen erfolgt in so genannten professionellen Lerngemeinschaften (PLG) von Studierenden, Lehrkräften und betrieblichen Experten.

2 Zum Verhältnis von „Prozessverständnis“ und „Modellierung“

2.1 Annäherung an den Begriff „Prozessverständnis“

Auf Grund der langen Historie in der wissenschaftlichen Rezeption, wirkt das Konzept des „Prozesses“ einerseits plastisch und bildhaft (Gaitanides & Ackermann, 2004, S. 8), zugleich aber auch mächtig und dadurch sperrig (Hilmer, 2016, 30;32-38).

Als Ausblick auf die vielfältigen Definitionsvarianten von Prozessen werden an dieser Stelle nur einige Sichtweisen aufgegriffen. Ansatzpunkte einer normierenden Definition gibt bspw. die DIN-Reihe EN ISO 9000 für Qualitätsmanagement. Hiernach ist ein Prozess „ein Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben (Input) durch Transformation (Transformation) in Ergebnisse (Output) umwandelt“ (ITO-Modell).

Nach Becker & Kahn (2012, S. 6) ist ein Prozess von seiner Gestalt her betrachtet eine „inhaltlich abgeschlossene, zeitliche und sachlogische Folge von Aktivitäten, die zur Bearbeitung eines betriebswirtschaftlich relevanten Objekts notwendig sind. Die Relevanz der wertschöpfenden Betrachtung eines „Geschäfts“-prozesses kann weiter verdeutlicht werden durch die Subsumierung aller Aufgaben einer Organisation zur Erzeugung eines Wertes für innerbetriebliche oder externe Kunden (Prilla, 2010, S. 88). Branchenneutral und unternehmensübergreifend bietet bspw. das SCOR-Modell (Supply Chain Operations Reference Model) Referenzpunkte für die optimale Ausgestaltung der Wertschöpfungskette. Unterschieden werden dabei die elementaren Prozesstypen Planen (Plan), Bestellen (Source), Herstellen (Make), Liefern (Deliver) und Zurückliefern (Redeliver) (Kugeler, 2012, S. 432–437). Das Grundprinzip der

Wertschöpfung ist prägend für das betriebswirtschaftliche Prozessverständnis im Sinne von Geschäftsprozessen.

Nach Bolch und Seidel (1993, S. 20–25) handelt es sich um einen technischen Vorgang, wenn Materie, Energie oder Information in ihrem Zustand verändert werden. Diese Zustandsänderung kann beinhalten, dass ein Anfangszustand in einen Endzustand überführt wird. Prozesse werden demzufolge durch zielgerichtete Eingriffe in Richtung eines vorgegebenen Zustands beeinflusst. Um die Automatisierung eines technischen Prozesses durchführen zu können ist es notwendig, dass seine Ausgangsgrößen gemessen (durch Messfühler) und seine Eingangsgrößen beeinflusst (mittels Stellglieder) werden können. Dabei halten Regler aufgrund permanenter Messung Größen auf ihrem vorgegebenen Sollwert. Auf diese Weise können Störgrößen kompensiert oder kritische Prozesszustände beherrscht werden. Zur Überwachung dieser Prozesszustände werden ständig aktuelle Daten aus dem Prozess herangezogen (Tauschek, 2004, S. 125).

Die zunehmende Bedeutung des „Wissens und Könnens“ in Prozessen zeigen aktuelle Studien über die künftigen Anforderungen in verschiedenen Berufsbildern (Gangl & Sonntag, 2020; Institut für Bildungsforschung der Wirtschaft [IBW], 2019; Sczogiel, Schmitt-Rüth, Göller & Williger, 2019). Vor dem Hintergrund sich wandelnder Tätigkeiten wird dort die Förderung von „Prozessverständnis“ gefordert (BayME, 2016, 10,67; IBW, 2019, S. 14). Diese Forderungen ähneln denen nach einem verstärktem „Denken in Prozessen“ (Hinterhuber, 1995, S. 13) bzw. einem „Prozessbewusstsein“ (Krauss & Mohr, 2004, S. 35) Ende der neunziger, Anfang der 2000er Jahre. In der aktuellen Situation muss der Blick gleichzeitig vorwärts und rückwärts gerichtet werden (Windelband, 2020, S. 149). Windelband (2020, S. 151) blickt einerseits zurück auf die Diskussion um die Prozessorientierung ausgehend von einem frühen Schwerpunkt im Wissen über berufstypische Aufgaben sowie deren prozessbezogene Vermittlung in Zusammenhängen. Gleichzeitig blickt er nach vorne im Sinne der aktuellen Erweiterung der Ansätze basierend auf einem „neuen Denken und Handeln“ innerhalb der Wertschöpfungsketten der Unternehmen. Dieses Denken und Handeln ist geprägt durch zunehmend vernetzte Systeme. Zinke (2019, S. 74) formuliert dazu im Kontext des Berufe-Screenings: „Verbunden mit der wachsenden Vernetzung der kaufmännischen, betriebswirtschaftlichen Systeme und der Automatisierung von Teilprozessen entstehen in den Unternehmen komplexe Strukturen mit vielschichtigen Wechselwirkungen und Schnittstellen, auch mit außerbetrieblichen Verbindungen. Da die Prozesse oft im Hintergrund ablaufen, sind sie in ihrer Komplexität und ihren

Abhängigkeiten nicht direkt sichtbar.“ Prozess- und Systemverständnis wird als ganz entscheidende Kompetenz im Kontext beruflichen Handelns und unter Bedingungen der Digitalisierung gesehen (Zinke, 2019, S. 73).

Generell verweisen die angeführten Studien der vergangenen Jahre auf große Veränderungen in der Bedeutung von Tätigkeiten, wobei gleichzeitig weitere strukturelle Verschiebungen zu erwarten sind. Routinetätigkeiten, etwa repetitive Teil-Tätigkeiten beim Überwachen und Steuern von Maschinen, Formulararbeiten etc., und manuelle Tätigkeiten nehmen in ihrer relativen Bedeutung ab, während abstrakte Tätigkeiten deutlich zunehmen. Schon heute zeigt sich, dass abstrakte Tätigkeiten, EDV-Tätigkeiten, Programmieren, Mitarbeiterführung, Entwickeln, Forschen, Konstruieren, Verhandeln, Modellieren etc., insgesamt stark an Bedeutung gewinnen (Arntz, Gregory, Jansen & Zierahn, 2016, S. 21–27). Diese Entwicklung wird grundlegend unter dem Konzept der so genannten T-förmigen Kompetenzen diskutiert (Wilbers, 2019a, S. 21). Die Erkenntnisse über diese veränderten Anforderungen müssen auf einer darunter liegenden Ebene letztlich in die erforderliche berufs(feld)spezifische Betrachtung übertragen werden (Wilbers, 2019a, S. 15).

Digitalisierung von Arbeit führt zu einer steigenden Verfügbarkeit und großen Vielfalt von Informationen über laufende Prozesse (Hirsch-Kreinsen, 2015a, S. 9). Die zunehmende Komplexität von Prozessen führt dabei ganz automatisch zu steigenden Anforderungen an Arbeit. Zuboff spricht hier von einer wachsenden Bedeutung der „intellective skills“, die vor allem auch auf einem theoretischen Verständnis von Prozessen beruhen. Dieses Verständnis sei zugleich Voraussetzung und Folge der Nutzung der zunehmenden Masse an entstehenden Informationen (Zuboff nach Hirsch-Kreinsen, 2015a, S. 9).

Im Zusammenhang mit der Zunahme der Komplexität gewinnt nach Ittermann (2015, S. 47) insbesondere das subjektive Erfahrungswissen an Bedeutung. Fachkräfte müssen der Technik innewohnende Unzulänglichkeiten auf der Basis von Erfahrungswissen in enger Kommunikation mit der Maschine beheben können. Hier zeigt sich, dass Wissen über Prozesse leichter und schwerer zu explizierende Anteile enthält.

Die skizzierte engere Verzahnung von Produktions-, Wissens- und Entwicklungsarbeit führt zudem dazu, dass Fachkräfte, Spezialisten und Expert(inn)en enger zusammenarbeiten und sich intensiver untereinander abstimmen müssen (Bundesministerium für Arbeit und Soziales [BMAS], 2017, S. 40). Hirsch-Kreinsen (2015b, S. 92–95) weist allerdings darauf hin, dass die

Anforderungen in den Branchen und Unternehmen je nach Leistungsangebot sehr unterschiedlich ausfallen. Neben dem steigenden Bedarf an Überblickswissen erlangen vor allem soziale Kompetenzen einen erhöhten Stellenwert.

In der prozessorientierten Sachanalyse (ProSA) erfolgt die Zusammenarbeit im Rahmen der Modellierung von Prozessen dahingehend mit „Verbündeten", in so genannten professionellen Lerngemeinschaften (Leppert & Wilbers, 2019, S. 89). Diese beinhalten Studierende, Lehrkräfte sowie Vertreter der Betriebe und der Wissenschaft. Die Gesamtanlage des Programms DigiTrans kommt somit der Forderung von Schirmer (2020, S. 15) nach, (angehenden) Lehrkräften bereits im Studium die Möglichkeit des Aufbaus eines Verständnisses von prozessorientierten Handlungszusammenhängen zu eröffnen und in der Unterrichtsplanung zu nutzen. Die Implementierung eines prozessorientierten Systemverständnisses in schülerzentrierte Lehr-Lernarrangement setzt voraus, dass Lehrkräfte dieses Verständnis selbst besitzen. Die hier kurz skizzierten betriebswirtschaftlichen und technischen Aspekte eines Prozessverständnisses können bei der gemeinsamen Modellierung von Prozessen zusammenkommen und sich gegenseitig ergänzen.

2.2 Annäherung an die Tätigkeit „Modellieren"

Modelle sind sowohl Ergebnis der fach- (FaSA) als auch der prozessorientierten Sachanalyse (ProSA) (Wilbers, 2019b, S. 197, 2020, S. 206). Fach- und Prozessmodelle entstehen im Rahmen des Vorgangs des „Modellierens".

Der Begriff des Modells wird in zahlreichen Zusammenhängen und Disziplinen (z. B. der Mathematik, Informatik) definiert und verwendet. Beispielsweise können Modelle zur komprimierten Abbildung von Wissen genutzt werden. Modelle dienen dann zur Weitergabe und Aneignung des zu vermittelnden Wissens oder zur Kommunikationsunterstützung (z. B. in Zusammenhang mit der Ausführung von Geschäftsprozessen) (Prilla, 2010, S. 143).

Fach- und Prozessmodelle werden als Artefakte der Unterrichtsplanung verstanden und sind somit Teil des Wissensmanagements der Lehrkraft.

Stachowiak (1973, S. 13) definiert drei Hauptmerkmale des Modellbegriffs: (1) Modelle sind abbildend, d. h. sie beziehen sich auf etwas, i. d. R. das Original; (2) Modelle sind vereinfachend, d. h. sie bilden nicht alle Attribute des Originals ab. (3) Sie sind pragmatisch, d. h. sie sind an Zeit, Zweck und „Empfänger" gebunden. Vom Brocke (2003, S. 13) beschreibt ein Modell wie folgt: „Ein Modell ist die Verdichtung von Wahrnehmungen zu Inhalten eines Gegenstands, (…) um auf diese Weise einem spezifischen Zweck zu dienen. Die Gestaltung von

Modellen erfolgt in Konstruktionsprozessen.“ Der direkte Einblick in „originale“ Unternehmensprozesse ist im Rahmen der Unterrichtsplanung nicht der Regelfall. Im Rahmen des Forschungsprogramms DigiTrans werden relevante Einschätzungen zu „originalen“ Prozessen, wenn gewünscht, von betrieblichen Vertretern als Teil der professionellen Lerngemeinschaften in den Analyseprozess der professionellen Lerngemeinschaft mit eingespeist (Leppert & Wilbers, 2019, S. 96). Zudem bringen gerade pädagogische Professionals im Bereich der Berufsbildung oftmals Erfahrungen aus vorhergehenden Ausbildungs- oder Angestelltentätigkeiten mit. D. h. bei einer Modellierung auf Basis von realen Vorbildern und von eigenen mentalen Erfahrungen fließen sowohl konstruktive und als auch re-konstruktive Elemente in die Modellierung ein (Otte & Schmidt, 2008, S. 32).

Gemäß dem pragmatischen Merkmal werden Modelle in Bezug auf einen bestimmten Verwendungszweck geschaffen. Die Sachanalyse soll die Ausformulierung von Kompetenzerwartungen vorbereiten (Leppert & Wilbers, 2019, S. 99). Bei der Ausarbeitung des Fachmodells vertieft die Lehrkraft die fachlich-inhaltlichen Grundlagen des Unterrichts, ohne dabei eine wissenschaftliche Erörterung der zugrundeliegenden Inhalte zu liefern. Im Rahmen der prozessorientierten Sachanalyse (ProSA) werden die zugrundeliegenden Unternehmensprozesse soweit aufbereitet (Wilbers, 2020, S. 209–210), dass die Grundlagen für die weitere didaktische Arbeit (z. B. für die Entwicklung von Lernsituationen) vorliegen.

Modelle jeglicher Art sehen sich der Kritik ausgesetzt, dass sie das Verständnis des oder der Modellierer abbilden und somit als Determinante und nicht als Orientierung für die Arbeit von Prozessbeteiligten wirken. Sie seien demnach für die globale Ausführung bspw. durch Process-Engines zu wenig standardisiert und für die Prozessbeteiligten womöglich ein Hemmnis in ihrem kreativen Potential. Die im Rahmen der ProSA erstellten Prozessmodelle dienen auf Grund des beschriebenen überwiegenden re-konstruktiven Charakters nicht der tatsächlichen Ausführung des Prozesses, so wie es im betrieblichen Prozessmanagement-Zyklus vorgesehen ist. Die Modellierung und deren zyklische Überprüfung ist als professionelle Planungsaufgabe Teil der ProSA. Aus Sicht der Lehrkraft dient Sie der Erlangung eines klaren Bildes über die Gestalt oder aber über die veränderte Handlungssituation. Im Sinne von authentischen Lernsituationen dient dies der Ausformulierung von angemessenen Kompetenzerwartungen, der Gestaltung eines authentischen Handlungsraums, der Wahl realistischer Handlungsprodukte. Vor diesem Hintergrund werden Prozessmodelle als nicht-determinierende Beschreibung von Prozessen angesehen (Prilla, 2010, S. 87). Eine andere Gruppe von Modellierern soll zwar eine inhaltlich gleichermaßen korrekte Darstellung erzielen. Im Ergebnis muss diese aber nicht die exakt gleiche Darstellung sein. Dies führt zu weitergehenden Gedanken im

Sinne der Orientierung an einer ein-„heitlichen“, aber nicht ein-„engenden“ Modellierungs-Notation (siehe Abschnitt 3).

Aus betrieblicher Sicht folgt die Dokumentation von sachlogischen Prozessabläufen, wie beschrieben, in erster Linie dem Gedanken der Standardisierung und der Wiederholbarkeit. Probleme in Form von Fehlern, Störungen oder Abweichungen sind im Geschäftsablauf jedoch normal und gehören zum Tagesgeschäft. Über die Modellierung des sachlogischen Ablaufes hinaus, bedarf es einer Analyse, an welchen Punkten im Prozess Probleme und deren Lösung didaktisch klug in Lernsituationen umgesetzt werden können.
Die didaktische fundierte Problemanalyse ist Teil des analytischen Teils der ProSA (siehe Abschnitt 3.3). Durch die ProSA soll die Lehrkraft dazu angehalten werden das Verhältnis von planvollem Handeln und Aspekten der Schwierigkeit zu betrachten. Strategien der „Elementarisierung“ und der „Fundamentalisierung“ weisen eine lange Tradition im Rahmen der Unterrichtsplanung auf (Wilbers, 2020, S. 208). Prozessverständnis, oder gar Prozesskompetenz, reicht jedoch über die sachlogische Oberfläche eines Prozessmodells hinaus bis in die Tiefenstrukturen des modellierten Sachverhalts. Entscheidend ist dabei die Analyse des Zusammenspiels der enthaltenen Prozesselemente. Wenn das Prozessmodell die Sichtstruktur (bildlich „Landkarte“) darstellt, dann wären die weitergehenden Schritte der Prozess- und Problemanalyse die Tiefenstrukturen (bildlich „Landschaft“) (Chomsky, 1969; DeJong & Ferguson-Hessler, 1996, S. 111). Im Rahmen der designbasierten Begleitforschung werden in iterativen Zyklen (Jahn, 2014, S. 5) Auswertungsverfahren vorgenommen, um die Entwicklung der Modellierungs- sowie Analysekompetenzen pädagogischer Professionals im Hinblick auf das skizzierte Prozessverständnis zu gewinnen.

3 Die prozessorientierte Sachanalyse (ProSA) als Teil der Unterrichtsplanung gestalten

Die Entwicklung von Unterricht ist ein komplexer zyklischer Vorgang, bestehend aus einem breiten analytischem Vorgehen (Curriculare Analyse, Bedingungsanalyse, Sachanalyse und didaktisch-methodische Analyse), gepaart mit intensiven kritisch-reflexiven Phasen (Wilbers, 2020, S. 16). Zum aktuellen Forschungsstand werden ausgewählte Gestaltungsempfehlungen für die ProSA, insbesondere bei der Modellierung von Prozessen, herausgearbeitet.

3.1 Prozessmodelle als Ergänzung der bestehenden curricularen Elemente

Die Lernfeldformulierungen geben stets die erste berufsspezifische Orientierung zu den erforderlichen Schülerhandlungen im Hinblick auf die Förderung von beruflicher Handlungskompetenz. Auf Grund der zukunftsfesten, aber technologieoffenen Formulierungen (M. Becker & Windelband, 2018, S. 11; Utecht, 2019, S. 168) liefern Lernfelder diesbezüglich jedoch nur begrenzt Hinweise über den aktuellen Status Quo derartiger Handlungsanforderungen. Die hohe Dynamik in sich wandelnden Handlungsfeldern erfordert für Lehrkräfte demnach eine stete Klärung und damit direkte Zugriffsmöglichkeit auf die vorherrschenden Handlungsanforderungen. Es geht um deren kritische Einschätzung, regelmäßige Überprüfung und Spiegelung mit den curricularen Vorgaben. Die Konzeption der Sachanalyse mit fach- und prozessorientierter Stoßrichtung soll eine solche angemessene Annäherung an die geschilderten „akuten" Handlungsanforderungen unterstützen. Prozessmodelle können die bestehenden curricularen Elemente (insb. Didaktische Jahresplanung, Lernsituationen, Medienkonzepte) ergänzen und dahingehend als Grundlage einer teamorientierten Unterrichtsplanung fungieren.

3.2 Prozessmodellierung im Team

Zunächst ist es hilfreich, sich „Verbündete" für den weiteren Verlauf der prozessorientierten Sachanalyse zu organisieren. Aus Sicht der Lehrkraft sind dies in erster Linie schulische Kollegen. Besonders fruchtbar ist der Einbezug betrieblicher Ansprechpartner oder aber auch weiterer Experten im Sachgebiet.

Innerhalb der Gruppe der Modellierer/-innen ist dann festzulegen, wie das Prozessmodell entstehen soll. Die grafische Aufbereitung und Dokumentation von Prozessen wird von vielen digitalen Tools in unterschiedlicher Form und Funktionalität ermöglicht. Die Spannbreite[1] reicht vom reinen „Visualisierungsprogramm" (z. B. PowerPoint) bis hin zum datenbankgestützten Modellierungs- und Managementwerkzeug (z. B. ARIS) (Gadatsch, 2020, S. 54–55). Da im Hinblick auf die ProSA die Gewinnung von Erkenntnissen zur Förderung von Prozessverständnis im Kontext der Sachanalyse im Mittelpunkt steht, folgt die Tool-Unterstützung der Zweckmäßigkeit. Die Modellierung kann zunächst frei und analog mit „Stift und Papier" beginnen (Berglehner & Wilbers, 2015, S. 71; Berglehner F, 2015, S. 71; Stitz, 2017, S. 179). Dies lässt sich digital ebenso mittels eines Tablets mit Stiftfunktion durchführen. Einfache und kostenfreie Visualisierungswerkzeuge, wie z. B. Lucidchart oder diagrams.net, bieten bereits vorgefertigte

[1] eine Auflistung entsprechender Apps findet sich unter: http://www.wirtschaftsunterricht-gestalten.de/apps

Formen in den entsprechenden Notationen an. Nach dem obigen Verständnis stellen Prozessmodelle offene und lebendige Planungsartefakte dar. Hierbei ist eine Versionierung der Modelle hilfreich.

Die eigentliche Modellierung geht einher mit zahlreichen Aushandlungen zwischen den Beteiligten. Die Aufgabenverteilung in der professionellen Lerngemeinschaft kann dabei zum einen unterschiedliche Aktivitätsniveaus zwischen den Mitarbeitenden ausprägen und zum anderen können sich verschiedenartige Rollenverteilungen herausbilden (Carell, Jahnke & Reiband, 2002, S. 28–29).

3.3 Orientierungspunkte der Prozessmodellierung

Der Zweck der prozessorientierten Sachanalyse ist die Bereitstellung der Grundlage für die weiteren didaktischen Entscheidungen, insbesondere hinsichtlich der Kompetenzerwartungen, des Handlungsraums und den Handlungsprodukten. Über diesen didaktischen Zweck soll sie nicht hinausschießen.

In der Literatur zum Prozessmanagement werden „Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung“ (GoM) formuliert (Rosemann, Schwegmann & Delfmann, 2012, S. 49–50). Diese sind begrifflich an die Grundsätze ordnungsgemäßer Buchführung angelehnt, sind aber eher als Leitlinien zu betrachten. Ein Austausch über derartige Leitlinien ist hilfreich für die interne Gruppe der Modellierer/-innen (= PLG) sowie für spätere externe Anwender der Ergebnisse (= alle pädagogischen Professionals außerhalb der PLG mit dem Ziel einer möglicherweise künftigen Unterrichtsplanung im zu Grunde liegenden Themengebiet). Die GoM sollen als Orientierungspunkte für die ProSA dienen und sind Grundlage der Diskussion in der Gruppe der Modellierer/-innen.

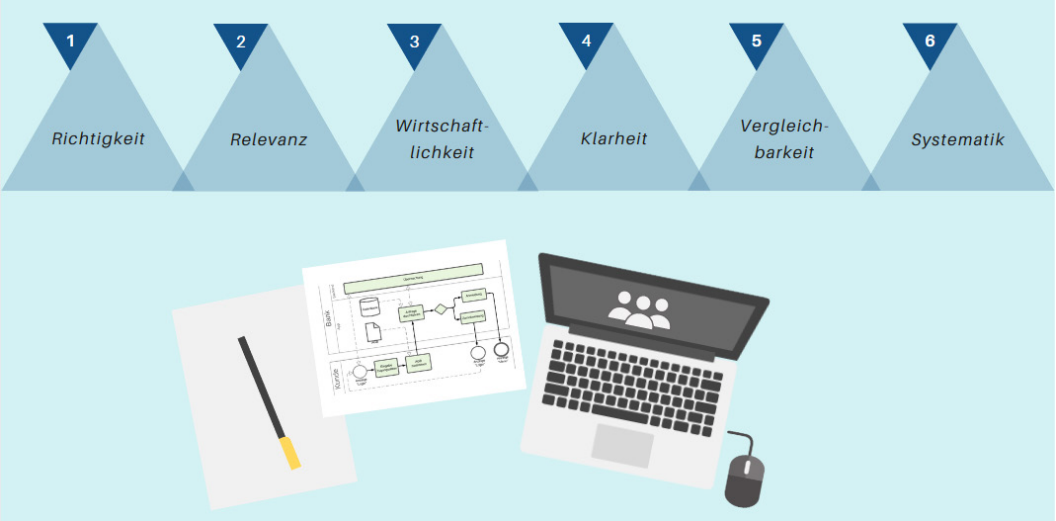


Abbildung 1: Orientierung an Grundsätzen ordnungsgemäßer Modellierung

- **Orientierung am „Grundsatz der Richtigkeit“**

  Ein qualitativ hochwertiges Modell zeichnet sich dadurch aus, dass es den darzustellenden Sachverhalt korrekt wiedergibt. Dies betrifft zunächst die semantische Richtigkeit (z. B. die hierarchisch korrekte Einordnung von Akteuren und Aktivitäten[2]). Von der semantischen Richtigkeit ist die syntaktische Richtigkeit abzugrenzen, welche die Einhaltung der Notationsregeln beschreibt. Die Korrektheit der Syntax tritt in der ProSA in den Hintergrund. Notationsgrundregeln (siehe Abschnitt 3.1.5) werden begleitend zur Modellierung im Team diskutiert ggf. individuell angepasst. Die vorgeschlagene Notation wird in Abschnitt 3.2 skizziert und die notationsbezogenen Vereinfachungen und Reduzierungen erläutert. Fehler, im Sinne eines Verstoßes gegen die Modellierungssprache, gibt es bei einer Sachanalyse mit unterrichtsplanerischer Zielrichtung in dieser Form nicht.[3] Die prozessorientierte Sachanalyse ist „eine“ methodische Hilfestellung zur Bewältigung der didaktischen Transformation der Anforderungen von Handlungsfeldern in präzise Kompetenzerwartungen. Sie soll „Hilfsmittel“ und nicht „Korsett“

[2] Als Beispiel soll folgender Fall dienen: Wird im Prozessmodell ein Abteilungsleiter im Austausch mit einem Sachbearbeiter modelliert, so sind die Aktivitäten der beiden Akteure so abzugrenzen, dass die unterschiedlichen Befugnisstufen deutlich werden. So muss ein Abteilungsleiter letztlich seiner Hierarchiestufe entsprechend eine Entscheidung fällen. Der Sachbearbeiter bereitet diese in der Regel vor. Grundsätzlich sind Anhaltspunkte hilfreich, um die Befugnisabhängigkeit nachvollziehen zu können (in diesem Fall z. B. Kreditentscheidung in Höhe von (…) Mio. Euro).

[3] Die Modellierung von Geschäftsprozessen ist auch Bestandteil von Lernfeldern einiger kaufmännischer Ausbildungsberufe (z. B. Lernfeld 2 bei Industriekaufleuten, Lernfeld 11 bei Kaufleuten für Büromanagement. Im Unterschied zum Einsatz in der Unterrichtsplanung ist der korrekte Umgang mit den syntaktischen und semantischen Regeln der Notationssprachen entsprechend den curricularen Vorgaben zu beachten.

sein![4] „Hilfsmittel“ kann sie nur sein, wenn Modellierungs-Entscheidungen gezielt zum Gegenstand von Austausch und Diskussion gemacht werden. Hilfreiche Reduzierungen, Aggregierungen etc. werden ausgehandelt und dadurch offengelegt.

- **Orientierung am „Grundsatz der Relevanz“**
  Ein Prozessmodell soll zum einen die für den jeweiligen Sachverhalt relevanten Aspekte dokumentieren (z. B. ein Informationsobjekt „Kostensätze“ in einem Prozessmodell für die Prozesskostenrechnung). Zum anderen sollte der zu modellierende Prozessausschnitt nicht zu groß und nicht zu klein sein. Die Artefakte des 1. Forschungszyklus haben dazu folgendes gezeigt. Breite, Länge und Tiefe der entwickelten Prozessmodelle korrespondieren mit dem Strukturierungsgrad der zur Grunde liegenden Aufgaben. Sind Aufgaben stark strukturiert, steigt die Menge der als notwendigen eingeschätzten Prozesselemente. Zusammenfassende oder aggregierende Modellierungen fallen dann eher schwer. Dies kann dazu führen, dass die intuitive Lesbarkeit (siehe Klarheit) z. B. für Externe nachlässt.
- **Orientierung am „Grundsatz der Wirtschaftlichkeit“**
  Die Intention dieses Grundsatzes ist es, sicherzustellen, dass die Modellierungsaktivitäten in einem angemessenen Kosten-Nutzen-Verhältnis zu einander stehen. Zur Beurteilung der Zielerreichung ist sowohl die Betrachtung der eigenen Kosten (z. B. Recherche-, Abstimmungs-, Modellierungszeit) als auch der durch die Modellierung erzielte Nutzen (insb. Unterfütterung der Gütekriterien von Lernsituationen[5]) vorzunehmen.
- **Orientierung am „Grundsatz der Klarheit“**
  Dieser Grundsatz trägt dem Tatbestand Rechnung, dass ein Modell nur von Nutzen ist, wenn es von pädagogischen Professionals auch verstanden wird. Unabhängig vom Kreis der Modellierer/-innen sollte ein Modell einen adäquaten Grad an intuitiver Lesbarkeit aufweisen, d. h., die zum Modellverständnis erforderlichen methodischen Kenntnisse sind gering zu halten. Dies unterstreicht den im GoM „Richtigkeit“ formulierten Gedanken der vereinfachten Notation.
- **Orientierung am „Grundsatz der Vergleichbarkeit“**
  Die Implementierung einer fundierten Prozessmodell-Arbeit innerhalb von Berufsbereichen oder eine mögliche lernortübergreifende Weiterentwicklung von Prozessmodellen wird durch „ordnende“ Regeln erheblich vereinfacht.

[4] siehe reduzierte Notation für die ProSA http://www.wirtschaftsunterricht-gestalten.de/modellierungsnotation-reduziert.pdf

[5] siehe Leitfaden für Lernsituationen: http://www.wirtschaftsunterricht-gestalten.de/leitfaden-lernsituationen.pdf

Dies bezieht sich einerseits auf die Vergleichbarkeit von Basis-Notationen über Prozesssprachen hinweg (siehe 3.1.4). Andererseits sollten Modelle idealerweise Ansatzpunkte für eine Einordnung der Prozesse in übergeordnete Level enthalten (Wilbers, 2009, S. 71). Ein auf der Gestaltungs- bzw. Implementierungsebene modeliierter Prozess[6] mit ggf. hohem Detaillierungsgrad, kann bspw. im SCOR-Modell entlang einer gedachten vertikalen strategischen Aggregation nach oben hin in Prozesskategorien oder -typen eingeordnet werden.

- **Orientierung am „Grundsatz des systematischen Aufbaus“**
  Nach Gadatsch (2020, S. 147) ist ein Modell dann systematisch aufgebaut, wenn unterschiedliche Sichten (z. B. Datensicht, Funktionssicht, Akteurssicht) in eine Gesamtsicht (z. B. Prozesssicht) integrierbar sind und konsistent modelliert werden. Der Gedanke der Teil-Sichten und damit auch Teilmodelle entspricht den Annahmen des so genannten ARIS-Konzepts (Architektur Integrierter Informationssyteme). Im Gegensatz dazu soll bei der ProSA jedoch der Schwerpunkt auf eine integrative Modellierung gelegt werden. Ausgehend davon sollen alle technischen Elemente wie auch Datenobjekte zunächst in „einem“ Prozessmodell integrativ festgehalten werden.
  Die ProSA greift insofern Aspekte der Akteur-Netzwerk-Theorie auf, als dass Hard- und Software als so genannter „technischer Akteur“ im gleichen Modell zusammen mit den „sozialen Akteuren“ dargestellt werden. Ziel ist es, den Modellierer/-innen eine möglichst präzise und gleichzeitig verständliche Rekonstruktion des Zusammenwirkens zwischen Mensch, Technik und Organisation abzuverlangen. Dies schlägt sich in den bis dato getroffenen Annahmen bzgl. der „Notation“ nieder (siehe Abschnitt 3.2.3).

3.4 Grundelemente von Modellierungsnotationen

Die Aufgabe eines Begriffssystems, auch „Notation“ genannt, besteht in der Abgrenzung und Kategorisierung von modellierungsrelevanten Sachverhalten und deren Benennung durch Begriffe. Geschäftsprozessmodelle bilden nach Gadatsch (2020, S. 90) folgende Aspekte ab:

[6] Als Beispiel soll folgender Fall dienen: (1) Prozessmodell für die „Erstellung eines verbindlichen Angebots im ERP-System“; (2) „Prozessmodell für die Erstellung eines unverbindlichen Angebots im ERP-System“. Beide Modelle liegen inhaltlich (zugegebener Maßen) sehr eng beieinander, sicher aber auf der gleichen Modellierungsebene. Von daher sollten Sie in Tiefe, Länge und Breite nicht allzu unterschiedlich ausfallen. Letztlich sind im unverbindlichen Angebot noch Freizeichnungsklauseln, wie bspw. „freibleibend“ oder „Preis freibleibend“, zu berücksichtigen.

- **Prozessschritte**, die für den Prozess wesentliche Aufgaben repräsentieren. Synonyme Begriffe eines einzelnen Prozessschritts sind Vorgang, Tätigkeit, Funktion, Arbeitsschritt oder Aktivität.
- **Objekte** werden in Prozessschritten bearbeitet und zwischen Prozessschritten ausgetauscht. Kaufmännische Beispiele hierfür sind Aufträge, Reklamationen oder Angebote. Als technisches Beispiel ist das Prüfprotokoll zu nennen. Objekte werden durch Informationsträger unterschiedlicher Form, wie z. B. E-Mail, Fax, Beleg, Dokument, usw. repräsentiert. Die Weiterleitung von Objekten wird als Objektfluss bezeichnet. Bedeutungsgleiche Begriffe sind Informationsfluss, Nachrichtenfluss, Datenfluss und Dokumentenfluss. Objekte werden i. d. R. aus Datenbanken mit Leben („Daten“) befüllt.
- **Aufgabenträger** führen in Prozessschritten Tätigkeiten aus. Menschliche Aufgabenträger sind z. B. Sachbearbeiter/-innen, Facharbeiter/innen. Im Sinne der ProSA sind dies aber auch intelligente Hard- und Software. Alternative (Sammel-)Begriffe für einen Aufgabenträger sind Akteur, Abteilung, Organisationseinheit, Funktionsträger. Entscheidend ist hier die Frage nach der Verantwortlichkeit für die auszuführende Aktivität.
- **Abhängigkeiten** zwischen Prozessschritten, die zeitlich, logisch oder technologisch bedingt sind, definieren die Ablauflogik eines Geschäftsprozesses. Analoge Begriffe sind z. B. Steuerfluss und Kontrollfluss. Der beschriebene Objektfluss prägt den Kontrollfluss stark, beinhaltet aber nicht das Kennzeichen der definierten Abhängigkeit.
- **Ggf. individuelle Elemente** die im Rahmen von Diskussion und Design vorab für notwendig zur Erreichung der gewünschten Anschaulichkeit erachtet worden sind.

Die grafischen Grundelemente können durch „textliche Annotationen“ ergänzt werden, um die Verständlichkeit des Prozessflusses zu erhöhen.[7] Zur Nutzung einer Prozessnotation muss das realweltliche Phänomen rekonstruiert werden und auf eine Art und Weise abstrahiert werden. Zur Rekonstruktion und Abstraktion gehört dabei auch die Entscheidung darüber, welche Aspekte eines Prozesses im Modell visualisiert werden sollen und welche nicht (Nolte, 2015, S. 64–65). Dies wiederum bestärkt die Orientierung der Modellierung insbesondere an den Grundsätzen der Relevanz und der Klarheit.

Der Begriff der Notation bezieht sich auf die „Aufzeichnung“ der erhobenen Prozessinformationen. Hierfür werden bildhafte Elemente oder Symbole verwendet, welche die beschriebenen

[7] Je nach Sachgebiet ist bei einem sich verzweigendem Prozessfluss eine ausführlichere Beschreibung als „ja“ bzw. „nein“ erforderlich. z. B. nach der Aktivität „Bonitätsprüfung“ -> „Kreditwürdigkeit hinreichend“ oder „Kreditwürdigkeit unzureichend“.

grundlegenden Merkmale visuell darstellen. Für das Konstrukt der ProSA ist folgender Hinweis zu beachten.
Das Wissen um Geschäfts- oder Arbeitsprozesse bspw. dokumentiert in Modellierungsformen ersetzen nicht die „kritische Analyse und Transformation beruflicher Arbeitsprozesse in didaktisches Handeln“. Die Komplexität und Mehrdimensionalität beruflichen Handelns wird durch Prozesskettenmodellierungen allein nicht adäquat abgebildet (Busian, 2011, S. 9).

Die ProSA ist demnach nicht die Notation, sondern die vorgeschlagene Methodik, um zu einem Prozessmodell und zu einer entsprechenden Analyse (z. B. für Lernsituationen) zu gelangen (siehe Abschnitt 4).

3.5 Prozessmodellierung mit einer einheitlichen Notation

Die Rolle der Notation innerhalb der ProSA wurde bereits als „Hilfsmittel und nicht als Korsett“ beschrieben. Ebenso wurde auf die untergeordnete Rolle der syntaktischen Korrektheit hingewiesen, wenngleich die Begleitforschung diesen Aspekt mitberücksichtigt.

Für die Modellierung von Prozessen lassen sich drei verbreitete Standardnotationen hervorheben: EPK = Ereignisgesteuerte Prozessketten, BPMN = Business Process Model and Notation, UML = Unified Modeling Language). Grundsätzlich ist das Ziel der Förderung von Prozessorientierung und -verständnis in der Unterrichtsplanung unabhängig von der Art der verwendeten Notation. In der Literatur werden diese Notationen häufig in Konkurrenz zueinander dargestellt. Dieser Eindruck begründet sich weitgehend durch personen- oder unternehmensbezogene Lock-In-Effekte (Allweyer, 2020, S. 10), d. h. eine Notation ist Standard in einem Unternehmen oder hat eine breitere Anhänger- und damit Könnerschaft als eine andere. Im Hinblick auf die Notationen verfolgt die ProSA vielmehr das Prinzip „*best of all worlds*“.

Im Kontext der Präzisierung von Kompetenzerwartungen in digital transformierten Handlungsfeldern mit hoher Entwicklungsdynamik gibt es eine Reihe von Vorteilen, die für eine einheitliche Verwendung der Notation sprechen. In erster Linie ist dies die Vorstellung, dass so institutionsübergreifende kooperative Modellierungsprozesse angestoßen werden können, ohne eine zusätzlich notwendige Übersetzung zwischen Notationssprachen zu benötigen.

Den Ausgangspunkt bildet die Charakteristik so genannter Schwimmbahnen-Diagramme. Die BPMN-Notation ist eine spezifizierte Form von Schwimmbahn-Diagrammen und hat sich ab 2010 zu dem weltweiten Modellierungsstandard entwickelt (Allweyer, 2020, S. 11). Sie eignet sich beispielsweise besonders um inhaltich-fachliche Experten und informationstechnische

Experten zusammenzubringen. Sie stellt Symbole zur Verfügung, mit denen Geschäftsprozesse und Arbeitsabläufe (sog. Workflows) interdisziplinär modelliert werden können (Gadatsch, 2020, S. 127). Sichten und Ebenen, wie z. B. nach ARIS in mehreren Modellen üblich, lassen sich in BPMN zudem in „einem“ Prozessmodell darstellen (Hansen, Mendling & Neumann, 2019, S. 154).

3.6 Prozessmodelle als Arbeits- und Gesprächsgrundlage pädagogischer Professionals

Folgt man dem Gedanken, Prozessmodellierung zur Förderung der Zusammenarbeit von Vertretern unterschiedlicher Disziplinen (z. B. Techniker/-innen und Kaufleuten) einzusetzen, ist es erforderlich, sich mit den Konzepten der Kommunikation, Koordination, Kooperation und Kollaboration auseinanderzusetzen (Leppert & Wilbers, 2019, S. 101). Prozessmodelle dienen in ihrer Eigenschaft als kommunikations-unterstützende Artefakte dazu, die Bildung eines gemeinsamen Verständnisses unter den an ihrer Entwicklung beteiligten Personen zu unterstützen (Nolte, 2015, S. 89). Sie können nach Clark & Brennan (1991, S. 127) als Common Ground bezeichnet werden auf dessen Basis weitere Zusammenarbeit entsteht. Wenn nicht an der Modellierung beteiligte Personen mit einbezogen werden, ist es wichtig, dass zunächst eine Synchronisation mit den Beteiligten erfolgt. D. h. die Modellierer schlüpfen in die Rolle des Moderators bzw. der Moderatorin, um die Mitwirkung und einen gemeinsamen Lernprozess zu ermöglichen.

Wenn man Geschäftsprozesse im Gesamtbild betrachtet, treten oft Zusammenhänge hervor, die mit der Fachbrille übersehen werden können. Auch im Lernfeldunterricht besteht die Gefahr, dass einzelne Lehrkräfte nur Teile des Gesamtprozesses unterrichten und relevante sinnstiftende Zusammenhänge in den Hintergrund treten. Der „Betrachtungswinkel“ der im eigenen Lernfeld fokussierten Unternehmensprozesse kann dadurch von der Prozesswirklichkeit abweichen oder sich stark auf den „Regelfall“ ohne problematisierende Elemente stützen (Feldbrügge, 2018).

Eine Herausforderung bei der Modellierung ist der richtige Auflösungsgrad für das Modell. Die Modellierer bewegen sich hier zwischen Modifikationen, die entweder eine weitere Spezialisierung oder eine weitere Generalisierung des Modells zur Folge haben (Wilbers, 2019b, S. 455, 2020, S. 488). Die Wahl der richtigen „Flughöhe“ kann nach Gaitanides (2009, S. 21) als „Modellierungsdilemma“ bezeichnet werden. Schlicht (2019, S. 159) fordert hier die Ein-

bringung einer wirtschaftspädagogischen Expertise, welche das „Reden über Geschäftsprozesse“ fokussiert und somit Prozessverständnis über die reine Modelldarstellung hinaus erreicht werden kann.

4 Ausgewählte Modellierungsnotationen im Kontext der ProSA

4.1 BPMN als Swimlane-Notation

Die Notation für die ProSA lässt sich vor dem Hintergrund der kurz erläuterten Vorteile und Ziele gut an BPMN andocken. Innerhalb der BPMN-Elemente ist zunächst eine Reduktion der Anzahl an möglichen Elementen notwendig. Für gegebene Fälle können aber dennoch höhere Detaillierungsgrade angewendet werden, ohne dass die Notation gewechselt werden muss.

Die Darstellungsvariante von Aufgabenträgern oder Akteuren (siehe 3.1.3) in „Lanes“ ist intuitiv gut geeignet, um Verantwortlichkeiten innerhalb des Prozesses abzubilden. Dies geschieht, indem auf der Swimlane die Aktivitäten des jeweiligen Akteurs eingetragen werden. Angestoßen werden die Aktivitäten von Ereignissen, welche in drei Grundformen, Start-, Zwischen- und Endereignisse, vorliegen. Zusammengehörige Akteure werden als Pool dargestellt (je nach Auflösungsgrad der Modellierung z. B. Sachbearbeiter/-in und Abteilungsleiter/-in als Pool „Produktionsplanung“; Produktionsplanung, Lager, Disposition als Pool „Smartfabrik GmbH“). Die Lanes einer oder mehrerer externer Akteure (z. B. Kunde/-in, Lieferant/-in) werden demnach ebenfalls als Pools dargestellt, lediglich mit etwas Abstand zu den unternehmensinternen (siehe auch Prozessmodelle der schulischen Beiträge in diesem Band).

4.2 Anpassungen der BPMN-Notation für die ProSA

Über die Anlehnung an die BPMN-Notation wurden im Zuge der Begleitforschung bisher drei wesentliche notations-bezogene Anpassungen für die ProSA vorgenommen. Diese können als erweiternde (BPMN+) und vereinfachende (BPMN–) Anpassungen bezeichnet werden (siehe Abbildung 2).

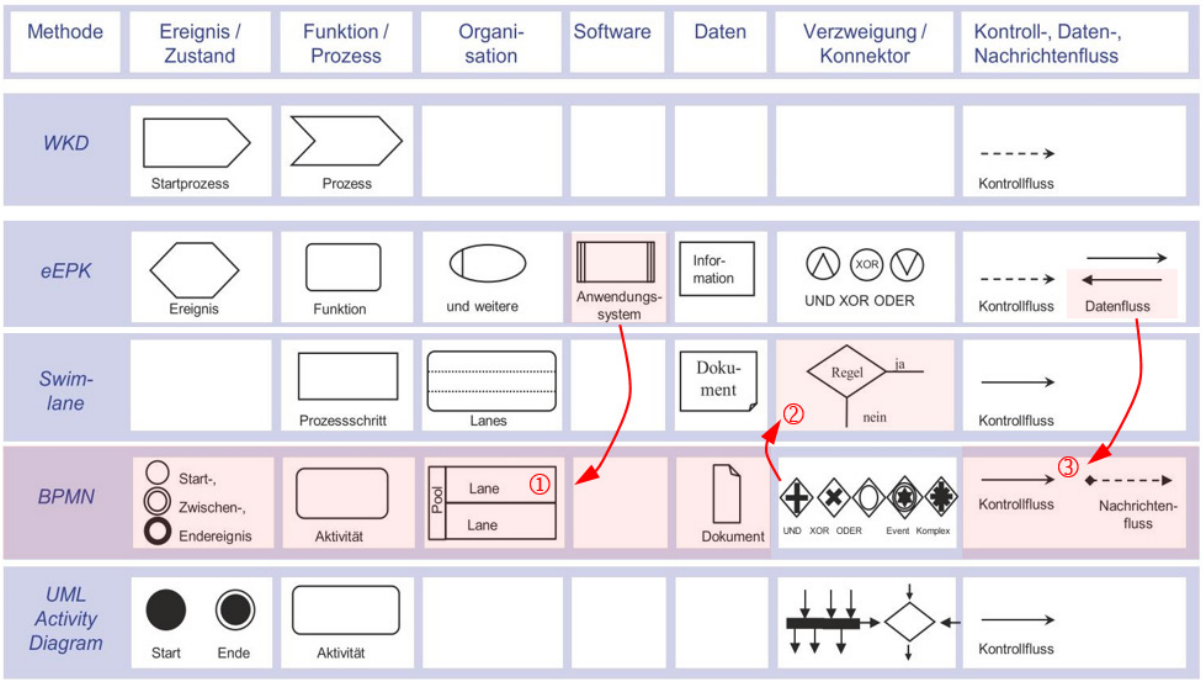


Abbildung 2: Elemente geläufiger Modellierungs-Notationen im Kontext der bisherigen Anpassungen der Notation für die ProSA (vgl. Gadatsch, 2020, S. 146)

Die erste erweiternde Anpassung betrifft den Umgang mit technischen Elementen vor dem Hintergrund zunehmender sozio-technischer Systeme **(1)**. Wie beschrieben wird Technik im Sinne von Hard- und Software als eigenständige Lane, als so genannter „technischer Akteur", modelliert. Hier nimmt die Notation Anleihen an der eEPK (erweiterte ereignisgesteuerten Prozesskette), welche derartige Anwendungssysteme als Notations-Element bereits vorsieht. Als Gegenpol soll hier die Notation der UML (Unified Modelling Language) angeführt werden. Diese ist stark durch die Softwareentwicklung beeinflusst, so dass die sozio-technische Modellierung dort der Normalfall ist, aber dadurch auch schnell große Komplexitäten erreicht werden.

Eine vereinfachende Anpassung **(2)** betrifft den Umgang mit den ggf. notwendigen Verzweigungen des Kontrollflusses. Bei Verzweigungen („gateways") unterteilt bzw. vereinigt sich der Prozessfluss. Für die Verwendung zur Modellierung im Rahmen der ProSA soll es zunächst genügen, etwaige Verzweigungen grafisch deutlich zu machen. Im Sinne des Grundsatzes der Klarheit gilt es, zu bedenken, wie komplexe Verzweigungen ggf. sinnvoll zusammengefasst werden können.[8]

[8] Beispiel: „Veröffentlichungsmedium begutachten". Anstelle einer UND-Verzweigung in sämtliche mögliche Medien, könnte hier auch vereinfacht in „analoge" und „digitale" Medien unterschieden werden. Ggf. ist eine Text-

Eine abschließende vereinfachende Anpassung der BPMN-Notation betrifft den grundsätzlichen Umgang mit den Verbindungsobjekten **(3)**. BPMN sieht zwei zentrale Verbindungsobjekte vor, den Prozessfluss und den Nachrichtenfluss (siehe Abbildung 1). Den Nachrichtenfluss beschreibt Gadatsch (2020, S. 128) als den Austausch von Nachrichten zwischen zwei Objekten (Aktivitäten, Ereignissen oder Entscheidungen). Eine gestrichelte Linie zu anderen Objekten zeigt in BPMN an, dass Daten, textliche Annotationen oder andere Objekte (z. B. freie Elemente) mit dem Kontrollfluss verbunden sind. Während die Notation der erweiterten EPK (eEPK) ein eigenes Verbindungsobjekt für den „Datenfluss“ vorsieht, zeigte sich, dass bei BPMN die Abgrenzung zwischen „Nachrichten“ und „Daten“ über derartige zusätzliche „Assoziationen“ etwas schwerfällt. Die Hervorhebung des Datenflusses bei eEPK scheint angesichts der zunehmenden Bedeutung sinnvoll und soll aufgegriffen werden. Bei der Notation im Rahmen der ProSA soll es bei den zwei wesentlichen Arten von Verbindungsobjekten bleiben, dem Kontroll- und dem Nachrichtenfluss. Das Verständnis des Nachrichtenflusses schließt hier jedoch explizit die Übertragung von Daten ein. Entsprechend dem Grundsatz der Klarheit soll der Fluss von Daten so deutlich wie möglich im Modell gekennzeichnet werden.

Die bisherigen Anpassungen in der Notation sind eher als inkrementell zu bezeichnen. Weitere Anpassungen sind ggf. im Verlauf des Forschungsprozesses noch notwendig. Grundsätzlich gilt folgendes für die Nutzung die Notation in der ProSA. Das Team der Modellierer soll die Freiheit haben, begründet von der vorgeschlagenen Grundnotation abzuweichen und ggf. notwendige Elemente festzulegen und einzubringen. Derartige abweichende oder „freie“ Modellierungen werden im Sinne der PLG nicht als störend aufgefasst, sondern dienen im umgekehrten Sinn als Anlass zu Diskussion und Austausch.

4.3 Modellierung des „technischen Akteurs“ in BPMN

Wie erläutert, wird der technische Akteur in der ProSA zusammen mit den sozialen Akteuren in einem Prozessmodell dargestellt. Wenn angezeigt, erhält er auf Basis der BPMN-Notation eine oder mehrere „Lanes“. Dies kann insbesondere anhand der Prozessmodelle in den Beiträgen zu den „guten Beispielen aus der Schulpraxis“ in diesem Band nachvollzogen werden.

Insbesondere für den berufsbezogenen Unterricht ist zu überlegen, wie das Zusammenspiel zwischen Mensch und Technik systematisiert werden kann. Ziel sollte ein möglichst detailliertes berufs- sowie branchenbezogenes Verständnis sein, gefolgt von einer kritisch-reflexiven

Annotation mit Detailinformationen hilfreich, so dass die Komplexität des Prozessflusses nicht übermäßig ansteigt.

Umsetzung in konkrete Kompetenzerwartungen. Um Kompetenzerwartungen einerseits adäquat formulieren zu können und andererseits Erkenntnisse adäquat z. B. in Lernsituationen zu integrieren, ist eine umfassende Analyse des „technischen Akteurs“ notwendig. Hier wird ein Gedanke der Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT) aufgegriffen, wonach nicht nur sozialen bzw. menschlichen Akteuren Handlungsfähigkeit bzw. Aktivität zugestanden wird. Akteure handeln nicht isoliert, sondern im Verbund mit anderen Akteuren (Peuker, 2010, S. 325–326). Wie in Abschnitt 2.1 beschreiben, reicht das Verständnis des Zusammenwirkens innerhalb von Akteur-Netzwerken zunehmend über die Grenzen der jeweils eigenen Domäne (z. B. kaufmännisch und gewerblich-technisch) hinaus.

Überträgt man die Gedanken der ANT, von Mensch und Technik als handelnden Akteuren auf die didaktische Situation eines Netzwerks von Lehrenden und Lernenden im Zusammenhang mit vernetzter Technik, entstehen neue didaktische Szenarien, neue Lernorte und neue mediendidaktische Herausforderungen (Belliger, Krieger, Herber & Waba, 2013, S. 270–271). Die Konzeption und die Modellierung einer „Lernfabrik“ stellt eine solche spannende Herausforderung dar (siehe Beiträge in diesem Band).

Ein Beispiel für derartige Akteur-Netzwerke ist das dynamische Zusammenspiel der betrieblichen Informationssysteme – von ERP (Enterprise Ressource Planning) bis MES (Manufactoring Execution System) (Majstorovic, Stojadinovic, Lalic & Marjanovic, 2020, S. 291–292; Treber, S. 20). Standen in der Vergangenheit besonders die Einführung von ERP-, SCM-, CRM-, SRM-, MES-, Datenbankmanagement- und Dokumentenmanagementsystemen im Fokus, so geht es bei diesen Systemen jüngst stärker um Themen wie die Auslagerung in die Cloud, die Bewältigung und Integration großer Datenmengen (Big Data) oder um deren mobile Nutzbarkeit (Harwardt, 2019, S. 140).

Der Begriff der **Schnittstelle** stellt eine wesentliche Denkhilfe in Bezug auf das Verständnis dieses Zusammenspiels dar. Sie hat eine organisationszentrierte und akteurszentrierte Facette. Einerseits geht es um Schnittstellen zwischen Prozessen. Dies betrifft bspw. den Aspekt der Übergabe von Teil- oder Endergebnissen. Ein derartiger Output kann physisch als Übergabe eines (Teil-)Werkstücks an den innerbetrieblichen Kunden gedacht werden. Allerdings ent-gegenständlicht sich diese Konstellation zunehmend, so dass non-physisch vom Informationsaustausch bspw. zwischen Systemen und Personen gesprochen werden kann. Ist der Output für einen außerbetrieblichen Kunden vorgesehen, kommt zudem eine Schnittstelle zur Umwelt des Unternehmens ins Spiel (Busian, 2011, S. 6). In Bezug auf die Mensch-Maschine-Interaktion meint „Schnittstelle“ bspw. auch die grafisch optimierte Benutzeroberfläche. Die

Vorgänge innerhalb der Technik verlaufen weitgehend im Verborgenem. Aufgabe der Modellierung des „technischen Akteurs“ ist es auch, diese Vorgänge besser sichtbar zu machen und um z. B. Datenstrukturen und -flüsse besser nachvollziehen zu können. Dies gilt umso mehr, angesichts der Tatsache, dass die nächste Entwicklungsstufe der „künstlichen Intelligenz“ bereits vor der Tür steht.

5 Leitfadenunterstützung für die Durchführung der ProSA

Die Ausarbeitung der prozessorientierten Sachanalyse, als Teil der Planung handlungsorientierten Unterrichts, dient der Präzisierung der betroffenen Unternehmensprozesse und damit der sach- und zeitlogischen Ordnung der relevanten Prozesselemente. Gegenstand aktueller Forschung ist unter anderem auch die gezielte Unterstützung der ProSA durch das Instrument des Leitfadens. Der Leitfaden orientiert sich an der perspektiven Betrachtung der ProSA und gliedert sich nach aktuellem Stand in mehrere Sektionen (*Von […] zu […]*).[9]

In einer ersten „statischen“ Betrachtung geht es vordergründig darum, sich an die konkrete Prozessstruktur des Unternehmens anzunähern (1) sowie die Elemente dieser Struktur zu erfassen (2). Die Prozesse finden in Unternehmen, also dem dualen Kooperationspartner statt. In der professionellen Lerngemeinschaft erfolgt die Aufbereitung dieser Prozesse mit dem Ziel diese im nächsten Schritt in einem Modell zu rekonstruieren. Dazu wird ein klassisches Methoden-Mix aus Recherche, Beobachtung, sowie der praktischen Erfahrung eingesetzt, wie es im Rahmen einer wissenschaftlichen Analyse üblich ist (Leppert & Wilbers, 2019, S. 97).

In einer „dynamischen“ Betrachtung erfolgt nun die Verarbeitung der gesammelten Informationen. Die Kernphase der Modellierung beinhaltet die Anordnung des Zusammenspiels zwischen den erfassten Elementen. Die herausgearbeiteten, beobachteten, erfahrenen bzw. simulierten realweltlichen Probleme werden zunächst interpretiert und in Konstrukte einer Modellierungsnotation übersetzt (Leppert & Wilbers, 2019, S. 98; Nolte, 2015, S. 65). Die Modellierung erfolgt, wie in 3.1 und 3.2 beschrieben, unter Beachtung der Gestaltungsempfehlungen zur Prozessmodellierung in der ProSA.

Aus einer „analytischen“ Betrachtung heraus, ist es notwendig, vom modellierten Prozess nun weiter zu einem prozeduralen Tiefenverständnis zu gelangen. Ausgewählte Abschnitte des

[9] Leitfaden „ProSA“ abrufbar unter http://www.wirtschaftsunterricht-gestalten.de/leitfaden-prosa.pdf

Prozessflusses sollen einer Problemanalyse unterzogen werden, um mögliche Schwierigkeiten im Prozessfluss zu thematisieren. Das „Problem“ ist begrifflich etwas weiter gefasst als bspw. der (lernwirksame) „Fehler“ (Goppold et al., 2019, S. 13) oder die (lernwirksame) „Störung“ (Treber, S. 12). Im Prozessmodell sind letztere eher als Ereignisse zu klassifizieren, welche jedoch z. B. Produktivität und Qualität der Fertigung negativ beeinflussen können. Zwischen Ausgangszustand und Zielstellung liegen u. a. nach Dörner (1976) so genannte „Barrieren“. Je nachdem wie stark diese Barriere individuell wahrgenommen wird, erscheint die gleiche Situation einmal als komplexes „Problem“ und ein anderes Mal eher als planvolle „Aufgabe“. Der didaktische Anspruch komplexer Lehr-Lernarrangements ist es, die Herausforderung der Problemlösung („Schwierigkeit“) entsprechend angemessen nach den curricularen Angaben und den zu Grunde liegenden Bedingungen („Differenzierung“) zu adressieren.

Das Lernen in problemhaltigen Situationen ist ein wesentliches Merkmal der Methode des Lehrens und Lernens mit Lernsituationen (J. Schirmer, 2020, S. 139). Der „Leitfaden zur Gestaltung von Lernsituationen“ [10] greift die im Rahmen der Sachanalyse gewonnenen Erkenntnisse auf und leistet (angehenden) Lehrkräften Hilfestellung bei der Strukturierung des Lernhandelns in Lernsituationen, konkret der Konstruktion von Handlungsraum, -prozess und -produkten, sowie der Kompetenzerwartungen (Wilbers, 2020, S. 488).

Aus einer „reflektorischen“ Perspektive geht es abschließend darum, das Prozessmodell als Planungs-Artefakt und die durchgeführten Analysen regelmäßig „aktuell“ zu halten. Veränderungen in der betrieblichen Welt sollen regelmäßig Eingang in die erarbeitete ProSA finden.

6 Fazit

Im Fokus der prozessorientierten Sachanalyse (ProSA) steht die Modellierung von Prozessen. Die Entwicklung von Prozessverständnis ist gekoppelt an permanente Fragen, die an die rekonstruierte Unternehmenswirklichkeit gestellt werden müssen. Dahinter steht ein teamorientierter Ansatz, der auch helfen soll, Expertinnen und Experten aus unterschiedlichen Disziplinen zusammenzuführen. Im Rahmen der Unterrichtsplanung im Kontext von Lernfabriken arbeiten z. B. kaufmännische und gewerblich-technische Expertinnen und Experten intensiv zusammen. Die Förderung des eingangs beschriebenen Denken und Handelns in Prozessen

[10] Leitfaden „Lernsiutation“ abrufbar unter http://www.wirtschaftsunterricht-gestalten.de/leitfaden-lernsituationen.pdf

wird aktuell designbasiert im Kontext der Entwicklung von Lernsituationen für den berufsschulischen Unterricht erforscht. Für einen praktikablen Einsatz als Planungsinstrument liegen dem Ansatz die hier skizzierten Annahmen zu Grunde.

Die Zielstellung sowie das dahinterliegende Verständnis der Methodik wurden jeweils in Grundzügen erläutert. Die Erstellung von Prozessmodellen unterliegt keinem Alleinanspruch der Unterrichtsentwicklung. Daher wird explizit darauf hingewiesen, dass die an der betriebswirtschaftlichen Organisationslehre und der Wirtschaftsinformatik orientierte Vorgehensweise zur Konstruktion von Prozessmodellen, lediglich als „Element“ des Unterrichtsplanungsprozesses, hier der Entwicklung von Lernsituationen, zu sehen sind. Die kooperative Curriculum- und Unterrichtsentwicklung ist stark geprägt durch die handelnden Personen und die Modellierer/-innen selbst sowie deren Kommunikation nach innen und außen.

Literaturverzeichnis

Allweyer, T. (2020). *BPMN 2.0 - Business Process Model and Notation. Einführung in den Standard für die Geschäftsprozessmodellierung* (4. Auflage). Norderstedt: BOD - Books on Demand.

Arntz, M., Gregory, T., Jansen, S. & Zierahn, U. (2016). *Tätigkeitswandel und Weiterbildungsbedarf in der digitalen Transformation*. Zugriff am 31.08.2020.

Bader, R. (2003). Lernfelder konstruieren–Lernsituationen entwickeln. *Die berufsbildende Schule*, *55*(7-8), 210–217.

BayME. (2016). *Industrie 4.0. Auswirkungen auf Aus-und Weiterbildung in der M+E Industrie. Eine bayme vbm Studie, erstellt von der Universität Bremen*. München. Zugriff am 01.09.2020.

Becker, J. & Kahn, D. (2012). Der Prozess im Fokus. In J. Becker, M. Kugeler & M. Rosemann (Hrsg.), *Prozessmanagement. Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung* (7., korr. und erw. Aufl. 2012, S. 3–16). Berlin: Springer.

Becker, M. & Windelband, L. (2018). Zusatzqualifikationen - Herausforderungen von Industrie 4.0 damit meisterbar? *Lernen & Lehren*, *33*(129), 11–16.

Belliger, A., Krieger, D., Herber, E. & Waba, S. (2013). Die Akteur-Netzwerk-Theorie. Eine Technikтheorie für das Lernen und Lehren mit Technologien. In M. Ebner & S. Schön (Hrsg.), *Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien* (2. Aufl., S. 265–272). Berlin: epubli.

Berglehner, F. & Wilbers, K. (2015). Schulisches Prozessmanagement - eine Einführung. In W. K. Berglehner F (Hrsg.), *Schulisches Prozessmanagement: Einführung, Praxisreflexion, Perspektiven* (S. 17–91). Berlin: epubli GmbH.

Berglehner F, W. K. (Hrsg.). (2015). *Schulisches Prozessmanagement: Einführung, Praxisreflexion, Perspektiven*. Berlin: epubli GmbH.

Bolch, G. & Seidel, M.-M. (1993). *Prozeßautomatisierung. Aufgabenstellung, Realisierung und Anwendungsbeispiele* (Leitfäden der angewandten Informatik, 2., überarb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Teubner.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales. (2017). *Kompetenz- und Qualifizierungsbedarfe bis 2030. Ein gemeinsames Lagebild der Partnerschaft für Fachkräfte*. Berlin. Zugriff am 31.08.2020.

Busian, A. (2011). Geschäftsprozessorientierung - curriculare Orientierungsgröße mit Integrationskraft oder Modeerscheinung? *bwp@ (Berufs- und Wirtschaftspädagogik - online)*, (20), 1–26.

Carell, A., Jahnke, I. & Reiband, N. (2002). Computergestütztes kollaboratives Lernen: Die Bedeutung von Partizipation, Wissensintegration und der Einfluss von Rollen. *Journal Hochschuldidaktik*, *13*(2), 26–35.

Chomsky, N. (1969). *Aspekte der Syntax-theorie*. Suhrkamp Verlag.

Clark, H. H. & Brennan, S. E. (1991). Grounding in communication. In L. B. Resnick, J. M. Levine & S. D. Teasley (Hrsg.), *Perspectives on socially shared cognition* (S. 127–149). Washington: American Psychological Association.

De Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, *31*(2), 105–113.

Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.

Feldbrügge, R. (2018). *Mitarbeiter vielseitig qualifizieren. Personalentwicklung, Arbeit 4.0, New Work,* Portal Fachkräfte für Mittelfranken. Zugriff am 01.12.20. Verfügbar unter: https://www.fachkraefte-mittelfranken.de/2018/04/12/mitarbeiter-vielseitig-qualifizieren/.

Gadatsch, A. (2020). *Grundkurs Geschäftsprozess-Management*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Gaitanides, M. (2009). Geschäftsprozess und Prozessmanagement. In H. Pongratz, T. Tramm & K. Wilbers (Hrsg.), *Prozessorientierte Wirtschaftsdidaktik und Einsatz von ERP-Systemen im kaufmännischen Unterricht* (Texte zur Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung, Bd. 4, S. 11–29). Aachen: Shaker Verl.

Gaitanides, M. & Ackermann, I. (2004). Die geschäftsprozessperspektive als Schlüssel zu betriebswirtschaftlichem denken und handeln. *bwp@ (Berufs- und Wirtschaftspädagogik - online); Spezial*, *1*, 4–28. Verfügbar unter: https://www.bwpat.de/spezial1/.

Gangl, K. & Sonntag, A. (2020). Digitale Kompetenzen in österreichischen KMUs.

Goppold, M., Tackenberg, S., Atanasyan, A., Cichon, T., Kobelt, D., Gamber, T. et al. (2019). Systemkonzept und Modellierung beruflicher Handlungen im FeDiNAR-AR-Lernsystem. In T. Köhler, E. Schoop & N. Kahnwald (eds.), *Gemeinschaften in neuen Medien. Erforschung der digitalen Transformation in Wissenschaft, Wirtschaft, Bildung und öffentlicher Verwaltung. 22. Workshop GeNeMe'19 Gemeinschaften in Neuen Medien* (S. 12–24). Dresden: TUDpress.

Hansen, H. R., Mendling, J. & Neumann, G. (2019). *Wirtschaftsinformatik. Grundlagen und Anwendungen* (De Gruyter Studium, 12. völlig neu bearbeitete Auflage). Berlin, Boston: De Gruyter.

Harwardt, M. (2019). *Management der digitalen Transformation. Eine praxisorientierte Einführung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Springer Gabler.

Hilmer, C. (2016). *Prozessmanagement in indirekten Bereichen*. Springer.

Hinterhuber, H. H. (1995). Vom Denken in Funktionen zum Denken in Prozessen. In *Aufbruch in die Veränderung* (S. 13–42). Springer.

Hirsch-Kreinsen, H. (2015a). *Digitalisierung von Arbeit: Folgen, Grenzen und Perspektiven. Soziologisches Arbeitspapier Nr. 43/2015*. Dortmund. Zugriff am 01.09.2020.

Hirsch-Kreinsen, H. (2015b). Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In A. Botthof & E. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 89–98). Berlin: Springer Vieweg.

Institut für Bildungsforschung der Wirtschaft. (2019). *New Digital Skills. Eine Initiative des AMS Österreich. Ergebnisbericht*. Wien. Zugriff am 02.09.2020.

Ittermann, P., Niehaus, J. & Hirsch-Kreisen, H. (2015). *Arbeiten in der Industrie 4.0. Trendbestimmungen und arbeitspolitische Handlungsfelder*.

Jahn, D. (2014). Durch das praktische Gestalten von didaktischen Designs nützliche Erkenntnisse gewinnen: Eine Einführung in die Gestaltungsforschung. *Wirtschaft & Erziehung*, *66*(1), 3–15.

Krauss, A. & Mohr, B. (2004). Prozessorientierung in der betrieblichen Weiterbildung – neue Funktionen für Führungskräfte. Der Vorgesetzte als Lernberater und Coach. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, *5*, 33–35.

Kugeler, M. (2012). Supply Chain Management und Customer Relationship Management Prozessmodellierung für Extended Enterprises. In J. Becker, M. Kugeler & M. Rosemann (Hrsg.), *Prozessmanagement. Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung* (7., korr. und erw. Aufl. 2012, S. 421–454). Berlin: Springer.

Leppert, S. & Wilbers, K. (2019). Entwicklung von Lernsituationen in digital transformierten Handlungsfeldern - Ein Modell unter besonderer Berücksichtigung der prozessorientierten Sachanalyse. In K. Wilbers (Hrsg.), *Digitale Transformation kaufmännischer Bildung. Ausbildung in Industrie und Handel hinterfragt* (1. Auflage, S. 73–115). Berlin: epubli.

Majstorovic, V., Stojadinovic, S., Lalic, B. & Marjanovic, U. (2020). ERP in Industry 4.0 Context. In B. Lalic, V. Majstorovic, U. Marjanovic, G. von Cieminski & D. Romero (Hrsg.), *Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems* (Bd. 591, S. 287–294). Cham: Springer International Publishing.

Nolte, A. (2015). *Flexibilisierung kollaborativer Prozessmodellierung durch den Einsatz webbasierter Modellierungswerkzeuge. Dissertation*. Bochum.

Otte, B. & Schmidt, E. (2008). Ausbildungsziele, -inhalte und Umsetzungsformen einer prozessorientierten Ausbildung. In S. Bednarz & E. Schmidt (Hrsg.), *Arbeitsprozessorientierte und gendergerechte IT-Ausbildung: Handreichungen-Umsetzungsempfehlungen-Beispiele für die Praxis* (S. 23–38). W. Bertelsmann Verlag.

Peuker, B. (2010). Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT). In C. Stegbauer & R. Häußling (Hrsg.), *Handbuch Netzwerkforschung* (Netzwerkforschung, Band 4, 1. Auflage, S. 325–335). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Prilla, M. (2010). *Wissensmanagement-Unterstützung für die Entwicklung und Nutzung von Prozessmodellen als wissensvermittelnde Artefakte*. BoD–Books on Demand.

Rosemann, M., Schwegmann, A. & Delfmann, P. (2012). Vorbereitung der Prozessmodellierung. In J. Becker, M. Kugeler & M. Rosemann (Hrsg.), *Prozessmanagement. Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung* (7., korr. und erw. Aufl. 2012, S. 47–112). Berlin: Springer.

Schirmer, H. (2020). *Entwicklung eines Geschäftsprozessmodells als Referenz für einen curricular intendierten beruflichen Unterricht*. Dissertation. München.

Schirmer, J. (2020). *Gestaltungsprinzipien von kompetenzorientierten Aufgaben an der Wirtschaftsschule in Bayern*. Dissertation.

Schlicht, J. (2019). *Kommunikation und Kooperation in Geschäftsprozessen. Modellierung aus pädagogischer, ökonomischer und informationstechnischer Perspektive* (Wirtschaft - Beruf - Ethik, Bd. 37, 1. Auflage). Bielefeld: wbv Media.

Sczogiel, S., Schmitt-Rüth, S., Göller, A. & Williger, B. (2019). *Future Digital Job Skills: Die Zukunft kaufmännischer Berufe*. Nürnberg.

Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer-Verlag.

Stitz, G. (2017). *Multiplikatorische Fortbildungen mit E-Learning-Unterstützung* (Texte zur Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung, Bd. 18, 2. Auflage). Berlin: epubli.

Tauschek, R. (2004). *Problemlösekompetenz in komplexen technischen Systemen. Möglichkeiten der Entwicklung und Förderung im Unterricht der Berufsschule mit Hilfe computergestützter Modellbildung und Simulation. Theoretische und empirische Analyse in der gewerblich-technischen Berufsbildung*. TU Dresden. Verfügbar unter: https://d-nb.info/98134027X/34

Treber, S. (2020). *Transparenzsteigerung in Produktionsnetzwerken*. Dissertation. Shaker Verlag.

Utecht, A. (2019). Zukünftige Herausforderungen in der Ausbildung von Industriekaufleuten – Die Forderungen und Herausforderungen aus Sicht der Gewerkschaft IG Metall. In K. Wilbers (Hrsg.), *Digitale Transformation kaufmännischer Bildung. Ausbildung in Industrie und Handel hinterfragt* (1. Auflage, S. 159–176). Berlin: epubli.

Vom Brocke, J. (2003). *Referenzmodellierung: Gestaltung und Verteilung von Konstruktionsprozessen*. Berlin: Logos-Verlag.

Wilbers, K. (2009). Integrierte Unternehmenssoftware (ERP-Systeme) im kaufmännischen Unterricht. In H. Pongratz, T. Tramm & K. Wilbers (Hrsg.), *Prozessorientierte Wirtschaftsdidaktik und Einsatz von ERP-Systemen im kaufmännischen Unterricht* (Texte zur Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung, Bd. 4). Aachen: Shaker Verl.

Wilbers, K. (2019a). Kaufmännische Digitalkompetenzen als Ausgangspunkt der digitalen Transformation beruflicher Bildung. In K. Wilbers (Hrsg.), *Digitale Transformation kaufmännischer Bildung. Ausbildung in Industrie und Handel hinterfragt* (1. Auflage, S. 11–72). Berlin: epubli.

Wilbers, K. (2019b). *Wirtschaftsunterricht gestalten* (4. Auflage). Berlin: epubli.

Wilbers, K. (2020). *Wirtschaftsunterricht-gestalten. Lehrbuch* (5. Auflage). Berlin: epubli.

Windelband, L. (2020). Berufliche Handlungsfähigkeit in digitalisierten Arbeitsumgebungen verlangt Prozesskompetenz und neue didaktische Ansätze in der beruflichen Bildung. In T. Vollmer, T. Karges, T. Richter, B. Schlömer & S. Schütt-Sayed (Hrsg.), *Digitalisierung mit Arbeit und Berufsbildung nachhaltig gestalten* (Berufsbildung, Arbeit und Innovation, Band 55, S. 149–160). Bielefeld: wbv Media.

Zinke, G. (2019). *Berufsbildung 4.0 - Fachkräftequalifikationen und Kompetenzen für die digitalisierte Arbeit von morgen. Branchen- und Berufescreening: vergleichende Gesamtstudie* (Wissenschaftliche Diskussionspapiere, Heft 213, 1. Auflage). Bonn, Leverkusen: Bundesinstitut für Berufsbildung; Verlag Barbara Budrich.

II Strategien ausgewählter Bundesländer



Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording zum virtuellen Roundtable mit den Vertretern der Kultusministerien

Tobias Barthruff, Thomas Dorner, Raphael Hörner & Bernd Wiedmann

Die Strategie der Lernfabriken in Baden-Württemberg

Baden-Württemberg fördert umfassend den Ausbau von „Lernfabriken“ an beruflichen Schulen. Ziel ist es, die Auszubildenden an den Wandel der Anforderungen im Rahmen von Industrie 4.0 heranzuführen. Ein 4-Säulenkonzept sichert dabei die technische, fachdidaktische sowie die qualifikatorische Entwicklung an den Schulstandorten. Lernfabriken sind „vernetzte Anlagen“, 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. Je nach Anforderungsniveau der Ausbildungsberufe wird das Lernfabrik-Konzept in drei Stufen ausgearbeitet: Stufe 1 „Grundlagenausbildung“, Stufe 2 „Grundlagenlabor Industrie 4.0 - Cyber-Physical-Lab (CP-Lab)“, Stufe 3 „Komplexes Maschinensystem - Cyber-Physical-Factory (CPF)“.

Inhaltsverzeichnis

1 Einrichtung von Lernfabriken an beruflichen Schulen in Baden-Württemberg 85

2 Konzeption der Lernfabriken 88

3 Bildungspläne und Lernszenarios der Musterlösung Baden-Württemberg 89

4 Beschreibung der Lernszenarios 90

5 Modulstruktur der Lehrerfortbildung in Baden-Württemberg 92

6 Das Konzept der Musterlösung Baden-Württemberg 93

1 Einrichtung von Lernfabriken an beruflichen Schulen in Baden-Württemberg

Um die beruflichen Schulen auf Anforderungen im Bereich der Industrie 4.0 vorzubereiten, und das abstrakte Konzept von Industrie 4.0 für Auszubildende greifbar zu machen, haben sich Land, Schulträger und Wirtschaft in Baden-Württemberg zusammengeschlossen, um gemeinsam Lernfabriken finanziell gefördert aufzubauen. Durch die Lernfabriken werden die Auszubildenden strukturiert an den Wandel der Arbeitsbedingungen durch Industrie 4.0 herangeführt.

Das Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg hat nach einem Ausschreibungsverfahren im Jahr 2015 die Einrichtung von 15 Lernfabriken an beruflichen Schulen mit einer Summe in Höhe von 6,8 Mio. Euro gefördert. Im Laufe des Schuljahres 2017/2018 sind alle geförderten Lernfabriken in Betrieb gegangen.

Aufgrund der sehr guten Erfahrungen mit den Lernfabriken erfolgte durch eine erneute Ausschreibung vom Juni 2018 die Förderung von 21 weiteren Lernfabriken im Volumen von 4,86 Mio. Euro. Zusätzlich entstanden weitere Lernfabrikstandorte ohne Landesförderung. Bis zum Jahr 2021 werden so 43 Lernfabriken aufgebaut sein, an denen durch örtliche Kooperationen dann insgesamt 74 berufliche Schulen beteiligt sind. Dies entspricht rund 65 Prozent der öffentlichen beruflichen Schulen mit einem entsprechenden Angebot an Aus- und Weiterbildungsgängen in Metall- und Elektroberufen.

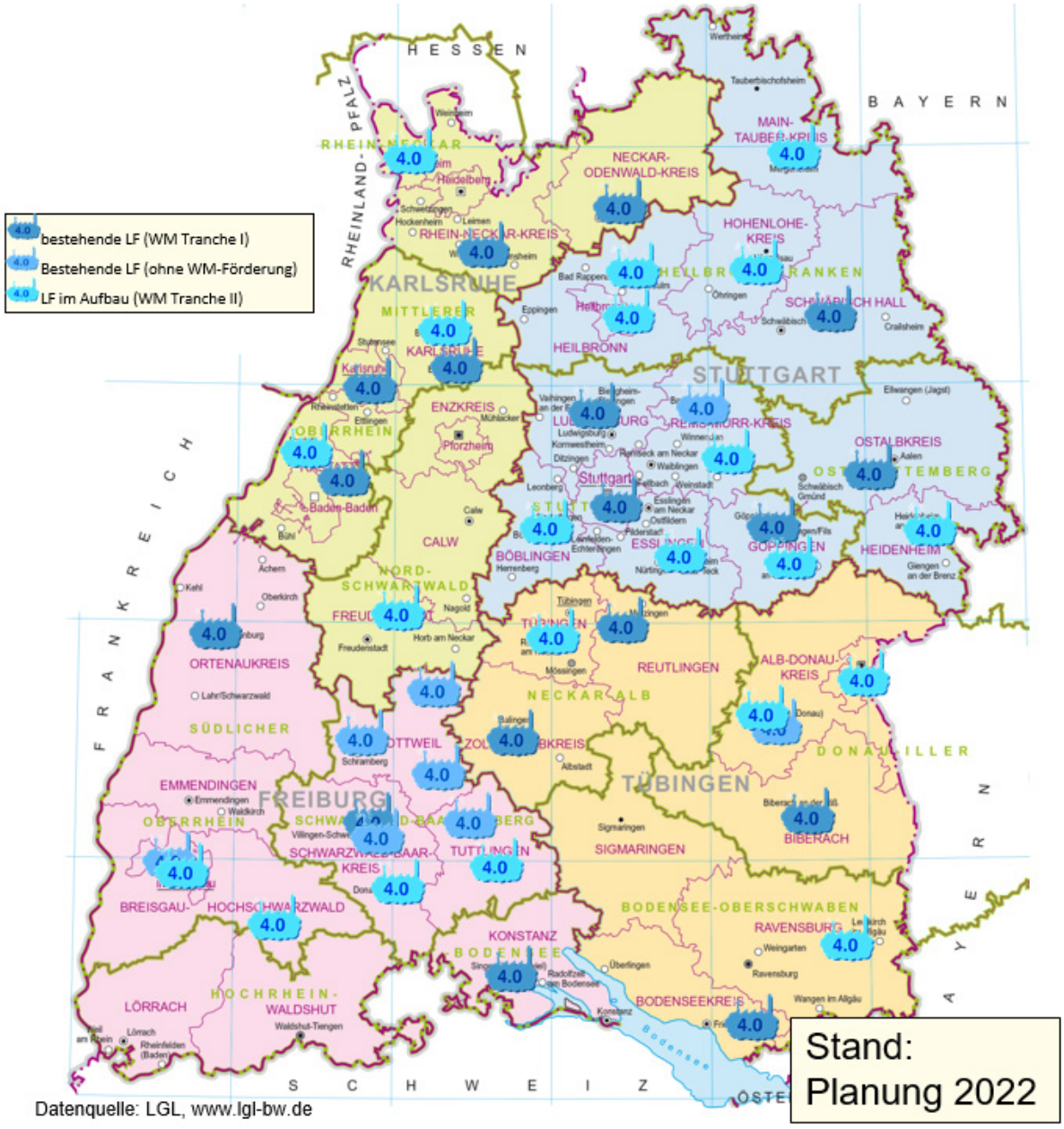


Abbildung 1: Standorte der Lernfabriken 4.0 in Baden-Württemberg

Für die beruflichen Schulen ergeben sich neben den pädagogischen und fachdidaktischen Herausforderungen bei der Umsetzung von „4.0“ auch Möglichkeiten, neue Formen der Lernortkooperation mit der lokalen Wirtschaft zu entwickeln und zu etablieren. Insofern wird sich auch die Rolle der Berufsschulen verändern; ihre Partnerschaft mit der Wirtschaft wird noch intensiver werden. Bereits bei der Bewerbung zur Förderung durch das Land mussten die Standorte unter anderem auch ein Konzept für ein Demonstrationszentrum für die mittelständische Industrie am Standort vorlegen. Das gesamte Thema Industrie 4.0 wird langfristig eine

zentrale Rolle in der Aus- und Weiterbildung spielen. Die vermittelten Kompetenzen und das Know-How der Aus- und Weiterbildungsleistung der beruflichen Schulen werden dabei nicht zuletzt auch den klein- und mittelständischen Betrieben zugutekommen.

Eine gute technische Ausstattung kann nur funktionieren, wenn die Lehrerinnen und Lehrer entsprechend qualifiziert sind. Daher hat das Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg eine Landesgruppe „smartBaWü“ eingerichtet, die den Technologieinput hin zu den beruflichen Schulen sowie die Lehrerfortbildung für die Bereiche Smart Mobility, Smart Home, Smart Factory und Smart Energy sicherstellt.

Dieses Konzept basiert auf 4 Säulen:

- Handreichung „Industrie 4.0 - Umsetzung im Unterricht“.
- Einrichtung des Landesfachteams „smartFactory“ zur Koordinierung der pädagogischen Arbeit und Beratung der Standorte - durch die Fachberater steht den Standorten bei Bedarf ein geeignetes Unterstützungssystem zur Verfügung.
- Erstellung und Bereitstellung von konkreten Unterrichtsbeispielen und Materialien zur Unterstützung der Umsetzung der 4.0-Inhalte an den Schulen.
- Einführung von Modulfortbildungen 4.0 - Für den neuen Themenkomplex Industrie 4.0 wurden neue Modulfortbildungen konzipiert. Diese werden seit dem Schuljahr 2017/18 landesweit angeboten. Sie orientieren sich an der landesweit einheitlichen „Musterlösung Smart Factory 4.0“ - einem durchgängigen Konzept durch Implementierung aller fachlichen Inhalte zu Industrie 4.0 an praxisnahen Beispielen, die auch an Schulen angewendet werden können, die keinen Zugang zu einer Lernfabrik besitzen. Eine Besonderheit der Modulfortbildungen ist, dass die Module gleichermaßen am Bedarf der Elektro-, Metall- und Informatiklehrkräfte ausgerichtet sind, und - ganz im Sinne des Industrie 4.0-Gedankens - nicht mehr nach den einzelnen Fachrichtungen unterschieden wird.

2 Konzeption der Lernfabriken

Bei den Lernfabriken handelt es sich um vernetzte Anlagen, in denen hochflexible, digital vernetzte Produktionsprozesse für die berufliche Aus- und Weiterbildung abgebildet sind. Sie dienen in erster Linie der Vorbereitung von Nachwuchs- und Fachkräften auf die Anforderungen der Industrie 4.0, indem sie Auszubildende sowie Teilnehmerinnen und Teilnehmer an Weiterbildungskursen an die Bedienung von Anlagen auf Basis realer Industriestandards heranführen. Die Lernfabriken ermöglichen, das abstrakte Konzept von Industrie 4.0 für Nachwuchs- und Fachkräfte greifbar zu machen.

Das in der Regel zweistufige Konzept der Lernfabriken gewährleistet in einem ersten Schritt eine didaktische Hinführung der Auszubildenden zu den neuen, digital gesteuerten Produktionstechnologien. Die eingesetzte Hard- und Software trägt in dieser Basisstufe noch den Anforderungen einer modellhaften Annäherung an die Praxis Rechnung. In der zweiten Stufe, einem verketteten Maschinensystem auf der Basis aktueller Industriestandards, haben die Auszubildenden die Möglichkeit, intelligente, vernetzte Produktionsprozesse kennenzulernen. Beispielsweise können sie die Bewegungen von Robotern selbstständig programmieren und das Zusammenspiel mit der vor- und nachgelagerten Fertigungslinie testen.

Damit bieten die Lernfabriken die Möglichkeit Lernende, aufbauend auf den klassischen Themen der Steuerungs- und Automatisierungstechnik, in die Industrie 4.0- Technologien einzuführen und sämtliche berufsrelevante Industrie 4.0-Inhalte gezielt zu behandeln.

Im Bereich des berufsfachlichen Kompetenzerwerbs der Berufsschule werden notwendige Anpassungen, beispielsweise in Bezug auf die Netzwerktechnik oder in Bezug auf das Energiemanagement, berufsspezifisch über das Fortbildungssystem der beruflichen Schulen erfasst und systematisch in den Berufsschulunterricht integriert.

3 Bildungspläne und Lernszenarios der Musterlösung Baden-Württemberg

Gleichzeitig mit der Einrichtung der ersten Lernfabriken im Jahr 2016 wurden die Bildungspläne in den relevanten M+E Berufen sowie den entsprechenden Fachschulen für Technik um Industrie 4.0 relevante Inhalte markiert bzw. ergänzt.

Das Konzept der Lernfabriken basiert auf sechs Szenarien, die in der Summe die Industrie 4.0-Philosophie abdecken. Diese Szenarien bilden den Ausgangspunkt der sogenannten Musterlösung Baden-Württemberg. Im Jahr 2016 wurde eine Handreichung für Lehrerinnen und Lehrer veröffentlicht, in der diese Musterlösung ausführlich beschrieben ist. Zugleich bildet sie die softwaretechnische Umsetzung der installierten Lernfabriken ab, basierend auf einer modularen serviceorientieren Architektur (SOA) in Verbindung mit einem Manufacturing Execution System (MES).

4 Beschreibung der Lernszenarios

Die sechs Lernszenarios decken folgende Themenbereiche ab:

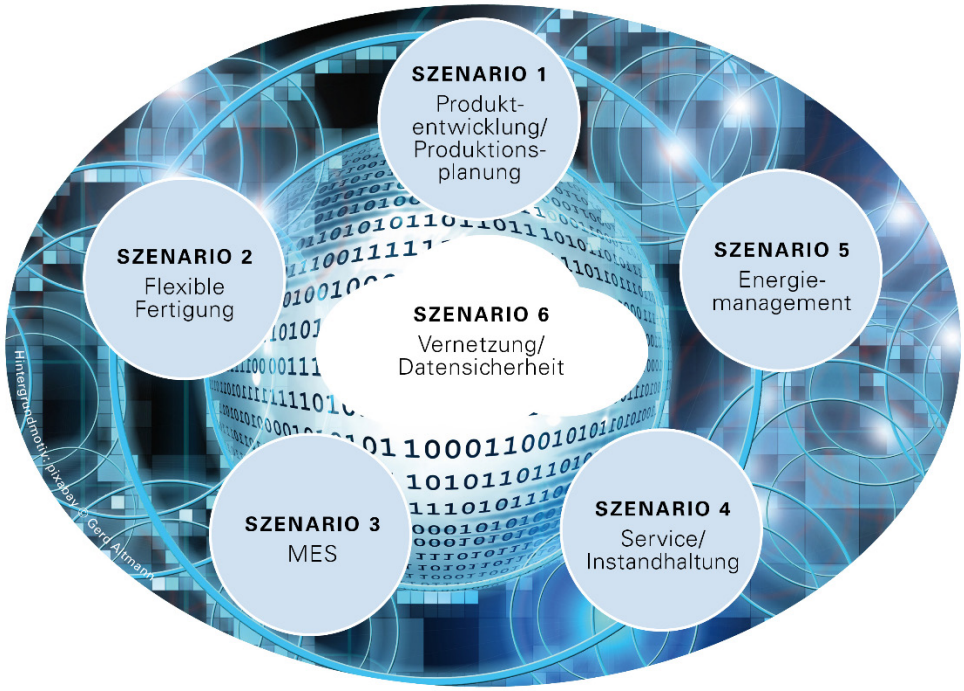


Abbildung 2: Die sechs Lernszenarios der Musterlösung Baden-Württemberg

SZENARIO 1: Produktentwicklung/Produktionsplanung

Produkt flexibel gestalten, flexible Fertigungsschritte planen und alternative Fertigungsverfahren mit in Betracht ziehen.

SZENARIO 2: Flexible Fertigung

Pädagogisch-didaktisch strukturierter Bogen von der klassischen Steuerungstechnik bis hin zu Vernetzung von Systemen nach dem Paradigma der serviceorientierten Architektur.

SZENARIO 3: Manufacturing Execution System (MES)

Beschreibung grundlegender Eigenschaften und Anforderungen an ein MES und Umsetzung an einem didaktisch reduzierten, eigens für die Musterlösung entwickelten „MES Basic“.

SZENARIO 4: Service und Instandhaltung

Zielgerichtete Auswertung, Darstellung und Strukturierung von generierten Instandhaltungsdaten im Rahmen eines Condition-Monitorings als Grundlage zur Umsetzung eines Instandhaltungsmanagements.

SZENARIO 5: Energiemanagement

Optimierung der Fertigung eines Produkts aus energietechnischer Sicht: Analyse von Leistungsdaten, Visualisierung und Umsetzung der Optimierung.

SZENARIO 6: Vernetzung/Datensicherheit

Vernetzung der notwendigen Komponenten der Cyber Physical Factory (CPF). Strategien für eine sichere Netzwerkarchitektur.

5 Modulstruktur der Lehrerfortbildung in Baden-Württemberg

Für die Fortbildung der Lehrer wurde ein modulares Konzept entwickelt, das auf den sechs Szenarien der Musterlösung basiert. In den vergangenen fünf Jahren haben bereits zahlreiche Lehrerinnen und Lehrer an den meist mehrtägigen Fortbildungsveranstaltungen teilgenommen.

SZENARIO 1 Produktionsplanung / -entwicklung	**SZENARIO 2** Flexible Fertigung	**SZENARIO 3** MES	**SZENARIO 4** Instandhaltung / Wartung	**SZENARIO 5** Energiemanagement	**SZENARIO 6** Vernetzung / Datensicherheit
Produktionsentwicklung und -planung Marktanalyse, PLM, Abläufe, Datenmanagement	**Entwicklung von SPS-Aktorbausteinen (digital twin) für cyber-physische Systeme**	**MES** Funktionen, Datenstrukturen, Umsetzung (Level 3 Musterlösung BW)	**Service und Instand-haltungsstrategien** Korrektive und vorbeugende Instandhaltung	**Smart Grid** Energie-Monitoring, Energieeffizienz und intelligentes Lastmanagement	**Grundlagen der Vernetzung einer CPF**
CAD Parametrische Datensätze	**Modulare SPS-Programmierung einer CPF** (Level 1 Musterlösung BW)	**Kommunikation MES↔SPS** OPC UA, TCP native, ODBC, …	**Condition-Monitoring** Generierung und Verwaltung von Prozessdaten		**Switching und VLANs in einer CPF**
Additive Manufacturing	**Identifikationssysteme** RFID, QR, NFC (Level 2 Musterlösung BW)	**MES Infrastruktur** Individuelle Fertigungsprozesse	**Statistische Auswertung und Darstellung von Prozessdaten**		
Vom ERP zum MES	**CAM** Parametrische CNC-Programmierung				
	Vernetzung CAD/CAM/CNC /CAQ mit intell. Werkzeug-verwaltung und Maschinen-Zustandsabfrage				
	Robotertechnik Kommunikation und Integration in eine CPF				

Abbildung 3: Das modulare Fortbildungskonzept für die Lernfabriken 4.0 entsprechend der Musterlösung BW (Stand 2020)

6 Das Konzept der Musterlösung Baden-Württemberg

Das durchgängige Konzept der Musterlösung mit sechs Szenarien implementiert alle im Kontext von Industrie 4.0 relevanten Fachinhalte an praxisnahen Lernsituationen.

Den Kern der Cyber Physical Factory (CPF) bilden hierbei flexibel kombinierbare Basismodule, auf die unterschiedliche Applikationsmodule aufgesetzt werden können. Durch die Anbindung der einzelnen Cyber Physical Module (CPM) an ein MES wird die flexible Fertigung abgebildet. Das einzelne CPM besitzt dabei eine eigene zentrale Intelligenz, die über eine SOA sowohl mit internen als auch externen Komponenten kommuniziert und interagiert.

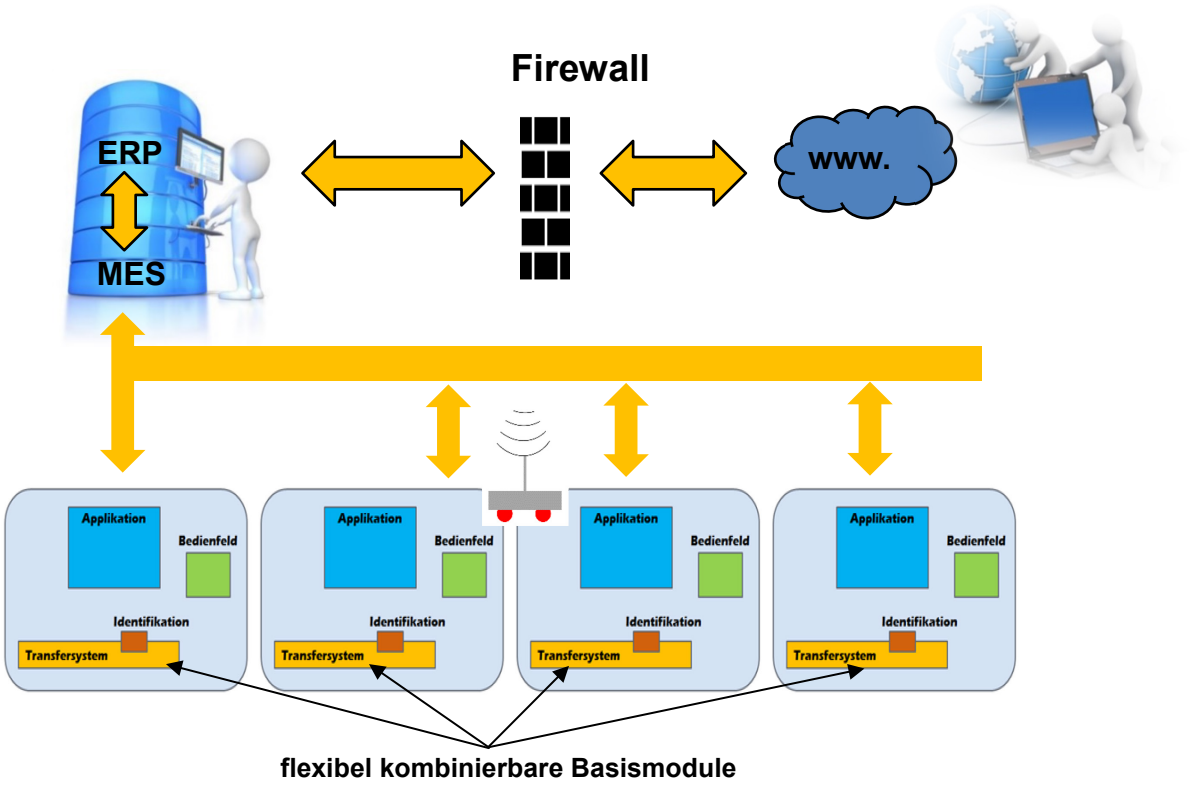


Abbildung 4: Basismodule der Cyber Physical Factory (CPF)

Die Umsetzung aller relevanten Themen zu Industrie 4.0 wird in einem dreistufigen pädagogischen Konzept auf dem lehrplanspezifischen Anforderungsniveau des jeweiligen Ausbildungsberufs in den sechs Lernszenarios realisiert.

In der **Stufe 1 „Grundlagenausbildung"** werden die Grundlagen der Steuerungs-, Regelungs- und Automatisierungstechnik an der vorhandenen Ausstattung wie Bandmodellen, pneumatische Laborplatten, Füllstandstrecke oder MPS-Stationen erlernt. Sämtliche Unterrichtsbeispiele werden auf den Focus Smart Factory angepasst.

Für die **Stufe 2 „Grundlagenlabor Industrie 4.0 - Cyber-Physical-Lab (CP-Lab)“** werden die Grundlagen um klassische Aspekte der Industrie 4.0 erweitert. Hierzu gehören u. a. die OUC-Vernetzung über Ethernet, Identifikationstechnologien wie RFID oder QR, OPC UA, SOA-Techniken und deren Kommunikationsarchitektur sowie die Anbindung an ein einfaches MES- und Datenbanksystem. Mittels CP-Lab werden auch die Szenarien „Flexible Fertigung", ,,MES/ERP", ,,Service und Instandhaltung", ,,Energiemanagement" und „Vernetzung und IT-Security" umgesetzt.

In der **Stufe 3 „Komplexes Maschinensystem - Cyber-Physical-Factory (CPF)“** erfolgt in der realen Industrie-4.0-Lernfabrik die ganzheitliche Anwendung und nachhaltige Vertiefung des zuvor Erlernten. Die Handhabung der Anlage durch ein modernes MES rundet den Gesamtprozess ab.

Über die drei Stufen aller Bildungsgänge hinweg wird Industrie 4.0 modular und objektorientiert vermittelt, um somit modulare und flexible Fertigungssysteme realisieren zu können. Dies beginnt bei einer modulorientierten Hardware und mündet in eine objektorientierte Softwarearchitektur. Durch diesen professionellen und zeitgemäßen Ansatz können die Lernfabriken in Baden-Württemberg jederzeit flexibel angepasst und auch für zukünftige Produkte und Technologien offengehalten werden.

Gerade der Einsatz der Grundlagenlabormodelle CP-Lab in der Stufe 2 im Laborunterricht bringt einen hohen Gewinn für die Schülerinnen und Schüler, da diese die Industrie 4.0 an einem einfachen und überschaubaren Modell kennenlernen können, ohne sich bei jedem neuen Unterrichtsthema komplett neu in eine andere Problemstellung einarbeiten zu müssen. Die modular aufeinander aufbauende Vorgehensweise im Unterricht mündet bis zum Ende der Ausbildung in einem Modell, das als umfassendes Cyber-Physisches-System arbeitet.

Werner Lucha & Andreas Weis

Digitale Transformation an berufsqualifizierenden Schulen in Bayern

Die digitale Transformation betrifft alle Menschen und alle Lebensbereiche, die Berufswelt von morgen ist eine digitale Berufswelt. Die Anforderungen moderner Berufe an die Fachkräfte steigen. Die Berufsbilder werden immer komplexer. Die beruflichen Schulen kontinuierlich auf Höhe der Zeit weiterzuentwickeln und junge Menschen während ihrer Ausbildung mit dem vertraut zu machen, was sie in ihrem späteren Beruf erwartet, ist daher ein Kernanliegen des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus. Dafür werden die entsprechenden Rahmenbedingungen geschaffen: Allen voran braucht es die Kompetenz der Lehrerinnen und Lehrer in den beruflichen Fachrichtungen. Weiterhin steht die Weiterentwicklung der Berufsprofile und damit der Unterrichtsinhalte auf der Agenda. Zudem muss die technische Ausstattung der Schulen den technischen Standards in Handwerk und Industrie entsprechen.

Inhaltsverzeichnis

1 Ausgangslage 97

2 Digitale Transformation als Lerngegenstand an berufsqualifizierenden Schulen ... 97

3 Digitale Transformation als Thema der Schulentwicklung in Bayern 98

3.1 Personalentwicklung 98

3.2 Unterrichtsentwicklung 100

3.3 Organisationsentwicklung 100

4 Resümee und Ausblick 104

Literaturverzeichnis 106

1 Ausgangslage

Die fortschreitende Digitalisierung bzw. die digitale Transformation hat in den vergangenen zwei Jahrzehnten in fast allen Bereichen des Lebens Einzug gehalten, ist zum festen Bestandteil unserer Lebens-, Berufs- und Arbeitswelt geworden und verändert diese Bereiche grundlegend. Gegenüber bisherigen großen Entwicklungen ist bei der Digitalisierung die Innovationsgeschwindigkeit extremer, die Breiten- und Tiefenwirkung intensiver sowie die systemische Auswirkung radikaler.

Die Digitalisierung ist kein Selbstzweck, sondern dient dem Menschen und muss seinem Menschsein gerecht werden. Damit negative Effekte ausgeschlossen werden und die Rechte des Einzelnen und der Gesellschaft angesichts der neuen Technologien im Bereich der Digitalisierung gewahrt bleiben, müssen ethische Maßstäbe auf diese übertragen werden. Es müssen Leitlinien für den Schutz des Einzelnen zur Wahrung des gesellschaftlichen Zusammenlebens und zur Sicherung und Förderung des Wohlstands für das IT-Zeitalter entwickelt werden.

2 Digitale Transformation als Lerngegenstand an berufsqualifizierenden Schulen

Digitale Technologien verändern als Arbeitsinstrumente berufliche Arbeits- und Geschäftsprozesse, z. T. sehr grundlegend. Die Basis der Veränderung stellen sogenannte cyber-physische Systeme dar. Dies sind komplexe, physische Produktions-Systeme, wie z. B. Fertigungseinrichtungen, die durch intelligente, autonome und dezentrale Steuerungen sowie einem hohen Vernetzungsgrad gekennzeichnet sind. Die Vernetzung findet lokal sowohl auf horizontaler (Vernetzung z. B. innerhalb der Produktionsebene) als auch vertikaler Ebene (Vernetzung z. B. zwischen Produktionsebene und Betriebsleitebenen), aber auch global über das Internet statt. Dort bilden sie das Internet der Dinge und Dienste. Im Zuge der Veränderung findet auch ein Paradigmenwechsel statt. Alle Phasen der Wertschöpfungskette eines Produktes werden eingeschlossen, von der Idee über die Entwicklung, Fertigung, Nutzung und Wartung bis zum Recycling. Das Produkt wird zu einer aktiven Systemkomponente.

3 Digitale Transformation als Thema der Schulentwicklung in Bayern

Die berufliche Bildung muss auf die beschriebene digitale Berufswelt, auf eine vernetzte Wirtschaft, auf die damit einhergehenden neuen Produkte und Produktmärkte, neuen Produktionsprozesse sowie neuen Vertriebskanäle vorbereiten und die zugrundeliegende Technik und zugrundeliegenden Prozesse an berufsqualifizierenden Schulen vermitteln. Lehrkräfte und Schulen müssen gewährleisten, dass die angehenden Fach- und Führungskräfte den veränderten Anforderungen und Kompetenzen gerecht werden können. An beruflichen Schulen bedarf es dafür eines qualifizierten Lehrpersonals, der neuen Technologien als Lerngegenstand und der entsprechend vorbereiteten Lernumgebung in den Unterrichtsräumen. Hierzu ist ein nachhaltiger und systematischer sowie mit den Instrumenten des Qualitätsmanagements an beruflichen Schulen sichergestellter qualitätsgeleiteter Schulentwicklungsprozess im Bereich des Personals, des Unterrichts und der Organisation Schule unerlässlich. Die Personalentwicklung, Unterrichtsentwicklung und Organisationsentwicklung bedürfen dabei der Gleichzeitigkeit.

3.1 Personalentwicklung

Neben der passgenauen Weiterentwicklung der anwendungsbezogenen und mediendidaktischen Kompetenzen aller Lehrkräfte durch Fortbildungslehrgänge auf allen Ebenen der Lehrerbildung, zentral, regional sowie schulintern, steht für an berufsqualifizierenden Schulen unterrichtende Lehrkräfte zusätzlich die Sicherstellung der berufsfachlichen digitalen Kompetenzen im Fokus.

Von der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung Dillingen (ALP) wurde gemeinsam mit dem Staatsministerium die Fortbildungsinitiative „Digitale Transformation/Wirtschaft 4.0“ im fachdidaktischen Bereich erarbeitet und aufgesetzt, welche stetig fortgeschrieben und erweitert wird. Die Fortbildungsmodule der Initiative werden im engen Schulterschluss mit externen Partnern, die Maßstäbe bei der digitalen Transformation setzen und Orientierung bieten, und durch Arbeitskreismitgliedern der ALP und des Staatsinstituts für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) entwickelt. Eine langfristige Planung von Personal- und Unterrichtsentwicklung an den Schulen wird durch die Kontinuität der Fortbildungsinitiative unterstützt. Verschiedene Fortbildungsformate (Präsenz- und Onlineveranstaltungen) und die Verzahnung der Fortbildungsebenen unterstützen eine in der Fläche bedarfsgerechte Wirksamkeit.

Der inhaltliche Fokus lag zu Beginn der Initiative auf den industriellen Bereichen und den Berufsfeldern Metall-, Elektrotechnik und Informationstechnik. Die Weiterentwicklung schließt weitere Anwendungsbereiche cyber-physischer Systeme ein.

Der Anspruch der Digitale Transformation an die Berufsqualifizierung, interdisziplinäres Denken und Handeln zu fördern, wird in Struktur des modular aufgebauten Fortbildungsangebots berücksichtigt. Vor allem die Module der oberen Ebenen sind tendenziell berufsfeldunabhängig. Das modulare Angebot ist horizontal in die Wissensgebiete (Fachbereiche) – derzeit Datenkommunikation, Aktuatoren/Sensoren, Planung/Fertigung, Steuerung/Regelung, Robotik, Energieversorgung/Energieeffizienz und Smart Living/Smart Home eines CPS – gegliedert. Die Module eines Fachbereichs sind so gegliedert, dass sie eine vertikale Progression aufweisen, wie zum Beispiel zunehmender Innovationsgrad digitaler Technologien, von berufsfeldübergreifend zu berufsspezifisch sowie zunehmendes Anforderungsniveau.

Fachbereichsübergreifende Module fokussieren das gesamte IoT-System/CPS als zentralen Lehr- und Lerngegenstand und fassen die einzelnen Wissensgebiete wieder zusammen, um das Prozessverständnis zu fördern.

Die einzelnen Fortbildungsmodule werden im Sinne der Qualitätssicherung in einer definierten Vorgehensweise entwickelt. Erst wenn der Entwicklungsprozess abgeschlossen ist, steht das einzelne Modul für die Lehrerfortbildung als Lehrgangsangebot zur Verfügung. Angepasst an die Herausforderungen ausgewählter Kompetenzzentren und Fachsprengel werden die Fortbildungsmodule in Arbeitskreisen der ALP geplant und definiert. Mit diesen Schulstandorten geht die ALP eine Partnerschaft ein, um die Schul- und Unterrichtsentwicklung gemeinsam voranzutreiben. Im Netzwerk dieser Partnerschulen und in einer gebündelten Kooperation der staatlichen Lehrerfortbildung mit externen Partnern, z. B. aus Industrie, Handwerk und Berufsforschung, ermöglicht die ALP berufsqualifizierenden Schulen Unterstützung und Teilhabe, damit diese den aktuellen Bedarfen in der beruflichen Bildung gerecht werden können.

Eine Teilhabe interessierter Schulen am Partnerschulkonzept und Entwicklungsprozess der ALP ist offen, basiert auf einem kontinuierlich vereinbarten und gepflegten Kooperationsgedanken und ist jederzeit möglich.

Die Fortbildungsinitiative, inklusive der aktuellen Angebote und Entwicklungsarbeit, ist auf der Homepage der ALP dargestellt.[1]

[1] Link zur Fortbildungsinitiative der ALP: https://links.alp.dillingen.de/iot

Neben diesem Angebot der zentralen Lehrerfortbildung finden auf schulinterner und regionaler Ebene vielfältige berufsspezifische Fortbildungsmaßnahmen bedarfsorientiert statt. Dabei werden u. a. Spezialbedarfe einzelner berufsqualifizierender Schulen im fachdidaktischen Bereich, die nicht zentral oder regional durch Fortbildungsangebote der Initiative „Digitale Transformation/Wirtschaft 4.0“ bedient werden können und die sich im Zuge der digitalen Transformation bei der Aus- und Weiterbildung ergeben, ebenfalls durch die ALP unterstützt.

Weiterhin hat das Staatsministerium mit Firmen und Branchenverbänden bzw. Stiftungen Kooperationsvereinbarungen geschlossen, in deren Kern der Wissens- und Technologietransfer durch berufsspezifische Fortbildungslehrgänge (Herstellerschulungen) für Lehrkräfte stehen.

3.2 Unterrichtsentwicklung

Die Fortbildungsinitiative „Digitale Transformation/Wirtschaft 4.0“ der ALP läuft Hand in Hand mit hierfür am ISB eingerichteten Arbeitskreisen unter Einbezug von Experten aus Wissenschaft und Forschung sowie Vertretern der Wirtschaft. Aufgabe dieser Arbeitskreise ist u. a. die Analyse der einschlägigen curricularen Vorgaben von Berufen zur Identifikation von Andockstellen für die neuen Technologieansätze. Mittlerweile wurden mehrere unterstützende Materialien, z. B. Handreichungen und illustrierende Beispiele, durch das Staatsinstitut mit der Intention erarbeitet, die komplexe Thematik „Wirtschaft 4.0“ für Lehrkräfte an beruflichen Schulen greif- und nutzbar zu machen. Die Publikationen stehen den Lehrkräften an beruflichen Schulen auf der Homepage des Instituts zum Download zur Verfügung.

Auf Bundesebene werden die Inhalte der Rahmenlehrpläne durch das dafür vorgesehene Verfahren, einem mehrstufigen Prozess, in dem die an der beruflichen Bildung Beteiligten – Arbeitgeber, Gewerkschaften, Bund und Länder – mitwirken, aktualisiert. Daneben werden die Lehrplaninhalte der Bildungsangebote der Berufsfachschulen, Fachschulen und Fachakademien durch das ISB kontinuierlich aktualisiert und dabei die Thematik „Digitale Transformation“ integriert.

3.3 Organisationsentwicklung

Im Rahmen der digitalen Transformation an berufsqualifizierenden Schulen ist es unerlässlich, dass die technische Werkstattausstattung je nach Ausbildungsberuf kontinuierlich dem Stand

der Technik im Handwerk bzw. an reale Industriestandards angepasst wird. Ebenso sind Lernumgebungen wie integrierte Fachunterrichtsräume immer wieder an die Erfordernisse der Digitalisierung anzupassen und digitale Klassenzimmer einzurichten.

Die Finanzierung öffentlicher Schulen in Bayern ist dabei geprägt durch den Grundsatz, dass Staat und kommunale Körperschaften beim Betrieb und der Unterhaltung der Schulen zusammenwirken (siehe Art. 133 Abs. 1 Satz 2 Bayerische Verfassung). In diesem Sinne kommen an öffentlichen beruflichen Schulen gemäß Aufgabenfestschreibung im Bayerisches Schulfinanzierungsgesetz für den Schulaufwand die zuständigen kommunalen Körperschaften auf. Darunter fallen auch die Beschaffung, Bereitstellung, Einrichtung und Ausstattung der Schulanlagen einschließlich der für die Berufsausbildung erforderlichen IT-Ausstattung und IT-Infrastruktur an berufsqualifizierenden Schulen.

Der Freistaat Bayern und die Bundesregierung haben sich zur gesamtgesellschaftlichen Herausforderung der fortschreitenden Digitalisierung aller Lebensbereiche bekannt, die auch eine große strukturelle und damit finanzielle Herausforderung für die Schulaufwandsträger in der Weiterentwicklung der schulischen Rahmenbedingungen bedeutet. Der Freistaat und der Bund unterstützen daher unbeschadet des Schulfinanzierungsgesetzes substantiell die bayerischen Schulaufwandsträger bei ihren Investitionen in die digitale Bildungsinfrastruktur mit mehreren Landesförderprogrammen – „Industrie 4.0“ und „Exzellenzzentren an Berufsschulen“, jeweils nur für Berufsschulen sowie „Digitalbudget für das digitale Klassenzimmer“ und „Budget für integrierte Fachunterrichtsräume an berufsqualifizierenden Schulen“ im Rahmen des Masterplans BAYERN DIGITAL II – und einem Bundesförderprogramm – „digitale Bildungsinfrastruktur an bayerischen Schulen“ mit der Ergänzung „Sonderbudget Leihgeräte“ als Umsetzung der Verwaltungsvereinbarung „DigitalPakt Schule 2019 bis 2024“ des Bundes mit den Ländern – mit rund 1 Milliarde Euro für allgemeinbildende und berufsbildende Schulen (rd. 25 %) in Bayern.

Dabei ist es dem Bayerischen Staatsministerium besonders wichtig, dass die Schulen und die Schulaufwandsträger flexibel auf die Rahmenbedingungen vor Ort reagieren können. Innerhalb der bereitgestellten Höchstbeträge bzw. Budgets und der Festlegung der förderfähigen Investitionsmaßnahmen einschließlich der einzuhaltenden Auflagen, z. B. technische Mindestkriterien, in den Förderrichtlinien agieren die Schulaufwandsträger maximal frei. Dies ermöglicht ihnen, die in den Ausstattungsplänen der Schulen verankerten IT-Bedarfe zur Umsetzung der pädagogisch-didaktischen Schwerpunktsetzungen im schulischen Mediencurriculum ziel-

gerichtet und passgenau umzusetzen. Eine Standardisierung von IT-Ausstattung kommt aufgrund der Heterogenität der Ausgangssituationen und der schulart- und schulbezogene Bedürfnisse nicht in Betracht.

Dies betrifft in besonderer Weise die beruflichen Schulen mit Blick auf die hohe Vielfalt der Berufsfelder und Ausbildungsberufe mit hochspezifischen und sich dynamisch verändernden Anforderungen. Deshalb legen die Landesprogramme und der „DigitalPakt Schule“ in Bayern einen besonderen Fokus auf eine moderne Ausstattung an den beruflichen Schulen, hier insbesondere auf integrierte Fachunterrichtsräume an berufsqualifizierenden Schulen. Integrierte Fachunterrichtsräume sind Klassenräume mit einer berufsspezifischen hard- und softwaretechnischen IT-Ausstattung bzw. es sind Theorie- und Praxisbereiche für Schülerinnen und Schüler mit experimentellen Einrichtungen, technischen hochwertigen digitalen Arbeitsmaschinen oder Arbeitsgeräten verbunden. Als Ausstattungsbeispiele können exemplarisch Arbeitsplatzrechner mit berufsspezifischer Software wie CAD-Programmen, programmierbare Steuerungen, CNC-Maschinen, Diagnose- und Messgeräte, Versuchsanlagen (industrielle Kompaktanlagen, cyber-physische Systeme), Laborgeräte, Steuermodule usw. genannt werden. Mit diesen investiven Maßnahmen wird die zweckmäßige und zielführende Intention verfolgt, dass die geförderte IT-Ausstattung bedarfsgerecht und modular erweiterbar ist und sich dementsprechend berufsspezifisch darstellt und gegenüber zukünftigen technischen Entwicklungen als kompatibel erweist.

Weitere durch die Förderprogramme unterstützte Investitionsmaßnahmen in die digitale Bildungsinfrastruktur betreffen die digitale Vernetzung in Schulgebäuden, Schulserver, schulische WLAN-Infrastruktur, digitale Lehr-Lern-Infrastrukturen, Anzeige- und Interaktionsgeräte, und schulgebundene mobile Endgeräte. Damit können digitale Klassenzimmer etabliert werden. Unter einem digitalen Klassenzimmer wird ein Unterrichtsraum verstanden, der mit einer digitalen interaktiven Tafel bzw. einem (interaktiven) Beamer-System, einem Computer bzw. Laptop, einer Dokumentenkamera und einem Klassensatz mobiler Endgeräte ausgestattet und an das Schulnetz sowie das Internet angebunden ist.

Beispielhaft soll an dieser Stelle vertieft auf die beiden ersten Landesförderprogramme „Industrie 4.0“ und „Exzellenzzentren an Berufsschulen“ eingegangen werden. Für Bayern mit einem vergleichsweise hohen Anteil fertigungstechnischer Wertschöpfung ist es wichtig, dass die Umstellung der Unternehmen auf „Industrie 4.0“ gelingt. In diesem Zusammenhang ist ein optimales Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation Grundvoraussetzung für

eine erfolgreiche Einführung neuer, digital vernetzter Prozesse. Dadurch kann die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen mit ihren Zulieferbetrieben gesichert werden. Die inhaltliche Auseinandersetzung mit den zugrundeliegenden Technologien von „Industrie 4.0“ und deren Einfluss auf die beruflichen Tätigkeiten sind damit von zentraler Bedeutung für den Bildungsauftrag der Berufsschule.

Beim Pilotprojekt „Industrie 4.0“ wurde der Fokus deshalb bewusst auf die berufliche Erstausbildung in der Fläche und damit auf die zukünftigen Fach- und Nachwuchskräfte gelegt. Das Staatsministerium gewährte in diesem Kontext im Rahmen des Projekts „Industrie 4.0“ für die Jahre 2017 und 2018 jeweils 1 Million Euro an Zuwendungen zur Anpassung der technischen Ausstattung der Berufsschulen an reale Industriestandards. Die Anpassung der Anlagen dient dazu, die Fach- und Nachwuchskräfte im Rahmen einer praxisnahen Ausbildung auf die Anforderungen von „Industrie 4.0“ vorzubereiten. Basierend auf den klassischen Ausbildungsinhalten der Mechatronik sowie Steuerungs- und Automatisierungstechnik wurde die Beschaffung technischer Anlagen – ausgehend vom Projektarbeitsplatz Industrie 4.0 über das Cyber-Physische Labor bis hin zur umfassenden Cyber-Physischen Fabrik, einschließlich standardisierter und mobiler Fabrikmodule – gefördert. Ebenso förderfähig waren für die Anlagen notwendige IT-Systeme und Software zur didaktischen Umsetzung. Die Berufsschulen mussten sich für eine Förderung mit einem individuellen Umsetzungskonzept bewerben. Dabei war auch auf eine gemeinsame Nutzung der Ausstattung durch angegliederte Berufsfachschulen und Fachschulen, auf die fachbereichsübergreifende Zusammenarbeit zur Abbildung kompletter Prozessketten sowie auf die Mitwirkung auf den Ebenen der Lehrerfortbildung einzugehen. Die Zuwendung des Freistaates Bayern konnte bis zu 50 % der förderfähigen Gesamtausgaben betragen, höchstens jedoch 112.500 Euro. Mit diesem Förderprogramm konnten in einem ersten Schritt 17 öffentliche Berufsschulen in Bayern gefördert werden.

Das erfolgreiche Pilotprojekt „Industrie 4.0“ wurde mit dem Förderprogramm „Exzellenzzentren an Berufsschulen“ im Rahmen des „Pakts für Berufliche Bildung – Aus- und Weiterbildung“ vom Juli 2017 fortgeschrieben. Das Staatsministerium gewährte nach Maßgabe der Richtlinie vom April 2018 für das Jahr 2018 5,0 Millionen Euro an Zuwendungen zur Anpassung der technischen Ausstattung der Berufsschulen an reale Industriestandards (s. o.). Mit diesem Förderprogramm konnten weitere 43 öffentliche Berufsschulen in Bayern gefördert werden.

Mit diesen beiden ersten Landesförderprogrammen für Berufsschulen standen bayernweit rund 14 Millionen Euro für die technische Ausstattung der geförderten Schulen zur Verfügung.

Die staatliche Seite übernimmt mit den Landesförderprogrammen und dem Bundesförderprogramm aktuell einen gewichtigen Finanzierungsanteil und setzt einen starken Innovationsimpuls im gemeinsamen Interesse an guten Rahmenbedingungen für eine Berufsausbildung, die der rasanten digitalen Entwicklung in den jeweiligen Ausbildungsberufen Rechnung trägt.

4 Resümee und Ausblick

Wegen ihrer Nähe zum Beschäftigungssystem und als Partner in der Berufsausbildung sind die berufsqualifizierenden Schulen vom technologischen und wirtschaftlichen Wandel durch die Digitalisierung besonders und in unmittelbarer Art und Weise berührt. „Mehr noch als andere Bildungsbereiche steht die Berufsbildung vor der Herausforderung auf eine Zukunft vorzubereiten, die heute bestenfalls konturenhaft erkennbar ist“ (Euler & Wilbers, 2018). Für die berufliche Bildung stellt sich auch im Weiteren insbesondere die Frage, wie sich die Digitalisierung auf die Arbeitsplätze, auf die Beschäftigung und damit auf die zukünftig erforderlichen Qualifikationen auswirkt und welche Rahmenbedingungen Schulen benötigen. „Die aktuellen Entwicklungen in der Digitalisierung verändern diesen Sachverhalt nicht grundsätzlich, schaffen jedoch mit der immanenten Innovationsrasanz einen deutlich wahrnehmbaren Beschleunigungsdruck“ (Euler & Wilbers, 2018).

Unsere Schulen haben die Aufgabe, junge Menschen fit für die Zukunft, fit für ihre Zukunft zu machen, und das heißt: sie fit zu machen für eine aktive Teilhabe an der Gesellschaft und einer Arbeitswelt, die zunehmend digitaler wird.

Es darf nicht nur die Technik im Mittelpunkt stehen, sondern der Mensch muss im Mittelpunkt der digitalen Transformation stehen. Bildung in der digitalen Transformation bedeutet mehr denn je ein reflektiertes Welt- und Selbstbild aufzubauen und Verkürzungen einer allgegenwärtigen Sozialvermessung entgegenzutreten. „Nicht nur das Zählen, sondern auch das Erzählen, nicht nur das Messen, sondern auch das Ermessen, das angemessene Urteil und das rechte Maß sind von grundlegender Bedeutung […]“ (Gapski, 2019). Fähigkeiten, kritisch-diskursiv zu denken und das Ergebnis kritisch-diskursiven Denkens in Sprache zu fassen, nehmen eine herausgehobene Stellung im Bündel zukünftiger Bildungsziele ein. Der Mensch kann so als souveräne, freie und verantwortungsvolle Person seine Fähigkeiten und innere Berufung entfalten. So bleibt der Mensch der maßgebliche Motor für die kreative und verantwortungsvolle Gestaltung und Entwicklung der Digitalisierung.

Dieser Aufgabe und diesem Bildungsauftrag stellen sich alle beruflichen Schulen in Bayern mit großem Engagement.

Literaturverzeichnis

Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung. Fortbildungsinitiative Digitale Transformation / Wirtschaft 4.0, abrufbar unter https://links.alp.dillingen.de/iot (06.10.2020).

Euler D., Wilbers K. (2018). Berufsbildung in digitalen Lernumgebungen. In: Arnold R., Lipsmeier A., Rohs M. (Hrsg.) Handbuch Berufsbildung. Springer VS, Wiesbaden.

Gapski, H. (2019). Mehr als Digitalkompetenz. Bildung und Big Data. In: Aus Politik und Zeitgeschichte APuZ 27-28 / 2019, S. 26.

Cornelia Frerichs

Lernfabriken: Die Umsetzungs-Strategie in Niedersachsen

In Niedersachsen ist im Zuge der Auseinandersetzung mit der Thematik der Digitalisierung in der Arbeitswelt die Idee der Smart factories (Lernfabriken) für den berufsbildenden Bereich im Zusammenwirken des Niedersächsischen Kultusministeriums und des Niedersächsischen Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung frühzeitig aufgegriffen und in strategisches Handeln umgesetzt worden. Die erfahrungsbasierte Auseinandersetzung mit der Thematik Industrie 4.0, Wirtschaft 4.0, Lernen 4.0 und Arbeiten 4.0 ist insbesondere für eine moderne (duale) Berufsausbildung und -weiterbildung unerlässlich. Das bildungspolitische Vorhaben zielte ganz bewusst von Anfang an auf Interdisziplinarität der gewerblich-technischen und kaufmännischen Bereiche ab. Es werden aus ministerieller Sicht beispielhafte Einblicke gegeben in die Ziele und strategischen Steuerungsüberlegungen der Ausgangssituation und daraus abgeleitet in die Planungs- und Umsetzungsbedingungen für die modellhaften sechs Smart factory-Standorte sowie für die Verbreitung über ein Lehr-/Lernmodell. Anschließend werden die Erfahrungen während der laufenden Projektvorhaben einschließlich Vernetzung und Transfer aufgezeigt. In einer Schlussbetrachtung werden auf dieser Basis beispielhaft Konsequenzen für die Weiterarbeit gezogen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung - Ausgangslage 109

2 Steuerungsüberlegungen 110

2.1 Ziele 110

2.2 Planungsüberlegungen 111

3 Projektdurchführung 111

4 Fazit und Ausblick 113

Literaturverzeichnis 115

1 Einführung - Ausgangslage

Die 4.0-Thematik verändert nicht nur Branchen und betriebliche Wirkungsweisen in struktureller und prozessualer Hinsicht, sondern auch die berufliche Erstausbildung sowie die Fort- und Weiterbildungen.

Um die berufsbildenden Schulen (BBS) als moderne duale Ausbildungspartner fit zu machen für Industrie 4.0/Wirtschaft 4.0 ist über die Fachreferate des Niedersächsischen Kultusministeriums 2015 das Potenzial für den berufsbildenden Bereich ausgelotet worden, sich die neuen Möglichkeiten durch Industrie 4.0 mit verschiedenen Akteuren pionierhaft zu erschließen. Ziel war es, sich rechtzeitig auf die rasanten Entwicklungen auf der betrieblichen Ebene einzustellen und pädagogische Zugänge zur Bewältigung der 4.0 -Thematik zu finden.

Aus-, Fort- und Weiterbildungen sind von eminenter Bedeutung, damit im Kontext der 4.0-Entwicklungen darüber auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) profitieren.

In Niedersachsen wurden ab 2016 erhebliche Landesmittel zur Förderung von regionalen Projekten/Lernortkooperationen durch das Niedersächsische Kultusministerium (MK) und das Niedersächsische Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung (MW) zur Förderung der Digitalisierung in der Arbeitswelt, insbesondere im Kontext „Industrie 4.0/Wirtschaft 4.0/Lernen und Arbeiten 4.0“ an berufsbildenden Schulen, genutzt.

An sechs Standorten in Niedersachsen wurden an insgesamt 11 berufsbildenden Schulen pionierhaft sog. Smart factories als dezentrale Lernfabriken (Lernwerkstätten) aufgebaut, in denen unterschiedliche Beispielprodukte von der Taschenlampe bis zum Fahrradcomputer erstellt werden (vgl. NLQ, 2020). Zuerst ging das Projekt Industrie 4.0 / Wirtschaft 4.0 mit den Standorten Emden, Neustadt am Rübenberge, Goslar und Osnabrück an den Start. Dann folgte das Projekt Lernen und Arbeiten 4.0 mit den Standorten Lüneburg und Wolfsburg. Beide Projekte wurden finanziert aus Mitteln des MW, die Gesamtfördersumme betrug 1,5 Millionen Euro. Dabei waren zehn Prozent über die Schulträger zu finanzieren.

2 Steuerungsüberlegungen

2.1 Ziele

Mit Lernfabriken wird das Ziel verfolgt, das Lernen in und am Modell (einer Smart factory) zu fördern, und den Auszubildenden in bestimmten gewerblichen und kaufmännischen Berufen auf der Basis der bestehenden Curricula über den Ansatz der Interdisziplinarität das Thema „4.0“ mit seinen Grundzusammenhängen und Prozessen zu erschließen.

Die Schülerinnen und Schüler der beruflichen Erstausbildung sollen die Möglichkeit erhalten, interdisziplinäre Kompetenzen in vernetzten gewerblich-technischen und kaufmännischen Arbeits- und Geschäftsprozessen exemplarisch an einer Smart factory zu erwerben. Diese Ausrichtung trägt zur Stärkung der dualen Berufsausbildung in gewerblichen und kaufmännischen Berufen bei und unterstützt damit in Niedersachsen die Anliegen des Bündnisses für duale Berufsausbildung. Vom Lernen in und am Modell der Smart factory profitieren zudem viele Bildungsgänge in einer berufsbildenden Schule. Potenzial wird bei den studienvorbereitenden Bildungsgängen sowie beispielsweise in der weiterbildenden Schulform Fachschule gesehen.

Dabei wird beispielsweise die Produktion an der gewerblich-technischen berufsbildenden Schule angesiedelt; die kaufmännischen berufsbildenden Schulen simulieren den Geschäftsprozess mit einer Enterprise Resource Planning (ERP) Software. Bei den Pilotprojekten galt es, moderne Unterrichtskonzepte und Lernsituationen zu entwickeln sowie zu erproben. Bereits bei den Beschaffungsüberlegungen waren technische und pädagogischen Überlegungen miteinander zu verbinden. Zudem ist der Transfer der gewonnenen Erfahrungen von Anfang an mitgedacht worden, damit früh die Möglichkeiten für Partizipation geschaffen werden. Die Projektschulen sollten auch andere Standorte, die beabsichtigten Smart factories aufzubauen oder Teile zu beschaffen, beraten. Es galt bewusst einen neuen integrativen Weg zu gehen. Über die gemeinsame Erarbeitung sollten die beiden bisher überwiegend isoliert agierenden Berufsbereiche - gewerblich-technisch und kaufmännisch - zu neuen Einsichten kommen und auf diese Weise das gegenseitige Verständnis aufbauen und vertiefen, auch bei Schülerinnen und Schülern.

2.2 Planungsüberlegungen

Neben Informationsveranstaltungen mit allen relevanten Akteuren und interministeriellen Fachgesprächen, war im Rahmen des Beteiligungsverfahrens das Aufstellen und Schließen einer Finanzierungsvereinbarung zwischen den Ministerien sowie die Erarbeitung von Fördergrundsätzen erforderlich. Diese enthielten die Kriterien und Vorgaben zur Ausstattung und deren Verwendung. Die Schulträger stellten unter Mitwirkung der BBS sowie unter Einbindung der Niedersächsischen Landesschulbehörde sowie Fachberatung und Fachleitung Anträge zur Beschaffung der Komponenten für eine Smart factory. Aufgrund des Pilotcharakters wurde MK im Sinne einer Rückkopplung eng eingebunden. Bei den unter dem Motto „BBS fit für 4.0“ gestarteten Vorhaben hat das MK dazu den teilnehmenden berufsbildenden Schulen Anrechnungsstunden für das Innovationsvorhaben gewährt, um die technischen Aspekte mit dem Pädagogischen zusammenzudenken. Die Schulen waren gehalten, sich regelmäßig auszutauschen und sich Rat zu holen bei einer eingerichteten Expertengruppe, bestehend aus Fachberatung und Fachleitung verschiedener Berufsbereiche. Es war uns wichtig, über die Fachleitung einen Verbindungsansatz auch zur Lehrkräfteausbildung der Studienseminare zu schaffen. Die Projektschulen hatten Lernsituationen verschiedener Kategorien auf der Basis bestehender Curricula zu konzipieren, die eine gewerblich-technische Ausrichtung, eine kaufmännische Ausrichtung und auch den Aspekt des interdisziplinären Zusammenarbeitens beinhalten sollten. Lernsituationen sind im berufsbezogenen und im berufsübergreifenden Lernbereich das zentrale Element didaktisch-methodischer Planung. Den Mittelpunkt einer Lernsituation bildet die Handlungssituation. Sie initiiert und trägt einen komplexen Lern- und Arbeitsprozess (vgl. Niedersächsisches Kultusministerium, 2020). Zur Mitte der Projektlaufzeit und am Ende sollte im Rahmen von Fachtagungen über den Entwicklungsstand nebst Ausblick informiert werden. Zum Transfer wurden vom Land initiierte Fortbildungen von Anfang an eingeplant.

3 Projektdurchführung

Während des Projektes war der regelmäßige Austausch der Lehrkräfte und die Erarbeitung von Lernsituationen gemäß aktueller Curricula ein wichtiger Arbeitsbereich. Alle Projektvorhaben mussten verlängert werden, da sich die Beschaffung der Smart factory-Komponenten durch lange Lieferfristen deutlich länger als erwartet hinzog. Die beiden später hinzugekommenen Standorte, die den Betrachtungsaspekt „Lernen und Arbeiten 4.0“ zu bearbeiten hatten,

partizipierten von den bisherigen Erfahrungen der vier Standorte und brachten sich bei der Lernsituationsentwicklung ein. Teilweise waren auch Umbauarbeiten an den Schulstandorten erforderlich. Umfassende ERP-Schulungen waren außerdem notwendig. Informationen zu BBS fit für 4.0 wurden konsequent auf dem Niedersächsischen Bildungsserver (NiBiS) und einem entsprechenden Newsletter veröffentlicht. Es wurden und werden seitens des Landes parallel und kontinuierlich Fortbildungsmittel für den Transfer der 4.0-Thematik zur Verfügung gestellt. Am Standort Osnabrück wurden beispielsweise in Zusammenarbeit mit der Industrie- und Handelskammer Fortbildungen angeboten. Als ein weiteres Beispiel ist am Standort Neustadt am Rübenberge die Konzipierung eines Roboterführerscheins auch für den Bereich der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von KMU zu nennen.

Im Rahmen der Projektdurchführung ist über die Fachberatung zusätzlich die Idee eines Lernträgers 4.0 entstanden, um eine Smart factory „im Kleinen“ abzubilden, da unter finanziellen Gesichtspunkten nicht jeder Schulstandort eine Smart factory einrichten kann. Der Transfer der gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen wurde somit durch ein weiteres Projekt beschleunigt, das die Förderung eines speziell entwickelten Smart factory Unterrichtsmodells an weiteren 23 berufsbildenden Schulen ab dem Jahr 2018 zur Folge hatte. Über die Fachberatung werden u. a. zwecks Vernetzung sogenannte „smart factory days“ angeboten. Schnittstellen zur kaufmännischen Seite sind bedacht. Zurzeit erarbeitet eine Materialien-Kommission Online-Materialien zu Lernsituationen zum Thema Leistungserstellung im Kontext von ERP. Eine weitere Ausbaumöglichkeit für ein gemeinsames Agieren zwischen gewerblich-technischen sowie kaufmännischen Bereichen besteht darin, das Zusammenwirken zwischen den Ebenen „Enterprise Resource Planning“ (ERP) und „Manufacturing Execution System“ (MES) im Rahmen eines mehrschichtigen Fertigungsmanagementsystems unterrichtlich zu veranschaulichen.

Auf der Fachtagung „Digitalisierung in der Arbeitswelt – Industrie 4.0/ Wirtschaft 4.0“ am 06.02.2017 in Hannover sowie der Abschlussveranstaltung der Industrie 4.0/Wirtschaft 4.0/Lernen und Arbeiten 4.0-Projekte wurden am 11.03.2020 in Neustadt am Rübenberge die Erfahrungen aller Projektteilnehmer dargeboten.

4 Fazit und Ausblick

Die Projektvorhaben „Industrie 4.0/Wirtschaft 4.0/Lernen und Arbeit 4.0“ an sechs BBS-Schulstandorten in Niedersachsen haben die Potenziale rechtzeitig genutzt, um Erfahrungen in technischer und in pädagogischer Hinsicht zu sammeln und Zugänge zur 4.0-Thematik zu generieren. Gelungen ist dies auch, weil eine breite horizontale Vernetzung auf den Ebenen Ministerien, Niedersächsische Landesschulbehörde, berufsbildende Schulen, Schulträger und betriebliche Akteure erfolgt ist. Es ist ein korrespondierendes Beispiel, das auch im Sinne der Strategie der Kultusministerkonferenz „Bildung in der digitalen Welt“ (KMK, 2018, siehe S. 20 ff.) einen Beitrag leistet und die Bedeutung von Industrie 4.0 für die berufliche Bildung explizit hervorhebt. Die Herausforderungen bestanden nicht nur in Bezug auf die Planung, Beschaffung der technischen Komponenten, sondern in der pädagogischen unterrichtlichen Gestaltung. Es ist gelungen, Mitstreiterinnen und Mitstreiter zu gewinnen und sich auf die Herausforderung des Aufbaus einer Lernfabrik und des zukunftsgerichteten unterrichtlichen Agierens darin einzulassen. Die Lehrkräfte haben eine wichtige Pionierarbeit geleistet, Lernsituationen erstellt, Einblicke in ihr Vorgehen gewährt, kreatives Schülerpotenzial gehoben und dazu beigetragen, dass sich das unterrichtliche Geschehen eng an den betrieblichen Erfordernissen weiterentwickeln kann. Im Sinne eines „Makerspace“ besteht die Möglichkeit, projektbezogen mit verschiedenen Schülergruppen zu agieren, den Kompetenzaufbau durch das handlungsorientierte Vorgehen zu befördern, um Zusammenhänge und Gestaltungsmöglichkeiten in einer anderen Dimension, als es bisher möglich war, wahrzunehmen. Prozesse und Strukturen im und am Modell zu erkunden, ist motivierend und herausfordernd. Ständige Erweiterungs- und Innovationsmöglichkeiten beispielsweise durch VR-/AR-Technologie sowie Robotik werden zudem genutzt.

Das aus dem Vorhaben eigens generierte Lernträger-Projektvorhaben des Smart factory model-Projektes „Berufsbezogene und berufsübergreifende digitale Kompetenzen in vernetzten Unternehmensprozessen an Modellen einer smart factory“, das ebenfalls vom MW finanziell mit 600.000 EUR gefördert wurde, hat ab dem Jahr 2018 vielen weiteren berufsbildenden Schulen (23 BBS; 19 Schulträger) einen Zugang zur 4.0-Thematik ermöglicht, auch dieses unterstützt durch Fachberatung und Fachleitung. Die Steuerung seitens MK erfolgte u. a. über die Festlegung von Merkmalen im Rahmen der Fördergrundsätze. Mittlerweile gibt es weitere Initiativen in Niedersachsen, die eine Evolution der bisherigen Ansätze bieten, z. B. um neue Produkte entwickeln zu lassen. Dazu zählen die Vorhaben des Masterplan Digitalisierung, bei-

spielsweise zur Thematik „Additive Fertigung“, „Mensch-Roboter-Kollaboration“ sowie „Digitales Lernen 4.0“ (MW, 2018, siehe S. 79 ff.) in Niedersachsen. Durch den Digitalpakt haben die berufsbildenden Schulen zudem die Möglichkeit, Hardware für 4.0 Projekte zu finanzieren, was einen erheblichen Schub für neue Projekte der Schulen ergeben kann. Damit können nicht nur Schulen vorangebracht werden. In Zusammenwirken mit dem MW sind auch weiterhin Maßnahmen zu generieren, die einer Förderung der Zusammenarbeit mit KMU dienen. Für die KMU besteht die Möglichkeit, sich in einer modernen 4.0 - Umgebung fortzubilden und miteinander regional stärker zu vernetzen.

Die bisherigen Erfahrungen machen Mut, das Thema digitaler Konzepte in allen Berufsfeldern zu forcieren. Man denke nur an die Potenziale von Gesundheit/Pflege 4.0 oder Agrarwirtschaft 4.0. Hierbei sind die berufsfeldübergreifenden Aspekte der Digitalisierung verstärkt zu berücksichtigen. Mittlerweile ist festzustellen, dass beispielsweise bei den Modernisierungen der Rahmenlehrpläne und in den Rahmenvereinbarungen für die Fachschule sowie in zu erarbeitenden Rahmenrichtlinien entsprechender Bildungsgänge 4.0-Thematiken verankert werden.

Es bleibt eine permanente Aufgabe, die Darstellung einer Smart factory im Unterricht realitätsnah weiterzuentwickeln und das Knowhow konsequent in die Fläche Niedersachsens zu übertragen. Aufgrund der wachsenden Anzahl der Projekte stellt sich zudem die Frage nach steuerungsrelevanten bzw. operativen Aufgaben und deren Anbindung an das Kultusministerium bzw. die Niedersächsische Landesschulbehörde.

Wünschenswert ist zukünftig auch der Ausbau der Zusammenarbeit mit den Studienseminaren und der hochschulischen Seite, um die Schnittstellen im Kontext zwischen Theorie-Praxis-Verzahnung sowie im Hinblick auf studienvorbereitende Maßnahmen zu erarbeiten.

Literaturverzeichnis

Niedersächsisches Landesinstitut für schulische Qualitätsentwicklung (NLQ) (27.03.2020). Verfügbar unter https://www.nibis.de/bbs---fit-fuer-40-smart-factory_9989 [13.09.20]

Niedersächsisches Kultusministerium (2020). Schulisches Curriculum Berufsbildende Schulen (SchuCu-BBS). Verfügbar unter https://schucu-bbs.nline.nibis.de/ [13.09.20]

Kultusministerkonferenz (KMK) (2016). Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz. Verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2018/Strategie_Bildung_in_der_digitalen_Welt_idF._vom_07.12.2017.pdf [13.09.20].

Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung (2018). Masterplan Digitalisierung (MW): Die Strategie Niedersachsens zur digitalen Transformation. Verfügbar unter https://www.niedersachsen.de/startseite/themen/digitales_niedersachsen/masterplan_digitalisierung/ [13.09.20]

III Gute Beispiele außerhalb der Berufsbildung

Sascha Julian Oks, Max Jalowski, Nina Zansinger & Kathrin M. Möslein

Die Rolle von Industrie 4.0-Demonstratoren in der digitalen Transformation

Eine Standpunktbestimmung am Portable Industrial Demonstrator for Cyber-Physical Systems (PID4CPS)

Die digitale Transformation verändert industrielle Wertschöpfung umfassend und nachhaltig. Dieser disruptive Prozess hat u. a. große Auswirkungen auf die Arbeitsformen, Rollen und Qualifikationsanforderungen in der Produktion sowie in vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen. Neben Handlungs-, Fach- und Methodenkompetenzen in der Industriearbeit kommt der generellen Themenkompetenz bezüglich Industrie 4.0 eine immanent wichtige Rolle zu, wenn es darum geht, die Partizipation und Mitbestimmung jeder einzelnen Person an der digitalen Transformation industrieller Wertschöpfung sicherzustellen. Ebenso gilt es, integrative und Stakeholder-zentrierte Systementwicklungsverfahren zu etablieren, um die Einstellungen und Erwartungshaltungen verschiedener Stakeholder-Gruppen zu erfassen und moderieren sowie Konflikte zu regulieren und so letztendlich eine hohe Akzeptanz und Annahme digitaler Technologien und Prozesse sicherzustellen. Dieser Beitrag analysiert und erörtert die Eignung und Einsatzmöglichkeiten von Industrie 4.0-Demonstratoren zu diesen Zwecken. Im Zentrum der Betrachtung steht dabei der Portable Industrial Demonstrator for Cyber-Physical Systems (PID4CPS), der eine etablierte Instanziierung dieser Demonstratorenart darstellt. Besonderes Augenmerk wird auf die Verwendbarkeit von Industrie 4.0-Demonstratoren für die Lehr-/Lern- sowie Aus- und Weiterbildungszwecke in den unterschiedlichen Stufen des Bildungswesens gelegt. Darüber hinaus erfolgt eine vergleichende Gegenüberstellung der Konzepte von Industrie 4.0-Demonstratoren und Lernfabriken, aus der konkreten Handlungsimplikationen zum Einsatz dieser in Lehre sowie Aus- und Weiterbildung abgeleitet werden.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 121

2 Industrie 4.0 – Ein neues Komplexitätslevel in soziotechnischen Systemen 122

2.1 Komplexitätssteigerung durch die digitale Transformation industrieller Wertschöpfung 123

2.2 Rolle des Menschen in und für Industrie 4.0 124

3 Demonstratoren – Lernen und Begreifen am Modell durch Simulation 127

3.1 Komplexitätsreduktion durch Modelle 127

3.2 Modellanwendung durch Simulationen 128

3.3 Integration des Menschen durch Demonstratoren 129

4 PID4CPS – Der Portable Industrial Demonstrator for Cyber-Physical Systems 131

4.1 Zielstellungen und Anforderungen 131

4.2 Konzept und Umsetzung 134

4.3 Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsszenarien 141

4.4 Abgrenzung und Schnittstellen zu Lernfabriken 143

5 (Aus-) Bildungsperspektiven – Einsatzmöglichkeiten von Industrie 4.0-Demonstratoren in der Lehre 148

5.1 Einsatz in der Schulbildung 148

5.2 Einsatz in der Hochschulbildung 150

5.3 Einsatz in der betrieblichen und verbandsbasierten Aus- und Weiterbildung 151

6 Fazit und Ausblick 153

Literaturverzeichnis 155

1 Einleitung

Die voranschreitende Digitalisierung verändert neben anderen Anwendungsbereichen die industrielle Wertschöpfung nachhaltig (Kagermann, 2015). Die Einführung neuer Technologien, Konzepte und Geschäftsmodelle ermöglicht umfangreiche Effizienz- und Effektivitätssteigerungen in der Produktion und vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen sowie die Etablierung innovativer Produkte und Dienstleistungen, die aktuelle Markt- und Gesellschaftstrends adressieren und Nutzern wahrnehmbare Mehrwerte bieten können (Oks et al., 2017a). Wie bei anderen disruptiven Veränderungen auch, bestehen auf dem Weg der Potentialrealisierung Herausforderungen, die es zu überwinden gilt (Kiel et al., 2017). Neben technischen und organisationalen Problemstellungen sind diese insbesondere in den Bereichen zu finden, in denen der Mensch als Teil von *soziotechnischen Systemen* in der Wertschöpfung agiert. Arbeitsbedingungen, Rollen- und Tätigkeitsprofile sowie die Interaktion zwischen Mensch und Maschinen verändern sich umfassend (Andelfinger & Hänisch, 2017). Somit sind Disziplinen, wie die Arbeitsgestaltung oder Systementwicklung in der Praxis und Wissenschaft gefordert, neue Ansätze und Methoden zu etablieren, um die Rolle des Menschen in der digitalen Transformation herausforderungsgerecht und philanthropisch zu gestalten. Dies betrifft zum einen die Gestaltung und Durchführung von Lehr- und Ausbildungsverfahren und die Entwicklung und der Einsatz dafür geeigneter Lehr- und Ausbildungsmittel, um Schüler, Studierende sowie Aus- und Weiterzubildende bestmöglich auf die industrielle Berufswelt im digitalen Zeitalter vorzubereiten (Ahrens & Spöttl, 2018). Zum anderen ist es substanziell wichtig, die Erwartungen und Einstellungen von Stakeholder-Gruppen der industriellen Wertschöpfung gegenüber digitaler Technologien, Verfahren etc. zu erfassen und zu verstehen, um etwaige negative Befindlichkeiten dieser zu adressieren (Staples et al., 2002). Darüber hinaus besteht der Bedarf an zweckdienlichen Methoden und Artefakten, die die Spezifika digitaler Wertschöpfung abbilden und vermitteln und dazu verwendet werden können, Industriesysteme Stakeholder-zentriert und integrativ zu gestalten, um die Belange der Mitarbeitenden gerecht werdend zu berücksichtigen.

In diesem Kapitel werden die Eignung und Einsatzmöglichkeiten von *Industrie 4.0-Demonstratoren* zu diesen Zwecken analysiert und erörtert. Im Zentrum der Betrachtung steht dabei der *Portable Industrial Demonstrator for Cyber-Physical Systems (PID4CPS)* der als Industrie 4.0-Demonstrator an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) in Kooperation mit Partnern aus der industriellen Praxis entwickelt und evaluiert wurde und sich bereits

in der praktischen Anwendung, wie z. B. in der Lehre, in der Aus- und Weiterbildung aber auch in der unternehmerischen und organisationalen Systementwicklung, befindet.

Das Kapitel ist dazu folgendermaßen gegliedert: Im Anschluss an die Einleitung erfolgt die Darlegung des Themas *Industrie 4.0* mit einem besonderen Fokus auf die sich verändernde Komplexität in der industriellen Wertschöpfung. Im dritten Unterkapitel werden die theoretischen Grundlagen dieses Beitrags bestehend aus Modellierung, Simulation und Demonstratoren gelegt. Die detaillierte Vorstellung des Industrie 4.0-Demonstrators PID4CPS mit dessen Zielstellungen und Anforderungen sowie dessen Umsetzung erfolgt in Kapitel 4. Ebenfalls wird in diesem Kapitel eine Analyse des Konzepts der *Lernfabriken* durchgeführt, um daraufhin eine Gegenüberstellung dieser mit Industrie 4.0-Demonstratoren vorzunehmen. Im fünften Kapitel werden die Einsatzmöglichkeiten von Demonstratoren in der Lehre sowie in der Aus- und Weiterbildung, aufgeschlüsselt nach den Stufen des deutschen Bildungssystems, präsentiert und bewertet. Zum Abschluss des Kapitels wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick vorgenommen, der die nächsten Entwicklungsschritte rund um den Einsatz von Industrie 4.0-Demonstratoren im Bildungswesen eruiert.

2 Industrie 4.0 – Ein neues Komplexitätslevel in soziotechnischen Systemen

Die digitale Transformation führt zu umfänglichen und nachhaltigen Veränderungen in den unterschiedlichsten Domänen (z. B. Stadtentwicklung – *Smart City*, Gesundheitswesen – *Smart Health*, Mobilität – *Smart Mobility*, Gebäudemanagement – *Smart Home* etc.) industrialisierter Gesellschaften (Geisberger & Broy, 2015) und wirkt dabei auf allen Ebenen gesellschaftlicher Strukturen beginnend vom Individuum über Organisationen und Institutionen bis zu gesamten Volkswirtschaften (Oks et al., 2017a). Besondere Aufmerksamkeit wird dabei der Digitalisierung industrieller Wertschöpfung unter dem Leitbegriff Industrie 4.0 zuteil, was u. a. an den extensiven Aktivitäten in Praxis und Wissenschaft zur Umsetzung von Digitalisierungsstrategien aber auch an einer Vielzahl staatlicher Förderinitiativen weltweit festzustellen ist (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2017). Dies ist auf unterschiedliche Faktoren zurückzuführen: Dabei ist zunächst der technologische Fortschritt zu nennen, in dessen Rahmen Technologien und Konzepte, wie *cyber-physische Systeme (CPS)*, *Big Data-Analysen*, *künstliche Intelligenz (KI)* oder *additive Fertigung*, zuletzt eine Marktreife erreicht haben, so-

dass diesen im Zusammenwirken ein Innovations- und darauf aufbauend ein Wertschöpfungsschub zugetraut wird, der einer vierten industriellen Revolution gerecht wird (Koch et al., 2014). Unternehmen zielen mit dieser Transformation von Technologien und Prozessen darauf ab, sozioökonomische Trends, wie die weiter voranschreitende Individualisierung, gesteigertes Umweltbewusstsein und verstärkte Tertialisierung aber auch Phänomene, wie die Globalisierung, zu antizipieren und adressieren. Darüber hinaus kann die Etablierung von Industrie 4.0-Maßnahmen als neuer Stellhebel im strategischen Management zur Entwicklung eigener – *Market Push* – oder Überwindung fremder – *Market Pull* – komparativer Konkurrenzvorteile eingesetzt werden. Demnach zeigt sich, dass die digitale Transformation industrieller Wertschöpfung große Potentiale ökonomischer, operativer, wertversprechender und arbeitsgestaltender Natur mit sich bringt (McDermid et al., 2014). Zur Realisierung eben dieser Potentiale gilt es jedoch, Herausforderungen zu überwinden, die ebenso wie die vielversprechenden Potentiale mit der Digitalisierung der Industrie einhergehen. Zu diesen gehören die gesteigerten Anforderungen an die Entwicklung und Gestaltung von Systemen, die abnehmende Überschaubarkeit und Transparenz von Prozessen und Strukturen, Vorbehalte von Mitarbeitenden gegenüber eintretenden Veränderungen sowie der allgemeine Komplexitätsanstieg in der industriellen Wertschöpfung (ElMaraghy et al., 2012).

Da insbesondere Komplexität und die Rolle des Menschen in und für Industrie 4.0 im Kontext von Industrie 4.0-Demonstratoren von hervorzuhebender Bedeutung sind, werden diese nachfolgend genauer betrachtet.

2.1 Komplexitätssteigerung durch die digitale Transformation industrieller Wertschöpfung

Komplexität beschreibt im Allgemeinen die Anzahl und Beschaffenheit von Elementen, Faktoren und deren Interaktion einer Gesamtheit, wobei Zunahmen bezüglich der Vielzahl und Kompliziertheit zu einer Komplexitätssteigerung führen. Bei der Analyse der digitalen Transformation industrieller Wertschöpfung lässt sich eine Steigerung der Komplexität basierend auf unterschiedlichen Faktoren feststellen (Mourtzis et al., 2019).

Zum Ersten verändert sich die Beschaffenheit von Systemen mit Bezug auf deren Größe und Struktur. So erhöht sich meist die generelle Anzahl der Systemkomponenten sowohl in technischer als auch (inter-) organisationaler Hinsicht. Darüber hinaus werden vormals eigenständige, weitgehend autarke Systeme ad hoc miteinander zu *Systemen von Systemen* verbunden, um deren Interaktion untereinander zu ermöglichen. Dies führt einerseits zusehends zu

einer Verwässerung der Systemgrenzen und andererseits zu vielschichtigen -architekturen, da die Diversität von Systemen sukzessive zunimmt (Madni & Sievers, 2014). Zum Zweiten verändern sich industrielle Organisationen strukturell. Aus linearen Wertschöpfungsprozessen und -ketten werden oftmals holistische Wertschöpfungsnetzwerke, die zumeist in volatilen oder auch langfristig strategischen interorganisationalen Verbünden auftreten. Ferner werden auch vermehrt organisationale Einheiten und Abteilungen in produktionsrelevante Prozesse involviert bzw. von diesen betroffen, als dies zuvor der Fall war (Lee et al., 2015). Zum Dritten steigt auch die Komplexität durch Veränderungen, die das an Wertschöpfungsprozessen beteiligte Personal betreffen. Gleichsam zur und mit der Involvierung von mehr organisationalen Einheiten und Abteilungen einhergehend, zählt die industrielle Wertschöpfung demnach mehr Stakeholder-Gruppen (Oks et al., 2017b). Zum Vierten und abschließend trägt auch der Faktor Zeit zur generellen Komplexitätssteigerung im Kontext von Industrie 4.0 bei. So verkürzen sich Produktentwicklungs- und -lebenszyklen weiter und die Steuerung und Überwachung von Produktionsprozessen wird noch echtzeitrelevanter (Schuh et al., 2014).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die mit der digitalen Transformation industrieller Wertschöpfung einhergehende Komplexitätssteigerung, bedingt durch eine Vielzahl an heterogenen und interdependenten Faktoren, umfangreich und nicht unerheblich ist, was die Entwicklung und Implementierung von Industrie 4.0-Maßnahmen erschwert.

2.2 Rolle des Menschen in und für Industrie 4.0

Der Themenkomplex Industrie 4.0 kann aus unterschiedlichen fachlichen Perspektiven betrachtet und analysiert werden. Während Erkenntnisse aus Forschung und Anwendung singulärer Disziplinen als Bausteine für die Konzeption und Entwicklung von Industrie 4.0-Systemen von großer Relevanz sind, kann die letztendliche Gestaltung und Implementierung solcher Systeme nur gelingen, wenn diese in Kooperation der einzelnen Disziplinen unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Perspektiven erfolgt. In diesem Prozess ist die Berücksichtigung von drei Dimensionen von großer Bedeutung: die technische, die organisationale und die personenbezogene Dimension (Oks et al., 2017a). Industrie 4.0-Systeme können somit als soziotechnische Systeme verstanden werden, wenn diese Menschen und Technologien in einer organisationalen Struktur zur Erfüllung spezifischer Aufgaben orchestrieren (Karafyllis, 2019).

Es herrscht auch weiterhin die Meinung vor, dass trotz zunehmender Automatisierung und Autonomisierung wertschöpfender Prozesse der Mensch ein essentieller und auf absehbare

Zeit nicht entbehrlicher Bestandteil und kreativer sowie ausführender Akteur industrieller Wertschöpfung bleibt (Richter et al., 2015). Zusätzlich entstehen neue Stakeholder-Gruppen und bestehende nähern sich der industriellen Wertschöpfung an, was neue Einflussfaktoren auf Produktionsprozesse mit sich bringt. Als Beispiel dafür kann die weitreichende Nutzer- bzw. Endkundenintegration genannt werden. Um vermehrt individualisierte Produktanpassungen – auch nach Auftragsvergabe – zu realisieren, wird Konsumenten ermöglicht, die Herstellung ihrer Bestellungen digital zu verfolgen und Änderungen bis zum spätmöglichsten Zeitpunkt zu beauftragen. Ob und zu welchem Grad dies möglich ist, hängt u. a. vom jeweiligen Produktsegment ab. In Abhängigkeit von ebendiesem können außerdem kumulierte Nutzungsdaten unter Wahrung des Datenschutzes relevante Erkenntnisse über die Produktperformanz liefern und in die Produktion zurückgespielt werden, woraufhin optimierende Anpassungen an Produkt bzw. Produktionsprozess vorgenommen werden können (Brecher & Brockmann, 2020).

Neben neu hinzukommenden Stakeholder-Gruppen bleibt der Mensch im Kern seiner Tätigkeiten mit Bezug auf die industrielle Wertschöpfung der Gestalter und Nutzer von Systemen. Insbesondere für letztere bringt die digitale Transformation mitunter erhebliche Veränderungen mit sich. So wandelt sich die Ausführung von Tätigkeiten in der Produktion durch neue Ansätze der Arbeitsgestaltung. *Entscheidungsunterstützungssysteme* können mit Handlungsleitfäden sowohl Arbeitsabläufe strukturieren als auch implizites Wissen einzelner Akteure ganzen Gruppen durch digitale Dokumentation zur Verfügung stellen. Ebenso halten neue Technologien Einzug, die im Kontext der *Mensch-Computer-Interaktion (HCI)*, die Ausführung von Arbeiten visuell, z. B. in Form von *Augmented Reality (AR)*- oder *Virtual Reality (VR)-Brillen*, oder mechanisch, z. B. durch *(angetriebene) Exoskelette*, etc. unterstützen. Die Einführung dieser neuen Technologien in Kombination mit der Veränderung von Arbeitsprozessen führt mitunter zum Umgestalten, Wegfallen oder Entstehen von neuen Rollen, da bestimmte Tätigkeiten nicht länger benötigt werden und der Bedarf an neuen entsteht (Huchler, 2016).

Im Rahmen der Veränderungen von Arbeitsabläufen, insbesondere, wenn diese mit der Einführung neuer Informations- und Kommunikationstechnologie einhergehen, gilt es, die Akzeptanz und die darauf aufbauende Annahme seitens der anvisierten Nutzer zu beachten (Venkatesh et al., 2003). Da sich gerade die mit dem Thema Industrie 4.0 in Verbindung gebrachten Veränderungen für die Stakeholder-Gruppen der Produktion sehr umfassend darstellen, führen diese mitunter zu konträren Erwartungshaltungen und Einstellungen gegenüber

den neu einzuführenden Systemen und der damit verbundenen Reorganisation von Arbeitsabläufen und -strukturen, was Interessenkonflikte entstehen lassen kann. Neben der Besorgnis um den Fortbestand des eigenen Arbeitsplatzes und den Bedarf am eigenen Kompetenzprofil, findet dies in Themen wie potentieller Überwachung und Nachverfolgbarkeit von Tätigkeiten oder Dateneigentümerschaft seinen Ursprung (Hornung & Hofmann, 2018). Die Moderation dieser Bedenken und Vorbehalte der Mitarbeitenden stellt neben deren Ausbildung und Qualifikation zur zweckmäßigen Nutzung von Industrie 4.0-Systemen eine der größten Herausforderungen zum Gelingen der digitalen Transformation industrieller Wertschöpfung dar. Da es sich bei der vierten industriellen Revolution, wie zuvor ausgeführt, um einen Innovationsschub mit weitreichendem Transformationsgeschehen in vielen Wertschöpfungsbereichen handelt, hat dies große Auswirkungen auf die Ausbildungs- und Qualifikationsanforderungen der einzelnen Stakeholder-Gruppen (Ahrens & Spöttl, 2018). Neben der grundlegenden *Handlungs-, Fach- und Methodenkompetenz*, die zur sicheren und zielführenden Anwendung und Handhabung von industriebezogenen Systemen sowie Durchführung von Prozessen befähigt, bedarf es darüber hinaus der Schaffung einer *Themenkompetenz* bezüglich Industrie 4.0, die zunächst ein grundlegendes Verständnis der Gesamtmaterie sicherstellt und jedem Akteur eine Verortung der eigenen Rolle und des eigenen Handelns im übergeordneten Gesamtkontext ermöglicht. Das Durchdringen und Verstehen der Thematik und Materie bildet somit die Grundlage für Entwicklung und Anwendung von Industrie 4.0-Systemen/-Verfahren sowie die Partizipation und Mitbestimmung jeder einzelnen Person an der digitalen Transformation industrieller Wertschöpfung.

Aus genannten Gründen ist es von großer Relevanz, geeignete Mittel und Methoden zu entwickeln und etablieren, die dazu genutzt werden können, Einstellungen und Erwartungshaltungen und etwaige daraus resultierende Konflikte von und zwischen Stakeholder-Gruppen und einzelner Akteure zu moderieren sowie die Ausbildung und Qualifikation dieser um den Bereich der Themenkompetenz zu erweitern. Industrie 4.0-Demonstratoren bieten hierzu einen vielversprechenden Ansatz, dessen Grundlagen (Unterkapitel 3) und konkrete Umsetzung (Unterkapitel 4) nachfolgend ausgeführt werden.

3 Demonstratoren – Lernen und Begreifen am Modell durch Simulation

Die im vorangegangenen Unterkapitel beschriebene Komplexitätssteigerung durch die digitale Transformation industrieller Wertschöpfung und die nach wie vor wichtige Rolle des Menschen in der Produktion, verstärkt durch das Hinzukommen neuer Stakeholder-Gruppen und Rollen, stellen die Notwendigkeit für geeignete Mittel und Methoden zur Moderation von Stakeholder-Belangen sowie die Schaffung von Themenkompetenz in einen besonderen Fokus. So gilt es zum einen, die dem Industrie 4.0-Thema inhärente Komplexität zu reduzieren und zum anderen, Instanziierungen für die Vermittlung von Wissen und den Austausch zwischen Stakeholdern zu etablieren.

3.1 Komplexitätsreduktion durch Modelle

Ein weitverbreiteter Ansatz zur Reduktion von Komplexität ist die Bildung von Modellen. Modelle stellen abstrahierte Abbilder von Entitäten der Realität in vereinfachter Form dar. Die Vereinfachung kann auf unterschiedliche Weisen erreicht werden. So kann das Original in einer anderen Darstellungsform, z. B. ein physisches, dreidimensionales Objekt als zweidimensionale Zeichnung oder digitales Computer-Modell, abgebildet werden. Durch Auslassungen und Verkürzungen können für den Modellierungszweck irrelevante Eigenschaften ausgespart werden, was den Umfang dargestellter Informationen reduziert und Möglichkeiten zur Fokussierung gibt. Auch die Dekomposition und Aggregation, das Aufteilen bzw. zusammenführen von Subsegmenten eines Ganzen, können zur Modellbildung eingesetzt werden (Bossel, 1994). Die Ausgestaltung eines Modells kann dabei mit Ausprägungen in verschiedenen Dimensionen, wie Repräsentanz – mit den Gegenpolen originär und artifiziell –, Komplexität – mit den Gegenpolen originär und reduziert –, Skalierung – mit den Gegenpolen originär und verringert – etc., die jeweils unabhängig voneinander sind, vorgenommen werden. Darüber hinaus kann ein Modell (sub-) modular oder monolithisch aufgebaut werden.

Die Verwendung von Modellen bietet neben der Komplexitätsreduktion noch weitere Potentiale. Besonders wenn von der originären Entität nur wenige Exemplare existieren, diese von zu hohem Wert sind oder die Kosten- bzw. weiteren Ressourcenbedarfe für einen Betrieb außerhalb des eigentlichen Verwendungsszenarios nicht zu rechtfertigen sind, können Modelle die Voraussetzung für eine umfassende Auseinandersetzung mit der originären Entität darstellen. Dies gilt insbesondere dann, wenn sich das Original in einer gefährlichen Umgebung

befindet bzw. bei nicht ausreichend qualifizierter Interaktion Gefahren von diesem selbst ausgehen. Doch Modelle sind nicht nur für die Auseinandersetzung mit bestehenden Entitäten ein wichtiges Instrumentarium; gerade auch bei der Neuentwicklung und -gestaltung von zukünftigen Entitäten sind Modelle von großer Bedeutung. Dabei dienen diese zum einen dem Kanalisieren von Kreativität sowie dem Instanziieren von Ideen, zum anderen aber auch der Bestimmung, Evaluation und Optimierung der Performanz des späteren Originals. Bei letzterem können Modelle die Funktion eines Prototyps übernehmen (Sokolowski & Banks, 2009).

Aus den zuvor genannten Gründen stellt der Modellierungsansatz ein vielversprechendes Verfahren für die nutzerzentrierte Gestaltung sowie Wissensvermittlung im Industrie 4.0-Kontext dar.

3.2 Modellanwendung durch Simulationen

Während ein Modell per se eine statische Repräsentanz einer originären Entität ist, wird dessen Verwendung als Simulation bezeichnet. Die Zielstellungen, die damit verfolgt werden, sind vielseitig. So können anhand von Simulationen Erkenntnisse über die Eigenschaften, das Verhalten, die Kohärenz etc. des Originals ermittelt werden. Darüber hinaus werden Simulationen dazu eingesetzt, um das Verständnis und Verhalten von Nutzern zu bestimmen oder zu beeinflussen. Wie das Modell selbst kann die Simulation physisch oder virtuell erfolgen (Sokolowski & Banks, 2009).

Bei Simulationen kann u. a. zwischen *verhaltens-/funktionszentrierte*r und *nutzerzentrierter* Modellanwendung unterschieden werden. Verhaltens-/funktionszentrierte Simulationen werden durchgeführt, um Informationen bezüglich der Eigenschaften und Verhaltensweisen der originären Entität zu gewinnen. Dabei soll beispielsweise das Systemverhalten in Extremsituationen ausgelotet und Grenzwerte zur sicheren Systemverwendung bestimmt werden. Weitere Ziele können umfangreiche Datengeneration sowie technische Evaluation und Verifizierung sein.

Weniger die technische Performanz einer Entität als vielmehr die Interaktion des Menschen mit dieser, steht bei der nutzerzentrierten Simulation im Vordergrund. Auch hierbei lassen sich Unterscheidungen bezüglich der Zielstellung und Durchführung vornehmen. So können diese zum einen zu *analytisch/explorativen* Zwecken durchgeführt werden. Dabei sollen durch die Simulation Erkenntnisse zu Tage gefördert werden, die im Bezug zum Nutzerverhalten mit der

Entität und der Einstellung gegenüber dieser stehen. Bei Simulationen mit *integrativ/manipulativen* Zielstellungen soll darüber hinaus das Verhalten und die Einstellung des Nutzers aktiv geleitet werden, was ein breites Anwendungsspektrum bedingt. Zunächst einmal kann es schlicht darum gehen, Entitäten zu erklären und deren Funktionalitäten sowie Einordnung in einen Gesamtkontext begreifbar zu machen. Darüber hinaus können diese Simulationen angewandt werden, um Nutzer in den Entwicklungs- und Gestaltungsprozess von Entitäten aktiv zu integrieren. Dabei können durch *Open Innovation*-Methoden nutzerseitige Ideen hervorgebracht oder Evaluationen bezüglich der wahrgenommenen Nützlichkeit etc. durchgeführt werden. Schlussendlich können Simulationen auch dazu eingesetzt werden, um Personal auszubilden und zu qualifizieren, bevor dieses die originäre Entität bedient und verwendet (Schenk et al., 2005).

Mit der Zielstellung, Stakeholder-seitige Einstellungen und Erwartungshaltungen zu moderieren und Themenkompetenzen zu vermitteln, die eine adäquate Ausbildung und Qualifikation erweitern, können Simulationen einen wichtigen Faktor für die Integration des Menschen in den Industrie 4.0-Themenkomplex darstellen.

3.3 Integration des Menschen durch Demonstratoren

Modelle, an denen nutzerzentrierten Simulationen zu integrativen/manipulativen Zwecken durchgeführt werden, werden als Demonstratoren bezeichnet. Sie werden dazu eingesetzt, um Entitäten sowie diesen inhärente Zusammenhänge, Funktionalitäten etc. begreifbar zu machen. Dabei können sie Beschaffenheiten und Prozesse statisch darstellen und repräsentieren sowie dynamisch vorführen und sie dadurch erklären (Moultrie, 2015). Das Begreifen kann dabei über alle physiologischen Wahrnehmungsformen des Menschen erfolgen. Während Abbildungen, Präsentationen und Bildschirmwiedergaben visuelle Inhalte, ggf. um auditive erweitert, transportieren, können physische, mehrdimensionale Demonstratoren darüber hinaus taktile Wahrnehmungen über die direkte Interaktion mit dem Modell und der Simulation ermöglichen. Olfaktorische und gustatorische Wahrnehmungen spielen im Kontext des Demonstratoreneinsatzes zumeist eine nachgelagerte Rolle, können in gewissen Anwendungsfällen, z. B. bei der Erhitzung bestimmter Materialien und den damit einhergehenden Gerüchen, aber auch von Relevanz sein. Dem Anwendungszweck entsprechend kann die Adressierung der verschiedenen Wahrnehmungsformen durch einen Demonstrator kombiniert ausgestaltet werden.

Der Einsatz von Demonstratoren ermöglicht unterschiedliche Interaktionsformen. Zum einen in eindimensionaler Relation zwischen dem Demonstrator und einem Individuum, zum anderen in mehrdimensionaler Relation zwischen Demonstrator und mehreren Individuen sowie zwischen diesen untereinander. Typische Formen der eindimensionalen Relation stellen das Selbststudium oder Ausbildungsabschnitte, in denen eigenständig Verfahren erlernt werden, dar. Mehrdimensionale Relationen bestehen, wenn ein Demonstrator als Medium zur Wissensvermittlung zwischen Lehrenden und Auszubildenden eingesetzt wird. Eine besondere Form der mehrdimensionalen Relation nimmt ein Demonstrator dann ein, wenn er zur Ermöglichung oder Verstärkung der themen-/objektspezifischen Interaktion unterschiedlicher Gruppen verwendet wird. Der Demonstrator dient dann als sogenanntes Grenzobjekt, das eine zentrale Referenz für die Benutzerinteraktion mit dem simulierten System ist aber auch für die Interaktionen untereinander genutzt wird. Dabei wird durch den Demonstrator ein Interaktionsraum aufgespannt, der über die für alle Gruppen homogenen fixen identifikationsstiftenden Merkmale der modellierten und simulierten Entität verfügt, dabei aber variabel genug ist, um den Austausch der heterogenen Interpretation seitens der Gruppen zu ermöglichen (Fox, 2011).

Zur Entwicklung und Gestaltung von Demonstratoren für industrielle CPS, einem Schlüsselkonzept von Industrie 4.0, wurde bereits eine Referenzarchitektur konzipiert, die den Prozess zur Instanziierung von Demonstratoren zielgerichtet anwendungsfallspezifisch systematisiert. Das zugrundeliegende Konzept ist die *cyber-physische Modellierung und Simulation (CPMS)*. CPMS postuliert die integrierte und simultane Modellierung und Simulation digitaler und physischer Prozesse, wie sie im Kontext der digitalen Transformation industrieller Wertschöpfung existieren. In der bisherigen Praxis wurde jenes fast ausschließlich getrennt voneinander durchgeführt. Während dies für die verhaltens-/funktionszentrierte Simulation zumeist das probate Mittel ist, bietet die Integration und Simultanität von cyber-physischer Modellierung und Simulation für die nutzerzentrierte Simulation jedoch den essentiellen Vorteil, dass Industrie 4.0-Systeme in ihrer immanenten Struktur und Attribution Stakeholdern begreifbar gemacht werden können (Oks et al., 2019).

Aufgrund der beschriebenen Charakteristika, insbesondere der Stakeholder-Zentrierung, und den Vorarbeiten bezüglich CPMS, verfügen Demonstratoren sowohl für die Identifikation und Moderation von Einstellungen und Erwartungshaltungen als auch den Aufbau von Themenkompetenzen im Industrie 4.0-Kontext über großes Potential.

4 PID4CPS – Der Portable Industrial Demonstrator for Cyber-Physical Systems

PID4CPS ist ein Industrie 4.0-Demonstrator, der nach der CPMS-basierten Referenzarchitektur von Oks et al. (2019) und dem *Design Science Research (DSR)*-Paradigma (Hevner et al., 2004), einer gestaltungsorientierten Forschungsausrichtung der Wirtschaftsinformatik, konzipiert und umgesetzt wurde. Der Demonstrator wurde im Anwendungskontext der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekte *Ressourcen-Cockpit für sozio-cyber-physische Systeme (S-CPS)* und *Engineering produktionsbezogener Dienstleistungssysteme (PRODISYS)* an der FAU iterativ entwickelt und evaluiert. Nach der projektinternen Erprobung wird PID4CPS seither in unterschiedlichen Anwendungskontexten, wie industrieller Praxis, schulischer und universitärer Lehre sowie zu wissenschaftlichen Zwecken eingesetzt.

In diesem Unterkapitel werden zunächst die mit PID4CPS verfolgten Zielstellungen und die an ihn gestellten Anforderungen beschrieben, woraufhin die diesen gerecht werdende Konzipierung und Umsetzung vorgestellt werden. Abschließend werden die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsszenarien des Demonstrators bezogen auf die jeweiligen Zielgruppen ausgeführt.

4.1 Zielstellungen und Anforderungen

Zielstellungen

Der Industrie 4.0-Demonstrator PID4CPS wurde mit spezifischen Zielstellungen entwickelt. Deren grundlegendste ist die Bereitstellung eines Modells zur Simulation von Industrie 4.0-Systemen in unterschiedlichen Konfigurationen. Dadurch soll der Demonstrator Organisationen und deren Entscheidungsträger während des gesamten Entwicklungs- und Gestaltungsprozesses von Industrie 4.0-Systemen unterstützen, diesen Stakeholder-zentriert, anforderungsspezifisch und unternehmensindividuell durchzuführen. Besonders hervorzuheben ist dabei die Stakeholder-Zentrierung, da der Demonstrator genau die Technologien, Konzepte und Prozesse simulieren soll, in denen Menschen ein Teil von ebendiesen sind, unmittelbar mit diesen interagieren oder direkt andernfalls indirekt von diesen betroffen sind. Dazu soll eine nicht repressive und kreativitätsfördernde Umgebung geschaffen werden, in der Vertreter

unterschiedlicher Stakeholder-Gruppen zur Kooperation am Demonstrator zusammenkommen können. Der Demonstrator soll in iterativen Phasen eingesetzt werden und zur Veranschaulichung von Arbeitszwischenergebnissen entsprechend adaptiert werden.

Dazu sollte der Demonstrator unter Berücksichtigung der Faktoren Validität, Anwendbarkeit (Nützlichkeit, Verständlichkeit und Benutzerfreundlichkeit), Stil, Verallgemeinerbarkeit und Vollumfänglichkeit umgesetzt werden. Aufbauend auf diesen generellen Zielstellungen werden mit PID4CPS folgende konkrete Ziele anvisiert.

- Veranschaulichung und Erklärung von Industrie 4.0-Systemen (Technologien, Konzepte, Prozesse etc.)

Auf diesem Weg soll es ermöglicht werden, einstweilen ein einheitliches Verständnis bezüglich Technologien, Konzepten, Prozessen etc. innerhalb einer Personengruppe unterschiedlicher Stakeholder zu erarbeiten oder zu vermitteln. Dadurch können Missverständnisse frühzeitig ausgeräumt und eine Arbeitsgrundlage geschaffen werden. Diese profitiert ebenso davon, wenn eine organisationseigene Definition für Industrie 4.0 sowie relevante Technologien und Konzepte gegeben wird. Darüber hinaus soll der Demonstrator bei der Adressierung von semantischen und ontologischen Fragestellungen helfen.

- Stakeholder-Integration über den gesamten Systementwicklungs- und -gestaltungsprozess hinweg

Um eine spätere Akzeptanz und Annahme von Industrie 4.0-Systemen sicherzustellen, ist es wichtig, alle relevanten Stakeholder in den Entwicklungs- und Gestaltungsprozess zu integrieren. Dieser Prozess umfasst unterschiedliche sequentielle Phasen, wie z. B. Konzeptualisierung, Design, Evaluation und Anpassung, in denen Stakeholder auf unterschiedliche Weise sowie mit unterschiedlicher Intensität Input leisten können. Insbesondere durch den Einsatz von Open Innovation-Methoden soll der Demonstrator die Einbringung nutzerseitiger Ideen fördern. Darüber hinaus sollen Systemkonfigurationen bereits in frühen Entwicklungsphasen am Modell evaluiert werden können, um zeit- und kostenintensive Anpassungen in späten Entwicklungsphasen sowie um ein Eintreten des Phänomens der Technikverweigerung zu verhindern.

- Konsensförderung zwischen Stakeholder-Gruppen

Die umfangreichen Veränderungen, die mit der digitalen Transformation industrieller Wertschöpfung einhergehen, wirken sich auf die betroffenen bzw. beteiligten Stakeholder-Gruppen

unterschiedlich aus. Trotz der großen Potentiale, die auf Mikro-, Meso- und Makroeben bestehen, bringt die Digitalisierung auch objektive und subjektiv wahrgenommen Schlechterstellungen für gewisse Individuen, Rollen und ganze Stakeholder-Gruppen mit sich, was zur emotionalen Aufladung des Sachverhalts führen kann. Der Demonstrator soll dazu verwendbar sein, Erwartungshaltungen und Einstellungen gegenüber dem ganzheitlichen Thema Industrie 4.0 und konkreten Digitalisierungsstrategien und Systemen zu moderieren. Besonderer Fokus soll dabei auf der Konfliktregulierung liegen, wenn die Erwartungen und Einstellungen unterschiedlicher Stakeholder-Gruppen konträr zueinanderstehen.

- Aus- und Weiterbildung an Industrie 4.0-Systemen

Der Demonstrator soll dazu einsetzbar sein, qualifikationsrelevantes Wissen und neue Arbeitsverfahren, -inhalte etc. didaktisch-methodisch zu vermitteln. Dies soll auf unterschiedlichen Ebenen des Bildungswesens, beginnend im Primar- und Sekundarbereich der Schulbildung hin zur Hochschulbildung sowie zum Schulberufssystem, zur dualen Berufsausbildung und zur betrieblichen sowie verbandsbasierten Ausbildung möglich sein. Der Fokus soll dabei nicht auf der Durchführung gesamter curricularer Ausbildungsabschnitte oder Zertifizierungen liegen, sondern bestehende Ausbildungsformate und Lehrpläne um den Bereich der Themenkompetenzvermittlung, z. B. in Form von Mikrofortbildungen, ergänzen. Insbesondere im betrieblichen Kontext ist es eine weitere Zielstellung, dass am Demonstrator der Umgang mit neuen Systemen der HCI, egal ob Hardware, Software oder Kombinationen aus beiden, erlernt werden kann, bevor Mitarbeitende diese in der realen Anwendungsumgebung industrieller Wertschöpfung einsetzen.

- Unterstützung bei Innovation, Entwicklung und (Re-) Evaluation von Geschäftsmodellen

Die vierte industrielle Revolution bringt neben vieler innerorganisationaler Veränderungen auch umfangreiche marktseitige Transformationen mit sich. Diese können für Unternehmen sowohl Potentiale als auch Herausforderungen bedeuten. In beiden Fällen stellt u. a. die Auseinandersetzung mit Geschäftsmodellen eine probate Adressierung dieses Sachverhaltes dar. Die Arbeit an Geschäftsmodellen soll daher auch anhand des Demonstrators PID4CPS möglich sein. Dabei soll zum einen ein kreativitätsförderliches Umfeld als Voraussetzung für Innovationen hergestellt werden, zum anderen sollen die Potentiale, Herausforderungen und Auswirkungen, die durch die Adaption von Geschäftsmodellen entstehen, schnell und kostengering abschätzbar werden.

Anforderungen

Zur Sicherstellung der Erfüllung der ausgegebenen Zielstellungen, muss der Industrie 4.0-Demonstrator konkreten Anforderungen entsprechen. Um als Modell zur Simulation von Industrie 4.0-Systemen zu dienen, müssen daher alle Eigenschaften und Spezifikationen von Industrie 4.0-Systemen, wie industriellen CPS, demonstrierbar sein. Dies umfasst die Darstellbarkeit von Wertschöpfungsprozessen, aber auch die authentische Durchführbarkeit von industriellen Arbeitsvorgängen, jeweils mit ihren digitalen und physischen Teilaspekten. Je nach adressierter Zielstellung muss der Demonstrator in eine konkrete, zieladäquate Konfiguration gebracht werden können, die sich in einem Gesamtszenario durch die Anpassung aller digitalen und physischen Komponenten, die Bestimmung eines Durchführungsrahmens (Anwendungsfall und Methode) und die Auswahl der benötigten Nutzer (Personal des Demonstrators und Vertreter der Stakeholder-Gruppen) ergibt. Daraus leitet sich die Anforderung ab, dass der Demonstrator in unterschiedlichen Dimensionen adaptierbar sein muss. Dazu soll dieser größenflexibel, modular und mit skalierbarer Komplexität ausgestaltet sein. Darüber hinaus gilt es, den Demonstrator und dessen Module aus affinitätsfördernden Komponenten zu konstruieren, da diese die Akzeptanz und die wahrgenommene Utilität seitens der Nutzer positiv beeinflussen können. Als Beispiel hierfür können Komponenten und Programme dienen, die Stakeholdern aus ihrem Arbeitsumfeld bekannt sind oder aus dem Portfolio anerkannter Branchenführer stammen. Zusätzlich müssen die Simulationen in einem strukturierten und systematischen Verfahren, das didaktisch-methodisch fundiert ist und für das es klare Durchführungsanleitungen und -schemata gibt, erfolgen. Um den Demonstrator ortsungebunden ohne Abhängigkeiten von Produktionsumgebungen einsetzen zu können, muss dieser portabel sein. Auf diesem Weg können die Zielstellungen ohne Interferenzen mit wertschöpfenden Prozessen und darüber hinaus auf „neutralem Boden“, also in keiner einer bestimmten Stakeholder-Gruppe angestammten Umgebung stattfinden, was insbesondere für die Moderation von Einstellungen und Erwartungshaltungen sowie die Lösung von Konflikten, hilfreich ist. Eine weitere Anforderung ist, dass die Interaktion mit dem Demonstrator für alle Beteiligten, unabhängig ihres Tätigkeitshintergrunds und ihrer Qualifikation, sicher im Gesichtspunkt der körperlichen Unversehrtheit ist.

4.2 Konzept und Umsetzung

Um den aufgezeigten Zielstellungen und Anforderungen gerecht zu werden, wurde die Instanziierung des Demonstrators PID4CPS entsprechend der Referenzarchitektur zur Gestaltung

von CPS-Demonstratoren nach Oks et al. (2019) unter Anleitung des DSR-Paradigmas (Hevner et al., 2004) folgendermaßen konzipiert und umgesetzt: Da der Anwendungsfokus auf Stakeholder-zentrierten Gestaltungs- und Entwicklungsprozessen von Industrie 4.0-Systemen liegt, ermöglichen die verwendeten Modelle hauptsächlich integrative/manipulative Simulation. Diese Modelle bilden Wertschöpfungsinfrastrukturen im Kontext der digitalen Transformation ab, um die Simulation von Industrie 4.0-Systemen zu ermöglichen. Um ein möglichst breites Spektrum konkreter und zieladäquater Konfigurationen zu ermöglichen, ist der Demonstrator mehrstufig (sub-) modular ausgelegt und kann dadurch anwendungsfallspezifisch und organisationsindividuell zusammengestellt und konfiguriert werden. Der Anforderungen der Ortsungebundenheit und Portabilität wird der Demonstrator ebenfalls durch seine Modularität gerecht. Alle Module können gelöst voneinander bewegt werden. Ein Kleintransporter reicht für die Verbringung aus. Die Ortsungebundenheit wird auch dadurch sichergestellt, dass geringe Anforderungen an die Anwendungsumgebung gestellt sind: Als Anschlüsse werden lediglich obligatorisch eine Haushaltssteckdose mit der Netzspannung 230 V und -frequenz 50 Hz und fakultativ eine LAN-Buchse benötigt. Letzterer nur, wenn eine Verbindung zur PRODISYS-Plattform, einem Industrie 4.0-Service-Ökosystem, aufgebaut werden soll. Um die Sicherheit der Nutzer des Demonstrators sicherzustellen, wurden ausschließlich CE-gekennzeichnete Komponenten verbaut und die Konstruktionslehren der Mechanik und Elektrotechnik herangezogen (Feldhusen & Grote, 2013). Weder von elektrisch noch pneumatisch angetriebenen Teilen geht ein Verletzungsrisiko aus, was eine Verwendung auch durch nicht technisch qualifizierte Personen ermöglicht. Eine industrietaugliche Software-Ergonomie wurde durch die Gestaltung des *Ressourcen-Cockpits* nach der Richtlinie *ISO 9241* sichergestellt. Zur Förderung der Akzeptanz des Demonstrators durch dessen Nutzer wurden, soweit möglich, affinitätsfördernden Komponenten verbaut. Zu diesen gehören u. a. Aufbauten aus *Fischertechnik*-Teilen, die vielen noch aus der Kindheit vertraut sein können, eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) von *Siemens* und Pneumatikkomponenten von *Festo*, mit denen zahlreiche Anwender in ihrem Arbeitsalltag interagieren. Zur Strukturierung und Anleitung der mit den Modellen des Demonstrators durchgeführten Simulationen gibt es ein Rahmenwerk in Form eines *Szenariobuchs* (PDF und Print). In diesem Buch sind die Simulationsszenarien des Demonstrators gesammelt, die darüber Auskunft geben, wie Module, Stakeholder, Aktivitäten etc. schrittweise, entsprechend des Anwendungsfalls und -ziels, orchestriert werden sollen. Somit sind klare und eindeutige Durchführungsanleitungen und -schemata gegeben.

In der Umsetzung des Demonstrators lassen sich dessen Module und Komponenten entweder in die *Cyber* oder *Physische Sphäre* und deren jeweilige Unterkategorien einordnen. Die Cyber

Sphäre besteht aus den Kategorien Software sowie Daten und wird über die Netzwerkkategorie mit der Physischen Sphäre, die sich aus den Kategorien Hardware und HCI zusammensetzt, verbunden. Die konkreten Module und Komponenten von PID4CPS sowie deren architektonische Anordnung und funktionale Interaktion werden nachfolgend im Rahmen der genannten Kategorien vorgestellt.

Software

In der Software-Kategorie ist vornehmlich das im Rahmen des Projekts SCP-S konzipierte und evaluierte Programm Ressourcen-Cockpit zu nennen (Oks et al., 2017b), das für den demonstratorbasierten Anwendungskontext von PID4CPS adaptiert und umgesetzt wurde. Das Programm ist als *Android*-basierte Anwendung implementiert und stellt den Nutzern des Demonstrators während der Simulation rollen-, anwendungs- und situationsspezifisch Informationen über Produktionsprozesse, Handlungsleitfäden, Fehler, Wartungen sowie Unterlagen zu Anlagen bereit. Darüber hinaus ermöglicht es die Steuerung anwählbarer Komponenten. Die Interaktion mit diesen erfolgt insbesondere über einen *OPC UA*-Server und Datenbanken auf einem *Raspberry Pi 3* (I). Die *HOLOneering Visualisierung* kommt in den Fällen zum Einsatz, wenn mit einer *Microsoft HoloLens 2* Objekte und Prozesse in der erweiterten Realität visualisiert werden sollen. Das *TIA Portal* von Siemens stellt die Software für die SPS *SIMATIC S7-1500* bereit, die die Module *Simulationsfabrik* und *Arbeitsvorgänge* steuert und den OPC UA-Server hostet. Die Module *Sensorik und Aktorik*, *KI-Kamera*, *Wertschöpfungs- und Liefernetzwerk*, *3D-Druck*, *Blockchain* sowie *Firewall* verfügen jeweils über spezialisierte Software, die auf Raspberry Pis der dritten und vierten Generation bzw. einem *RevolutionPi* ausgeführt wird.

Daten

Die Kategorie Daten besteht aus vier verschiedenen Bereichen. Die Daten für das Ressourcen-Cockpit werden durch einen *REST*-Server verwaltet, der auf eine *MongoDB* zugreift. Dort enthalten sind beispielweise Produktionsprozesse, Handlungsleitfäden und Informationen zu bekannten Fehlern. Darüber hinaus gibt es eine weitere MongoDB, die alle Produktionsprozesse aufzeichnet, um Datenanalysen zu ermöglichen und Szenarien vorausschauender Instandhaltung zu demonstrieren. Dort werden ebenfalls die aus dem Sensorik- und Aktorikmodul stammenden Daten abgelegt. Zur Demonstration von AR und VR-Szenarien wird auf das *HOLOneering Repositiory* zugegriffen, um (Ersatz-) Teile in der erweiterten Realität darzustellen und z. B. ihren Einbau zu visualisieren.

Netzwerk

Die Netzwerkinfrastruktur (WLAN/LAN) wird vornehmlich von dem OPC UA-Server, basierend auf dem OPC UA-Standard, der auch in der Industrie weit verbreitet ist, genutzt. Der Server stellt die wesentliche Komponente zur Vernetzung der SPS mit den HCI-Komponenten sowie zur Steuerung der Prozesse und für die Erfassung der aktuellen Systemparameter dar. Zusammen mit dem REST-Server wird dadurch der zentrale Hub des Demonstrators gebildet. Auf die Web-gehostete Plattform aus dem Projekt PRODISYS, auf der Daten von Demonstratoren zur Analyse zentral gesammelt werden, um daraufhin, basierend auf den Analyseergebnissen, industriellen *Microservices* zu entwickeln und orchestrieren (Fuchs et al., 2019), können die Datenströme von PID4CPS via Internet übertragen werden.

Hardware

Die Hardware des Demonstrators besteht aus einer Vielzahl an Modulen und unterstützenden Komponenten, um Industrie 4.0-Anwendungsszenarien umfassend simulieren zu können. Die Simulationsfabrik von Fischertechnik dient als *Prozessmodul*, mittels dessen verschiedenste Produktionsprozesse simuliert werden können. In der Standardkonfiguration besteht es aus den Submodulen eines *Hochregallagers*, einer *Verteilstation*, eines *Brennofens mit Bohrstation* und eines *Fließbands mit Farbsensor*. Durch ihre mehrstufige (Sub-) Modularität (zerleg- und zusammensetzbar auf Ebene einzelne Steine und Teile) lassen sich die verschiedenen Komponenten umgestalten und für spezifische Anwendungsszenarien passend konfigurieren. Industrietypische Arbeitsvorgänge können an der Arbeitsstation von Festo durchgeführt werden. Fehler, die mithilfe der Simulationsfabrik demonstriert werden, jedoch an dieser rein simulativ vorliegen, treten am Arbeitsvorgangsmodul real auf und können mit bereitgestelltem Werkzeug repariert werden. Beide Komponenten werden durch die Siemens SPS SIMATIC S7-1500 gesteuert. Das Sensorik- und Aktorikmodul besteht in Form eines erweiterten Elektromotorenprüfstands und kann mithilfe verbauter Sensoren diverse Werte in den Kategorien Temperatur, Akustik und Vibration aufnehmen. Auch können *Retrofit*-Sensoren an dem Modul angebracht werden, die das Erfassen weiterer Werte ermöglichen. Eine industriefähige Adaption des Kleincomputers Raspberry Pi stellt der RevolutionPi dar. Dieser wird zur Steuerung des Sensorik- und Aktorikmodul eingesetzt. Auch die KI-Kamera, die zur Zustands- und Belegungsüberwachung des Hochregallagers der Simulationsfabrik eingesetzt wird, wird durch einen weiteren Raspberry Pi 3 (II) gesteuert. Die auf einem höhen- und seitenverstellbarem Stativ montierte Kamera erzeugt ein Live-Bild, das durch Bilderkennungsalgorithmen ausgewertet

und in eine Übersicht der Belegung überführt wird, die als Microservice im Dashboard des Ressourcen-Cockpits eingesehen werden kann. Anwendungsfälle für KI-Algorithmen werden dabei dadurch aufgezeigt, dass die Belegungsüberwachung unabhängig vom Sichtwinkel der Kamera und sich verändernden Lichtverhältnissen erfolgen kann, da sich die Bildauswertung KI-basiert auf diese einstellt. Das Wertschöpfungs- und Liefernetzwerkmodul kann verschiedene inner- und interbetriebliche Wertschöpfungs- und Logistikprozesse demonstrieren. Unterschiedliche (Teil-) Prozesse können dazu auf einem modular zusammensteckbaren *Szenariobrett* (Standardmodulgröße DIN A3) durch das Verschieben von 3D-gedruckten *Setzsteinen* dargestellt werden. Letztere sind mit einem *RFID-Reader*, einem *Arduino Mikrocontroller* und einem Display ausgestattet. In die Szenariobrettmodule sind an Knotenpunkten *RFID-Chips* eingelassen und es besteht die Möglichkeit, unter eine, die Module bedeckende, Plexiglasscheibe *Szenariokarten* zu schieben, die den Wertschöpfungs- bzw. Liefernetzkontext grafisch und in Textform visualisieren. Dem jeweiligen Szenario entsprechend, erscheinen auf den Displays der Setzsteine Texte, Abbildungen oder Videos, wenn diese auf einem Knotenpunkt aufliegen und die RFID-Chips ausgelesen werden. Durch einen *Prusa i3 MK3S* 3D-Drucker in Kombination mit einem weiteren Raspberry Pi 3 (III) kann direkt aus dem Ressourcen-Cockpit der Druck passender (Ersatz-) Teile gestartet werden, was der Veranschaulichung von additiven Fertigungsszenarien dient. Die demonstratoreigene Blockchain wiederum läuft auf drei Raspberry Pi 4 (IV-VI) und verkettet Datensätze, die von RFID-Readern geliefert werden, die an den Submodulen der Simulationsfabrik verbaut sind. Auf diesem Weg lassen sich Anwendungsszenarien für *Smart Contracts* im Rahmen von Wertschöpfungsprozessen aufzeigen. Im Kontext von CPS und der mit diesen einhergehenden, voranschreitenden intra- und interorganisationalen Vernetzung von IT-Systemen spielt außerdem IT-Sicherheit eine zentrale Rolle. Der Demonstration dieser wird eine *PaloAlto PA-3020* Firewall gerecht, mithilfe derer passende Szenarien der Systemabschirmung veranschaulicht werden können.

Um die vorgestellten Module des Demonstrators betreiben zu können, gibt es neben diesen noch funktionsrelevante Unterstützungskomponenten. Zu diesen gehört eine *Pepperl+Fuchs Signalleuchte* nach Industriestandard mit vier verschiedenen Statusleuchten (rot – Störung, gelb – Störung in Beseitigung, grün – störungsfrei und weiß – Initialisierung), die den aktuellen Zustand des simulierten Wertschöpfungsprozesses anzeigt. Zur Bereitstellung des benötigten Luftdrucks zum Betrieb der pneumatischen Komponenten des Arbeitsvorgangsmoduls wird ein *Sparmax Kompressor* verwendet und für das benötigte Netzwerk zur digitalen Verbindung der beschriebenen Komponenten kommt ein *ASUS RT-AC87U Router* zum Einsatz.

Im Rahmen der Durchführung von Workshops, Ausbildungen etc. an PID4CPS werden *Stakeholder- und Ereigniskarten* dazu eingesetzt, Teilnehmer über ihre Rollen – z. B. im Fall, wenn diese über keine originäre Rolle wie Management, Instandhaltung, Betriebsrat etc. verfügen – zu informieren bzw. Ereignisse, wie Änderungen von Zuständen, Prozessen etc., einzustreuen und somit den Verlauf der Simulation zu steuern. Darüber hinaus können ansteckbare *Stakeholder-Schilder* ausgegeben werden, die sowohl den Teilnehmern als auch dem Personal eine einfache Zuordnung und gegenseitige Ansprache ermöglichen.

Mensch-Computer-Interaktion

In der Kategorie der HCI werden die Mensch-Maschine-Schnittstellen (HMI) des Demonstrators zusammengefasst. Diese umfassen Huawei Media Pad Tablets, auf denen das Ressourcen-Cockpit ausgeführt wird. Neben den Teilnehmer-Tablets kommt ein weiteres Tablet zur Anwendung, über das die demonstratorsteuernde Person die einzelnen Module und Komponenten sowie die mit diesen ablaufenden Simulationen koordiniert. Eine Microsoft HoloLens 2 dient darüber hinaus der Demonstration erweiterter Realitäten, wofür die jeweiligen Sichten des Ressourcen-Cockpits auf die Anwendung der AR-Brille angepasst wurden.

Eine Übersicht aller Module und Komponenten des Industrie 4.0-Demonstrators PID4CPS aufgeschlüsselt nach Sphären und Kategorien gibt Abbildung 1.

PID4CPS
Portable Industrial Demonstrator for Cyber-Physical Systems

Module und Komponenten

Cyber Sphäre

Physische Sphäre

Software

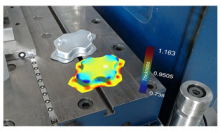
Frontend Software
S-CPS Ressourcen-Cockpit



Frontend Software
KI-Kamera



Frontend Software
***HOLOneering* Visualisierung**



Backend Software
Elektromotorenprüfstand, KI-Kamera, Wertschöpfungs- und Liefernetzwerk, 3D-Drucker, Blockchain, Firewall und *Siemens* TIA Portal

Daten

Datenbank
MongoDB Rest

Datenbank
MongoDB History

Datenbank
***HOLOneering* Repository**

Netzw.

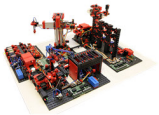
Schnittstelle zu
***OPC UA*-Server**

Schnittstelle zu
***PRODISYS*-Plattform**

Hardware

Prozessmodul
Fischertechnik
Simulationsfabrik

Submodul **Hochregallager** | Submodul **Verteilstation**
Submodul **Brennofen** | Submodul **Fließband**



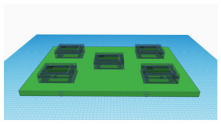
Arbeitsvorgangsmodul
***Festo* Arbeitsstation**

Submodul **Vereinzeler** | Submodul **Saugarm**



Wertschöpfungs- und Liefernetzwerkmodul
Szenariobrett

Submodul **Setzsteine** | Submodul **Szenariokarten**



Sensorik- und Aktorikmodul
Elektromotorenprüfstand



KI-Modul
KI-Kamera



Additive Fertigungsmodul
***Prusa* i3 MK3S 3D-Drucker**



Blockchain-Modul
3 Raspberry Pi 4



IT-Sicherheitsmodul
***PaloAlto* PA-3020 Firewall**



Steuerungsmodul
***Siemens* SIMATIC S7-1500**



Unterstützungskomponente
3 Raspberry Pi 3



Unterstützungskomponente
***Pepperl+Fuchs* Signalleuchte**



Unterstützungskomponente
***Sparmax* Kompressor**





Abbildung 1: Module und Komponenten des Industrie 4.0-Demonstrators PID4CPS

4.3 Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsszenarien

Aufgrund des durch die (Sub-) Modularität und Konfigurierbarkeit gegebenen umfassenden Lösungsraum des Demonstrators, verfügt PID4CPS über weitgefächerte Einsatz- und Anwendungspotentiale. Der Demonstrator kann dabei als eigenständiges Format oder im methodischen Gerüst mit kompatiblen Webtools, wie einem *Industrie 4.0-Kompendium*, -*Stakeholder Karten & Matrix* oder einer -*Anwendungskarte* (Oks et al., 2017a; Oks et al., 2018; QuartRevo, 2020), eingesetzt werden. Die institutionellen Nutzungsadressaten von PID4CPS sind Unternehmen sowie andere Organisationen, Bildungseinrichtungen und internationale Delegationen. Nachfolgend werden die Einsatzmöglichkeiten und dazugehörigen Anwendungsszenarien des Demonstrators nach Zielinstitutionen gegliedert aufgelistet:

Unternehmen sowie andere Organisationen

Die Einsatzmöglichkeiten und dazugehörigen Anwendungsszenarien für Unternehmen sowie andere Organisationen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Strategie- und Technologieberatung
Technologie-, Service- und Use Case-Vorstellung
Unternehmens-/organisationsindividuelle Eingrenzung von Digitalisierung und Industrie 4.0
Systematische und methodische Anleitung und Unterstützung im Systemgestaltungsprozess (Ideengeneration, Konzeptualisierung, Design, Evaluation und Konsolidierung)
Stakeholder-Integration
Moderation von Einstellungen und Erwartungen

Konfliktregulierung
Ideengeneration und Nutzung von Open Innovation
Aus- und Weiterbildung
Vermittlung neuer Arbeitsmethoden
Vorabeinführung neuer Technologien

Tabelle 1: Einsatzmöglichkeiten und dazugehörige Anwendungsszenarien des Industrie 4.0-Demonstrators PID4CPS für Unternehmen sowie andere Organisationen

Diese umfassen die Strategieentwicklung, bei der eine umfassende, unternehmensindividuelle Digitalisierungsstrategie basierend auf den Ergebnissen einer Potentialanalyse erarbeitet und konkrete Handlungsempfehlungen gegeben werden. Der Demonstrator wird dabei dazu eingesetzt, die Ideenbildung der Teilnehmer zu stimulieren, Technologien sowie Konzepte zu demonstrieren und Wertschöpfungsarchitekturen sowie Geschäftsmodelle zu simulieren. Bei der Systemgestaltung wird strukturierte und methodische Anleitung und Unterstützung über den gesamten Entwicklungsprozess gegeben – von der Ideengeneration und Konzeptualisierung über Design und Evaluation bis hin zur abschließenden Konsolidierung. PID4CPS dient dabei zur iterativen Demonstration und Simulation des gestalteten Systems, zur Evaluation dessen unter Einbezug aller Stakeholder-Gruppen und der Konfliktregulierung mit dem Ziel der Akzeptanzsteigerung. Im Rahmen der Kompetenzvermittlung werden nutzerzentrierte Formate angewandt, die Mitarbeitende bei Systemimplementierungen und Digitalisierungsaktivitäten in ihrem Arbeitsumfeld begleiten. Dies geschieht zur Vermittlung konkreter Arbeitsmethoden oder zur Schaffung allgemeiner Themenkompetenz im Kontext von Industrie 4.0.

Bildungseinrichtungen

In Tabelle 2 sind die Einsatzmöglichkeiten und dazugehörigen Anwendungsszenarien für Bildungseinrichtungen zusammengefasst.

Unterrichte und Workshops
Alters- und abschlussgerechte Vermittlung der Industrie 4.0-Thematik
Programmier- und Robotikkurse
Hackathons

Tabelle 2: Einsatzmöglichkeiten und dazugehörige Anwendungsszenarien des Industrie 4.0-Demonstrators PID4CPS für Bildungseinrichtungen

Die Anwendungsszenarien für Bildungseinrichtungen beinhalten lehrplanergänzende Unterrichtseinheiten, die das Digitalisierungsthema interessant und leicht verständlich vermitteln. In halb- bis mehrtägigen interaktiven Lernformaten wird das Workshop-basierte Begreifen und Anwenden von Industrie 4.0-Technologien und -Konzepten mit PID4CPS ermöglicht. Darüber hinaus findet u. a. die demonstratorzentrierte Vermittlung erster oder fortgeschrittener Programmier- und Robotikkenntnisse statt. Besonderer Fokus liegt dabei auf realitätsnahen und berufsvorbereitenden Anwendungsfällen. Im *Hackathon*-Format haben die Schüler bzw. Auszubildenden die Möglichkeit, ihr erlerntes Digitalisierungswissen direkt und lösungsorientiert einzusetzen. Anwendungsorientierte Aufgabenstellungen an echter Industrie 4.0-Hardware und -Software sind dabei das Alleinstellungsmerkmal dieses demonstratorbasierten Lernformats.

Internationale Delegationen

Tabelle 3 legt die Einsatzmöglichkeiten und dazugehörigen Anwendungsszenarien für internationale Delegationen dar.

Vorträge und Workshops
Einführung in den Exportschlager Industrie 4.0 aus Deutschland
Vorstellung des aktuellen Umsetzungsstands industrieller Digitalisierung in Deutschland anhand von Best Practices
Vergleich der Digitalisierungsstrategien des Gastlandes und Deutschlands

Tabelle 3: Einsatzmöglichkeiten und dazugehörige Anwendungsszenarien des Industrie 4.0-Demonstrators PID4CPS für internationale Delegationen

Für internationale Delegationen sind die typischen Anwendungsszenarien Vorträge und Workshops, in denen informiert wird, wie die deutsche Industrie und insbesondere der Mittelstand die digitale Transformation industrieller Wertschöpfung gestaltet und umsetzt. Dazu werden die Vorträge individuell auf das jeweilige Gastland abgestimmt und den Delegationsteilnehmern anschließend ermöglicht, Industrie 4.0 am Demonstrator interaktiv zu erleben und auszuprobieren.

4.4 Abgrenzung und Schnittstellen zu Lernfabriken

Im bisherigen Unterkapitel wurde der Industrie 4.0-Demonstrator PID4CPS detailliert vorgestellt. Nachfolgend wird basierend auf dieser Instanziierung das Konzept von Industrie 4.0-

Demonstratoren mit dem der Lernfabriken verglichen, um diese zum einen voneinander abzugrenzen, zum anderen aber dazu, um Schnittstellen und Anknüpfungspotentiale zu identifizieren. Dabei fällt bei näherer Betrachtung von physisch/digitalen Lösungen zur unterstützten Vermittlung von Industrie 4.0-Inhalten auf, dass dieses Feld breitgefächert ist. Das Spektrum existenter Lösungen wird von Demonstratoren, die komplexitätsreduzierte Modelle und Simulationen einer Fabrik abbilden, auf der einen Seite und Lernfabriken, die den Produktionsbetrieb im Eins-zu-eins-Maßstab darstellen, auf der anderen Seite umfasst. Jede Ausprägung hat für sich Vor- und Nachteile, die es abzuwägen gilt. Welche (Misch-) Formen einzeln oder in Kombination zur Anwendung gebracht werden, hängt vor allem von der jeweiligen Zielstellung, Zielgruppe und dem institutionellen Rahmen ab. Wenn es um die Vermittlung von Themenkompetenz geht, bieten Demonstratoren durch ihren verringerten Maßstab Teilnehmenden in kurzer Zeit einen Überblick über komplexe und vernetzte Systeme. Auch lassen sich Systeme agil, integrativ und nutzerzentriert an diesen entwickeln, da Demonstratoren in der Form von Prototypen schnell und kostensparend konfiguriert und anpasst werden können. Wird jedoch die Schaffung von Handlungs-, Fach- und Methodenkompetenz anvisiert, ist es wichtig, die Arbeitswelt von Menschen erlebbar zu machen. Explizite Arbeitsschritte können dazu besser an industrieller Infrastruktur in Originalgröße erlernbar gemacht werden (IG Metall Vorstand/1. Vorsitzender, 2018). Demonstratoren helfen somit, Komplexität zu verstehen, während Lernfabriken den Umgang mit dieser vermitteln. Auch bezüglich der Präsentation von Technologien und Konzepten unterscheiden sich die beiden Ansätze. Bei Demonstratoren sind meist die neuesten, aktuell möglichen Technologien funktionsbreit verbaut, um diese Stakeholdern vor der flächendeckenden Einführung zu demonstrieren. Die Nutzer haben dabei die Gelegenheit, diese umfassend auszuprobieren. Auch wird das Kennenlernen von Möglichkeiten und Grenzen digitaler Technologien an Demonstratoren anschaulich erreicht. Die Vermittlung, dass Industrie 4.0 in den Dimensionen Technologie, Mensch und Organisation überaus flexibel und gestaltbar ist, ist ein nicht zu vernachlässigender Vorteil der einfachen und schnellen Anpassungsfähigkeit von Demonstratoren (IG Metall Vorstand/1. Vorsitzender, 2018). Lernfabriken hingegen stellen meist Prozesse in den Fokus, die nach den Kriterien der schlanken Produktion begutachtet und angepasst werden sollen. Die dazu verwendeten Anlagen und Arbeitsstationen entsprechen zumeist dem industriellen Original, was einem hohen Detailgrad und reellen Arbeitsbedingung entgegenkommt (Steffen et al., 2013). Dementsprechend lassen sich klassische Ausbildungsformate und anschließende Zertifizierungen besser

in Lernfabriken durchführen. Umgestaltungen und Integrationen neuer Technologien und Konzepte bedeuten in Lernfabriken aufgrund des hohen Realitäts- und Komplexitätsgrads allerdings auch deutlich höhere Aufwände bezüglich Zeit und Finanzmittel.

Neben den aufgezeigten Unterschieden beider Formate gibt es aber auch Übereinstimmungen: Beide zeichnen sich durch Multimodalität aus. Bei der multimodalen Vermittlung von Inhalten sind mehrere Sinneskanäle (z. B. Sehen, Hören, Riechen und Fühlen) an der Rezeption beteiligt. Multimodale Präsentationen bewirken eine Stimulation und mentale Multicodierung des Lerngegenstands durch die Lernenden, was sich positiv auf die Verfügbarkeit des Wissens auswirkt. Außerdem ist dies dazu geeignet, komplexe und authentische Situationen realitätsnah wiederzugeben und den Gegenstand aus verschiedenen Sichtwinkeln, Zusammenhängen und auf verschiedenen Stufen der Abstraktion erörtern zu lassen (Gronau et al., 2017). Das wiederum mündet in gesteigertem Interesse an der Thematik, anpassungsfähigem Denken und der Konzeptionierung passender mentaler Modelle sowie praktischen Wissens.

Letztlich bietet sich den Lernenden insbesondere durch die Kombination von Demonstratoren und Lernfabriken in der Aus- und Weiterbildung eine Fülle des möglichen Handelns, was die Palette an Lernstrategien und -erfahrungen ausweitet (Weidenmann, 2002). Auch unter dem Gesichtspunkt, dass im Kontext von Industrie 4.0 neben der Handlungs-, Fach- und Methodenkompetenz die Themenkompetenz eine sehr wichtige Rolle zur fundierten Partizipation an der digitalen Transformation der industriellen Wertschöpfung einnimmt, erscheint eine integrierte Anwendung von Demonstratoren und Lernfabriken sehr sinnvoll.

Letztlich müssen sich Entscheidungsträger in Unternehmen und anderen Organisation nachfolgende Fragen im Prozess der Anbahnung stellen, wenn es um die Anschaffung oder Nutzung von Demonstratoren und Lernfabriken geht: Was sind die Anwendungsziele? Sind die erforderlichen Ressourcen, wie Finanzmittel und Personal, vorhanden? Welches Konzept erfüllt die Zielvorgaben? Wie kann eine didaktische und methodische Konzeption aussehen (IG Metall Vorstand/1. Vorsitzender, 2018)? Um die Beantwortung dieser Fragen zu erleichtern und eine allgemeine Gegenüberstellung der Konzepte von Demonstratoren und Lernfabriken zu geben, führt Tabelle 4 die Erkenntnisse dieses Unterkapitels zusammen. Neben den bereits vorgestellten Inhalten bilden auf der Seite der Demonstratoren die Erfahrungen und Publikationen bezüglich der Instanziierung PID4CPS und auf der Seite der Lernfabriken eine umfassende Literaturrecherche und -analyse (Abele et al., 2015; Gronau et al., 2017; Heyer et al., 2018; IG Metall Vorstand/1. Vorsitzender, 2018; Kemény et al., 2016; Pittschellis, 2015; Scheid, 2017; Steffen et al., 2013; Wilbers, 2017) die Grundlage für die Gegenüberstellung.

	Industrie 4.0-Demonstratoren (insbesondere PID4CPS)	Lernfabriken
Instanziierung	▪ Modellierung und Simulation digitalisierter Wertschöpfungsprozesse ▪ Komplexitätsreduziert und (sub-) modular	▪ Darstellung realer Produktionsprozesse (teilweise auch simuliert) ▪ Mehrstufig im Eins-zu-eins-Maßstab
Zweck	▪ Generierung eines gemeinsamen Verständnisses von Industrie 4.0 ▪ Entwicklung neuer Systeme mit Integration aller Stakeholder-Gruppen (Grenzobjekt) ▪ Kennenlernen neuester Technologien ▪ Training an neuen Anlagen ▪ Geschäftsmodellentwicklung ▪ Change-Prozesse → Vehikel zum Ausschöpfen der Potentiale bzw. Moderieren von Konflikten durch Industrie 4.0 → Industrie 4.0-Themenkompetenz	▪ Vermittlung von Fachwissen und Fertigkeiten für spezielle Tätigkeiten (Aus- und Weiterbildung) ▪ Annäherung zur realen Produktion → Berufliche Handlungs-, Fach- und Methodenkompetenz
Einsatz	▪ Stakeholder-Interaktion ▪ Lehre ▪ Aus- und Weiterbildung ▪ Forschung → Disziplinübergreifend	▪ Lehre ▪ Aus- und Weiterbildung ▪ Forschung → Vermehrt in der Metall-/Elektroindustrie
Zielgruppen	▪ Schüler, Studierende, Auszubildende (Ausbildung) ▪ Facharbeiter, Management, Betriebsräte, öffentliche Hand, Verbände, Gewerkschaften, Wissenschaft etc. (Interaktion und Weiterbildung) ▪ Internationale Delegationen (Weiterbildung)	▪ Studierende und Auszubildende (Ausbildung) ▪ Facharbeiter (Weiterbildung)
Größe	▪ < 5 qm → Modular und variabel	▪ > 15 qm → Umfassende Raumanforderungen
Wandlungsfähigkeit	▪ Portabel ▪ (Sub-) Modular → Flexibel; einfach und kostengünstig konfigurierbar	▪ Ortsgebunden ▪ Teilweise modular → Statisch; aufwändige und kostenintensive Anpassungen

Abstraktionsgrad	▪ Hoch (modellierte und simulierte Prozesse, Anlagen und Werkstücke – jedoch nach Industriestandards) → Starke didaktische Reduktion	▪ Mittel bis gering (authentisch mit realen, industriellen Anlagen, Arbeitsmitteln und Werkstücken) → Geringe didaktische Reduktion
Komplexität	▪ Variabel; entsprechend der anvisierten didaktischen Reduktion	▪ Hoch durch die Authentizität industrieller Wertschöpfung
Immersionsgrad	▪ Durch AR- und VR-Brille möglich → Gering (Umgebungssimulation)	▪ Durch AR- und VR-Brille möglich → Hoch (reale Umgebung)
Industrie 4.0-Dimensionen	▪ Technologie ▪ Mensch ▪ Organisation	▪ Technologie ▪ Mensch
Wertschöpfungscharakter	▪ Didaktisch aufbereitete Simulation von Werkstoffen und Produkten	▪ Reale Werkstücke bis zu (teil-) einsatzfähigen Produkten
Infrastrukturanforderungen	▪ Stromanschluss 230 V, 50 Hz ▪ Internetanschluss → Einfach zu integrieren	▪ Starkstromanschluss 400 V, 50 Hz ▪ Luftanschluss ▪ Internetanschluss → Aufwändig zu integrieren
Standardisierung	▪ Gering; Individualkonstruktionen oder stark modifizierte Standardkomponenten → Keine Herstellerfokussierung	▪ Mittel; Anbieterstandards → Übertragbarkeit der Lernsituationen oder Handreichungen auf Anlagen anderer Hersteller erschwert
Kostenintensität	▪ Umfangreiche Lösungen im niedrigen fünfstelligen Bereich realisierbar ▪ Keine räumlichen Umbauten notwendig ▪ Geringe Infrastrukturanforderungen → Überschaubare Investitionskosten	▪ Durchschnittliche Lösungen im mittleren sechsstellige Bereich realisierbar ▪ Ggf. räumliche Umbauten erforderlich ▪ Mittlere Infrastrukturanforderungen → Hohe Investitionskosten
Multidisziplinarität	▪ Ausgeprägt ▪ Weites Themenspektrum ▪ Integration vieler Stakeholder-Gruppe → Sehr geeignet	▪ Gering ▪ Hohe Fachtiefe ▪ Fokussierung auf spezifische Stakeholder-Gruppen → Weniger geeignet
Kompetenzvermittlung	▪ Themenkompetenz ▪ Systemübergreifende Kompetenz (Verstehen und Durchdringen) ▪ Für generelle Sachkenntnis	▪ Berufliche Handlungskompetenz ▪ Fachkompetenz (Wissen und Fertigkeiten) ▪ Methodenkompetenz ▪ Für spezifische Tätigkeiten

	→ Breite Kompetenzvermittlung	→ Tiefe Kompetenzvermittlung
Didaktische Integration[1]	▪ Hochschulbildung: fortgeschritten ▪ Berufliche Schulen: nicht vorhanden → Fundierte Konzepte sind zu entwickeln	▪ Hochschulbildung: fortgeschritten ▪ Berufliche Schulen: rudimentär vorhanden → Umfangreichere und konkretisierte Konzepte notwendig
Integration betriebswirtschaftlicher Systeme	▪ Zu ergänzen → Partiell gemeinsame Beschulung durch übergreifende Themen erleichtert	▪ Zu ergänzen → Partiell gemeinsame Beschulung durch Thementiefe erschwert

Tabelle 4: Gegenüberstellung von Industrie 4.0-Demonstratoren und Lernfabriken

5 (Aus-) Bildungsperspektiven – Einsatzmöglichkeiten von Industrie 4.0-Demonstratoren in der Lehre

Nachdem im vorangegangen Unterkapitel auf das gesamte Spektrum der Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsszenarien von Industrie 4.0-Demonstratoren wie PID4CPS eingegangen wurde, erfolgt in diesem eine dezidierte Betrachtung der Verwendungsoptionen in der Lehre sowie Aus-, Fort- und Weiterbildung, aufgeschlüsselt nach unterschiedlichen Ebenen des Bildungswesens.

5.1 Einsatz in der Schulbildung

Demonstratoren können zu einem bedeutenden didaktischen Medium zur Vermittlung von Themen im Kontext der digitalen Transformation und von Industrie 4.0 in der Schulbildung entwickelt werden. Die Lernenden erhalten durch den Demonstrator einen ersten Kontaktpunkt zu industriellen Technologien und Konzepten. Dabei können der bestehende Wissensstand zur Digitalisierung und die Kenntnisse zur Verwendung von HCI-Geräten aus der Lebensrealität der Schüler und den sich daraus ergebenden Anwendungsfeldern auf die Industriedomäne übertragen werden. Dabei erlangen sie einen Eindruck von den Auswirkungen der Digitalisierung auf Produktionsprozesse und Arbeitswelten. Aufgrund der reduzierbaren Komplexität von

[1] Bestimmung relevanter Kompetenzanforderungen sowie -erfassung, -entwicklung und -transfer in die berufliche Praxis.

Demonstratoren können die Modelle und Simulationen dieser auf ein adäquates Niveau für den entsprechenden Bildungsstand, der sich aus Schulform, Jahrgangsstufe und Fachtiefe ergibt, angepasst werden. Auch die Portabilität der Demonstratoren ist eine positive Eigenschaft für den Einsatz in der schulischen Bildung. Die Lerneinheiten am Demonstrator können in den Schulräumlichkeiten durchgeführt werden, um kurze Wege und eine gewohnte Lernumgebung sicherzustellen. So können die Lernenden die Simulation digitalisierter Wertschöpfung in diesem Umfeld interaktiv erleben und verschiedenste Fragestellungen im Kontext des exemplarischen Lernens veranschaulicht und beantwortet bekommen. Dazu bietet sich didaktisch ein Methodenmix an. So kann der Einstieg in Form von Vorträgen zu Technologien und Prozessen, unterfüttert mit anschaulichen betrieblichen Beispielen, erfolgen. In Planspielen sowie Hackathons probieren und erleben die Lernenden daraufhin selbst den Umgang mit einzelnen Technologien und Prozessen am Demonstrator, was tiefgründige und abwechslungsreiche Einblicke ermöglicht. Auf diesem Weg kann eine frühzeitige Themensensibilisierung für die digitale Transformation der Industrie erfolgen und das Interesse für MINT-Fächer gefördert werden. An weiterführenden Schulen können Demonstratoren dazu genutzt werden, Themen und Tätigkeitsfelder bestimmter Ausbildungsberufe und Studiengänge aufzuzeigen und somit einen wichtigen Beitrag zur Berufsorientierung zu leisten.



Abbildung 2: Einsatz des Industrie 4.0-Demonstrators PID4CPS bei der Veranstaltung Coding&Robotik4Kids von IT@School für den Primar- und Sekundabereich

Die Anwendung des Industrie 4.0-Demonstrators PID4CPS zur Vermittlung physisch/virtueller Industrietechnologien und Prozesse im Beisein von Schülern des Primar- und Sekundabereichs im Rahmen der Veranstaltung *Coding&Robotik4Kids* ist in Abbildung 2 zu sehen.

5.2 Einsatz in der Hochschulbildung

Ebenso können Industrie 4.0-Demonstratoren im tertiären Bereich des Bildungssystems eingesetzt werden. Im Rahmen von Vorlesungen, Planspielen, Seminaren etc. dienen sie dazu, fachspezifische, aber insbesondere auch fachübergreifende Inhalte bezüglich der Digitalisierung industrieller Wertschöpfung zu vermitteln. Namentlich ist dies gerade für die Ingenieurs-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften sowie die Informatik relevant. Aber auch andere Disziplinen, wie Rechtswissenschaften oder Pädagogik, können am Demonstrator relevante Aspekte ihrer Fachrichtung aufzeigen und vermitteln. So können Demonstratoren dazu beitragen, disziplinäre Silos aufzubrechen und die Relevanz anderer Fachrichtungen für die digitale Transformation herauszustellen. Curriculare Veranstaltungen mit gemeinsamer Unterrichtung und Kollaboration von Studierenden verschiedener Fachrichtungen stellen diesbezüglich eine Option von Demonstratoren in Funktion eines Grenzobjekts dar. Auf diesem Weg findet eine Sensibilisierung für die Verknüpfung der Dimensionen von Industrie 4.0 – Technologie, Mensch und Organisation – statt. In vielen Lehrformaten lässt sich darüber hinaus der Theorieanteil durch eine praxisorientierte Komponente ergänzen, die gleichzeitig einen höheren Interaktivitätsgrad mit sich bringt. So sind Arbeiten an industrienahen Problem- und Fragestellungen direkt im Rahmen von Vorlesungen im Hörsaal möglich.

Die Verwendung des Demonstrators PID4CPS im Rahmen der studiengangübergreifenden Wirtschaftsinformatikvorlesung mit Planspielcharakter *Innovation Technology II* an der FAU wird in Abbildung 3 gezeigt.



Abbildung 3: Einsatz des Industrie 4.0-Demonstrators PID4CPS in einer universitären Vorlesung

5.3 Einsatz in der betrieblichen und verbandsbasierten Aus- und Weiterbildung

Die betriebliche und verbandsbasierte Aus- und Weiterbildung zielt maßgeblich darauf ab, die sie durchlaufenden Personen hinsichtlich bestimmter Berufe und damit verknüpfter Aufgaben zu qualifizieren. Damit steht überwiegend die Entwicklung und Ausprägung von beruflichen Handlungs-, Fach- und Methodenkompetenzen im Vordergrund. Für die vollumfängliche Erfüllung industrieberuflicher Aufgaben, die zunehmend auch die Antizipation von Ungewissheiten sowie schnelle und fundierte Reaktionen auf Veränderungen verlangen, stellt die Themenkompetenz eine zusehends wichtige Voraussetzung dar. Die Einordnung von Ereignissen und Situationen des Wertschöpfungsprozesses, mit Bezug zur eigenen Rolle und zum eigenen Handeln, in den übergeordneten Gesamtkontext stellt dafür ein konkretes Beispiel dar. Da Industrie 4.0-Demonstratoren zur Vermittlung dieser Themenkompetenz prädestiniert sind, bietet es sich an, diese als Ergänzung in bestehende Formate der Aus- und Weiterbildung zu integrieren. Auszubildenden wird es dadurch erleichtert, das in Unterrichtseinheiten oder Lernfabriken erlangte Wissen zu Arbeitsplätzen, -bedingungen, -qualifizierung, Assistenzsystemen etc. in ein ganzheitliches Fähigkeitsprofil zu überführen. In diesem Kontext können auch neue (Zusatz-) Zertifizierungen entwickelt werden, die das Ablegen bestimmter Module im Rahmen eines Bildungsformats quittieren. Industrie 4.0-Demonstratoren können darüber hinaus dazu

eingesetzt werden, Auszubildende darauf vorzubereiten, dass sich betriebliche Rollen und Arbeitswelten im Rahmen der digitalen Transformation fortlaufend verändern und somit kontinuierlicher Kompetenzerwerb sowie lebenslanges Lernen notwendig sein werden. Da der Betrieb von Industrie 4.0-Demonstratoren deutlich kostengünstiger ist als der von Lernfabriken, können diese auch immer dann herangezogen werden, wenn die jeweiligen Aus- oder Weiterbildungsinitiativen mit beiden Formaten möglich sind. Beispiele hierfür sind die SPS-Programmierung und -Steuerung sowie Dashboard-Entwicklung. Ebenso wie in der universitären oder hochschulischen Bildung ermöglichen Demonstratoren in der betrieblichen und verbandsbasierten Aus- und Weiterbildung die Interaktion Auszubildender verschiedener Bildungsgänge. Am Grenzobjekt können diese so die Kollaboration unterschiedlicher Berufsgruppen und Rollen für die betriebliche Praxis kennenlernen und verinnerlichen.

Eine PID4CPS-basierte Weiterbildungsmaßnahme einer Gruppe von Ingenieuren und Informatikern im Rahmen einer verbandsorgansierten Delegationsreise zum Thema *Industrie 4.0 – Eine kompakte Einführung in den Exportschlager aus Deutschland* ist in Abbildung 4 ersichtlich.



Abbildung 4: Einsatz des Industrie 4.0-Demonstrators PID4CPS in einer verbandsbasierten Weiterbildung

6 Fazit und Ausblick

Mit Industrie 4.0-Demonstratoren ist ein neues Stakeholder-zentriertes Format mit breitem Anwendungsspektrum im Kontext der digitalen Transformation industrieller Wertschöpfung entstanden. Neben dem Systementwicklungs- und -gestaltungsprozess in Unternehmen und Organisationen sowie der Umsetzungsvorstellung von Industrie 4.0 in Deutschland für internationale Delegationen bietet der Einsatz von Demonstratoren große Potentiale für die Wissensvermittlung und -anwendung in Bildungseinrichtungen. Insbesondere mit der Zielstellung der Themenkompetenzvermittlung rund um die Digitalisierung in der Industrie können Demonstratoren als eigenständiges Lehr-/Lernmedium eingesetzt werden. Gleiches gilt, wenn diese als Grenzobjekte zur Interaktion unterschiedlicher Ausbildungs- und Berufsgruppen herangezogen werden. Wenn neben der Themenkompetenz auch die berufliche Handlungs-, Fach- und Methodenkompetenz im Fokus steht, bietet sich ein ergänzender Einsatz von Industrie 4.0-Demonstratoren mit Lernfabriken an. Entsprechend der Bildungszielstellung können räumlich und zeitlich getrennte oder aber parallele und simultane Verwendungen der beiden Formate erfolgen. Dabei werden die jeweiligen Vorteile und Stärken von Demonstratoren und Lernfabriken ergänzend ausgenutzt und die vorliegenden Nachteile und Schwächen ausgeglichen.

Für Schüler, Studierende sowie Aus- und Weiterzubildende ergibt sich durch die Verwendung von Industrie 4.0-Demonstratoren ein innovativer, interaktiver und integrativer Zugang zu Themenkompetenz, beginnend bei der digitalen Grundbefähigung bis zur Industrie 4.0-Fachexpertise. Neben spezifischen Digitalisierungsthemen erlernen sie darüber hinaus essentielle Bestandteile moderner Arbeitsgestaltung wie Eigenverantwortung, -initiative, Motivation, Selbst- und Verantwortungsbewusstsein – jeweils unter der Prämisse der digitalen Transformation – kennen. Darüber hinaus wird eine gestaltungsorientierte Grundausrichtung vermittelt, um Lösungsorientierung, kreatives Denken und den Willen, Neues zu schaffen auszuprägen. Die Lernenden werden dadurch zu Neugier, Entschlussfreude und eigenständigem Handeln ermutigt. Allgemein lässt sich dabei eine Verschiebung der Lehr-/Lernsituationen hin zur Co-Kreation von Kompetenzen erreichen.

Aufgrund der großen Potentiale von Industrie 4.0-Demonstratoren für die Lehre und Kompetenzvermittlung spricht vieles für eine weitreichende Implementierung dieser in die Infrastruktur und Curricula von Bildungseinrichtungen des Primar-, Sekundar- und Tertiärbereichs. Vorhandene Referenzarchitekturen (Oks et al., 2019), bereits etablierte Instanziierungen wie

PID4CPS, vergleichsweise überschaubare Investitionskosten sowie die Verfügbarkeit von Förderformaten wie dem *DigitalPakt Schule* (DigitalPakt Schule, 2020) sind gute Grundvoraussetzungen für Implementierungsvorhaben. Um diese weiter zu vereinfachen und Entscheidungsträger in Bildungseinrichtungen bei der Auswahl, Anschaffung, Installation und beim Betrieb von Industrie 4.0-Demonstratoren zu unterstützen, stellen Themen wie die Standardisierung und Zertifizierung von Hardware- und Softwaremodulen sowie Lehr-/Lernkonzepten die in absehbarer Zukunft wichtigsten Handlungsschritte dar.

Danksagung

Die Ergebnisse dieser Publikation sind u. a. im Rahmen der Projekte Ressourcen-Cockpit für sozio-cyber-physische Systeme (S-CPS) (FKZ 02PJ4027) und Engineering produktionsbezogener Dienstleistungssysteme (PRODISYS) (FKZ 02K16C056), die durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten wurden, entstanden. Darüber hinaus sind Erkenntnisse aus dem Projekt Sustainable Smart Industry, das im Rahmen der Emerging Fields Initiative durch die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg gefördert wurde, eingeflossen. Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung und der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg für die Förderung. Darüber hinaus wird dem Unternehmen Siemens für die Unterstützung und Kooperation bei der Realisierung von PID4CPS gedankt.

Literaturverzeichnis

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.

Ahrens, D. & Spöttl, G. (2018). Industrie 4.0 und Herausforderungen für die Qualifizierung von Fachkräften. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit: Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen* (2. Aufl., S. 184–205). Nomos.

Andelfinger, V. P. & Hänisch, T. (Hg.). (2017). *Industrie 4.0: Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern*. Springer Gabler.

Bossel, H. (1994). *Modeling and Simulation*. Vieweg+Teubner.

Brecher, C. & Brockmann, M. (2020). Vernetzte Produktion durch Digitale Schatten – Werkzeugmaschine 4.0. In W. Frenz (Hg.), *Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft* (S. 543–552). Springer Berlin Heidelberg.

Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2017). *Industrie 4.0: Innovationen für die Produktion von morgen*. Die neue Hightech-Strategie. Bonn.

DigitalPakt Schule (2020). Abgerufen am 15. September 2020 von https://www.digitalpakt-schule.de.

ElMaraghy, W., ElMaraghy, H., Tomiyama, T. & Monostori, L. (2012). Complexity in Engineering Design and Manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, *61*(2), 793–814.

Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (Hg.). (2013). *Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung* (8., Auflage). Springer Vieweg.

Fox, N. J. (2011). Boundary Objects, Social Meanings and the Success of New Technologies. *Sociology*, *45*(1), 70–85.

Fuchs, J., Oks, S. J. & Franke, J. (2019). Platform-Based Service Composition for Manufacturing: A Conceptualization. *Procedia CIRP*, *81*, 541–546.

Geisberger, E. & Broy, M. (2015). *Living in a Networked World: Integrated Research Agenda, Cyber-Physical Systems (AgendaCPS)* (Acatech Study). München.

Gronau, N., Ullrich, A. & Bender, B. (2017). Hybride Lernfabrik im Anwendungszentrum Industrie 4.0: Szenariobasiertes Lernen im Industrial Internet of Things-Labor. In N. Gronau (Hg.), *Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation (WGAB) e.V. Industrial Internet of Things in der Arbeits- und Betriebsorganisation* (S. 1–24). GITO Verlag.

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J. & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, *28*(1), 75–105.

Heyer, I., Reuter, M. & Oberc, H. (2018). *Das Seminarkonzept der Bochumer Lernfabrik*. Frankfurt am Main. IG Metall Vorstand.

Hornung, G. & Hofmann, K. (2018). Datenschutz als Herausforderung der Arbeit in der Industrie 4.0. In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit: Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen* (2. Aufl., S. 165–182). Nomos.

Huchler, N. (2016). Die ‚Rolle des Menschen' in der Industrie 4.0 – Technikzentrierter vs. humanzentrierter Ansatz. *Arbeits- und Industriesoziologische Studien*, *9*(1), 57–79.

IG Metall Vorstand/1. Vorsitzender. (2018). *Industrie 4.0 gestalten lernen: Lernfabriken für die gewerkschaftliche Arbeit nutzen*. Frankfurt.

Kagermann, H. (2015). Change through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0. In H. Albach, H. Meffert, A. Pinkwart & R. Reichwald (Hg.), *Management of Permanent Change* (S. 23–45). Springer.

Karafyllis, N. C. (2019). Soziotechnisches System. In K. Liggieri & O. Müller (Hg.), *Mensch-Maschine-Interaktion: Handbuch zu Geschichte - Kultur - Ethik* (S. 300–303). J.B. Metzler.

Kemény, Z., Nacsa, J., Erdős, G., Glawar, R., Sihn, W., Monostori, L. & Ilie-Zudor, E. (2016). Complementary Research and Education Opportunities—A Comparison of Learning Factory Facilities and Methodologies at TU Wien and MTA SZTAKI. *Procedia CIRP*, *54*, 47–52.

Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C. & Voigt, K.-I. (2017). Sustainable Industrial Value Creation: Benefits And Challenges Of Industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, *21*(8), 1–34.

Koch, V., Kuge, S., Geissbauer, R. & Schrauf, S. (2014). *Industrie 4.0: Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution.* Strategy&; PWC.

Lee, J., Bagheri, B. & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems. *Manufacturing Letters*, *3*, 18–23.

Madni, A. M. & Sievers, M. (2014). System of Systems Integration: Key Considerations and Challenges. *Systems Engineering*, *17*(3), 330–347.

McDermid, J., Cengarle, M. V., Törngren, M. & Runkler, T. (2014). *CyPhERS Cyber-Physical European Roadmap & Strategy: Market and Innovation Potential of CPS*. Deliverable D3.2.

Moultrie, J. (2015). Understanding and Classifying the Role of Design Demonstrators in Scientific Exploration. *Technovation*, *43-44*, 1–16.

Mourtzis, D., Fotia, S., Boli, N. & Vlachou, E. (2019). Modelling and Quantification of Industry 4.0 Manufacturing Complexity Based on Information Theory: A Robotics Case Study. *International Journal of Production Research*, 1–14.

Oks, S. J., Fritzsche, A. & Möslein, K. M. (2017a). An Application Map for Industrial Cyber-Physical Systems. In S. Jeschke, C. Brecher, H. Song & D. B. Rawat (Hg.), *Springer Series in Wireless Technology. Industrial Internet of Things* (S. 21–46). Springer International Publishing.

Oks, S. J., Fritzsche, A. & Möslein, K. M. (2017b). Rollen, Views und Schnittstellen - Implikationen zur stakeholderzentrierten Entwicklung Sozio-Cyber-Physischer Systeme. In A. C. Bullinger-Hoffmann (Hg.), *Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement. Abschlussveröffentlichung: S-CPS: Ressourcen-Cockpit für Sozio-Cyber-Physische Systeme* (S. 61–80). aw&I - Wissenschaft und Praxis.

Oks, S. J., Fritzsche, A. & Möslein, K. M. (2018). Engineering Industrial Cyber-Physical Systems: An Application Map Based Method. *Procedia CIRP*, *72*, 456–461.

Oks, S. J., Jalowski, M., Fritzsche, A. & Möslein, K. M. (2019). Cyber-Physical Modeling and Simulation: A Reference Architecture for Designing Demonstrators for Industrial Cyber-Physical Systems. *Procedia CIRP*, *84*, 257–264.

Pittschellis, R. (2015). Multimedia Support for Learning Factories. *Procedia CIRP*, *32*, 36–40.

QuartRevo (2020). Abgerufen am 15. September 2020 von https://quartrevo.de.

Richter, A., Heinrich, P., Stocker, A. & Unzeitig, W. (2015). Der Mensch im Mittelpunkt der Fabrik von morgen. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, *52*(5), 690–712.

Scheid, R. (2017). Kaufmännische Perspektiven der Lernfabriken in Baden-Württemberg. In K. Wilbers (Hg.), *Texte zur Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung: Bd. 19. Industrie 4.0: Herausforderungen für die kaufmännische Bildung* (S. 93–108). epubli.

Schenk, M., Straßburger, S. & Kißner, H. (2005). Combining Virtual Reality and Assembly Simulation for Production Planning and Worker Qualification. In M. Zäh & G. Reinhart (Hg.), *1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005)* (S. 411–414). Utz.

Schuh, G., Potente, T., Thomas, C. & Hempel, T. (2014). Short-Term Cyber-Physical Production Management. *Procedia CIRP*, *25*, 154–160.

Sokolowski, J. A. & Banks, C. M. (Hg.). (2009). *Modeling and Simulation Fundamentals: Theoretical Underpinnings and Practical Domains*. Wiley.

Staples, D.S., Wong, I. & Seddon, P. B. (2002). Having Expectations of Information Systems Benefits that Match Received Benefits: Does it Really Matter? *Information & Management*, *40*(2), 115–131.

Steffen, M., Frye, S. & Deuse, J. (2013). Vielfalt Lernfabrik: Morphologie zu Betreibern, Zielgruppen und Ausstattungen von Lernfabriken im Industrial Engineering. *wt Werkstattstechnik online*, *103*(3), 233–239.

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B. & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, *27*(3), 425–478.

Weidenmann, B. (2002). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozeß. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hg.), *Information und Lernen mit Multimedia: Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Aufl., 45-62). Psychologie Verl.-Union.

Wilbers, K. (2017). Industrie 4.0 und Wirtschaft 4.0: Eine Chance für die kaufmännische Berufsbildung. In K. Wilbers (Hg.), *Texte zur Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung: Bd. 19. Industrie 4.0: Herausforderungen für die kaufmännische Bildung* (S. 9–52). epubli.

Andrea Bianchi-Weinand & Manfred Wannöffel

Lernfabriken an Hochschulen - eine innovative Lernumgebung zur Vermittlung interdisziplinären Wissens?

In den letzten 12 Jahren sind an Hochschulen zunehmend Lernfabriken eingerichtet worden. Sie vermitteln etablierte und innovative ingenieurwissenschaftliche Themenbereiche und Technologien, weisen unterschiedliche didaktische Konzeptionen auf und sprechen verschiedene Zielgruppen an. Nicht nur angesichts ihrer Variantenvielfalt kommt die Frage nach ihrer Rolle innerhalb von Hochschulen auf. Dabei sind auch die interdisziplinären Ausrichtungen, die Lernfabriken aufweisen und sich in vielfältiger Weise manifestieren können, von Relevanz.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 161

2 Lernfabriken an Hochschulen 162

2.2 Erscheinungsformen und Forschungsstand 162

2.2 Didaktische Parameter des Lehrangebots in Lernfabriken 163

2.3 Interdisziplinarität in Lernfabriken 165

2.4 Didaktische Konzeption interdisziplinärer Inhalte 167

2.5 Handlungsempfehlungen für die Integration interdisziplinärer Inhalte 168

3 Fazit 170

Literaturverzeichnis 172

1 Einleitung

Lernfabriken an Hochschulen sind als neue Lernorte beispielsweise in den Ingenieurwissenschaften zu finden und sind oftmals Einrichtungen mit einem realitätsnahen Umfeld und direktem Zugriff auf Produktionsprozesse (Abele et al., 2015).

Hochschulen nehmen in der Gesellschaft und Wirtschaft eine besondere Rolle ein und stehen dabei vor großen gesellschaftlichen Herausforderungen (HRK-Senat, 2018). Einige dieser Herausforderungen weisen direkte Berührungspunkte mit Lernfabriken auf. Abhängig von ihren didaktischen und inhaltlichen Ausrichtungen bedeutet dies, dass Lernfabriken auch dazu beitragen können, bestimmte hochschulpolitische Leitbilder und Maximen zu unterstützen.

So sehen sich Hochschulen unter anderem in der Verantwortung, eine herausragende Lehre zu sichern, in der wissenschaftliches Fachwissen, Persönlichkeitsbildung, Vorbereitung auf den Arbeitsmarkt und gesellschaftliches Engagement Berücksichtigung finden. Es ist anzunehmen, dass gerade Lernfabriken durch den problem- und handlungsorientierten Ansatz und den hohen Grad an erforderlicher Selbstständigkeit hinsichtlich der Persönlichkeitsbildung und des Erwerbs von Schlüsselqualifikationen sowie sozialer Kompetenz weitaus mehr Förderpotentiale bergen als herkömmliche Lehrangebote an Hochschulen. Im Rahmen wissenschaftlicher Debatten wird schon seit langem gefordert, dass die Ingenieurwissenschaft mehr Gesellschaftsverantwortung übernehmen sollte (Kaßebaum & Wannöffel 2018; Wissenschaftsrat, Juli 2008). Technisch-funktionale Aspekte sollten durch den Anwendungsbezug, durch ästhetische, ökonomische, gesellschaftspolitische und soziotechnische Gesichtspunkte erweitert werden (Expertenkommission, 2015; Kaßebaum & Wannöffel, 2018). IT-Experten und Ingenieure könnten soziale Verantwortung übernehmen, indem sie den Blick auf Arbeits- und Beschäftigungsbedingungen und Fragen der sozialen Produkt- und Prozessgestaltung öffnen (Kaßebaum & Wannöffel, 2018). In dieser Hinsicht könnten Lernfabriken interdisziplinäre Verknüpfungen herstellen.

Hochschulen engagieren sich im Forschungstransfer als Impulsgeber für technische und soziale Innovationen (HRK-Senat, 2018). Lernfabriken erforschen und thematisieren aktuelle und zukunftsweisende technologische Entwicklungen auch und gerade hinsichtlich der Digitalisierung der Arbeitswelten. In dieser Hinsicht scheint es umso wichtiger, auch den Faktor Mensch mit seinen Sozialkompetenzen und sozialen Strukturen bei den erforderlichen Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen einzubinden und seine aktive Beteiligung auch bei der Implementierung von digitalen Technologien und den damit verbundenen Arbeitsanforderungen

und Qualifikationen zu stärken. Genau an dieser Stelle ist der didaktischen Konzeption von Lernfabriken und der potentiellen Implementierung interdisziplinärer Inhalte wie beispielsweise betriebs- und organisationssoziologischer Themen eine besondere Relevanz zuzuschreiben.

Nicht nur im Bereich der Weiterbildung, sondern auch im Studium können Teilnehmern unterschiedlicher Fachrichtungen handlungs- und praxisorientiert Lerninhalte aus dem Bereich der Ingenieurwissenschaften, aber auch der Gesellschaftswissenschaften vermittelt werden. Im Zuge verschiedener Reformen wurden Hochschulen in Deutschland neue Aufgaben zugeschrieben, u. a. Studierende für gesellschaftspolitische Verantwortung zu sensibilisieren. Gerade in den Ingenieurwissenschaften, die entscheidend den Wandel von Technik determinieren und somit unweigerlich Einfluss auf soziotechnische Systeme ausüben, ist eine Sensibilisierung der Studierenden für derartige Verantwortungsübernahme unabdingbar. Dabei kommt interdisziplinären Strukturen generell sowie betriebs- und organisationssoziologischen Kenntnissen im Besonderen eine wichtige Bedeutung zu. Wären insofern Lernfabriken an Hochschulen nicht prädestinierte Lernorte für eine praxisorientierte Sensibilisierung derartiger interdisziplinärer Themen?

2 Lernfabriken an Hochschulen

2.2 Erscheinungsformen und Forschungsstand

Bei hohem Praxisbezug, den Lernfabriken aufweisen, können Lernfabriken inhaltlich und didaktisch unterschiedlich ausgestaltet sein. Je nach Ausgestaltung lassen sich innerhalb der Hochschullandschaft beispielsweise sogenannte virtuelle Lernfabriken, Demonstrationsfabriken und Modellfabriken finden (Abele et al., 2017; IG Metall Vorstand, 2018). Dabei unterliegen diese Bezeichnungen keinen speziellen Definitionen, sondern werden teilweise beschreibend verwendet.

Lernfabriken an Hochschulen sind wissenschaftlich wenig erforscht, wenngleich in den letzten Jahren Netzwerke von Lernfabriken entstanden sind (IELF Initiative on European Learning Factories, NIL Netzwerk Innovativer Lern- und Forschungsfabriken, IALF International Association of Learning Factories), sie Untersuchungsgegenstand verschiedener Arbeitsgruppen sind und diverse Beschreibungsmodelle für Lernfabriken entwickelt wurden (Abele et al., 2015). Im Rahmen einer CIRP Arbeitsgruppe (College International pour la Recherche en Productique , in engl. International Academy for Production Engineering) wurde im internationalen

Kontext beispielsweise eine komplexe „Learning Factory Morphology“ ausgearbeitet, mit der Lernfabriken anhand von sieben Dimensionen, darunter Betreibermodell, Didaktik, Produkt, Produktionsprozess, beschrieben werden können (Abele et al., 2015; Abele et al., 2017).

In einem von der Hans-Böckler-Stiftung geförderten Forschungsprojekt der Ruhr-Universität Bochum ("Lernfabriken an Hochschulen", 2017-2020) wurden Lernfabriken an Hochschulen in Deutschland erfasst und mittels einer quantitativen Online-Erhebung hinsichtlich ihres Betreibermodells, ihrer Lern- und Forschungsinhalte, ihrer Produktionsprozesse sowie ihrer didaktischen Konzeption untersucht (Heinze, Kreimeier & Wannöffel, 2020 i. E.). Die curricularen Ausrichtungen und didaktisch-methodischen Konzepte wurden darüber hinaus mittels explorativer Experteninterviews mit Verantwortungsträgern der Lernfabriken / Hochschulen (face-to-face und telefonisch) qualitativ erforscht. Interdisziplinäre, insbesondere betriebs- und organisationssoziologische Inhalte, waren dabei von besonderer Relevanz. Grundlage der Analyse des quantitativen und qualitativen Forschungsansatzes sind diejenigen Lernfabriken, die der Definition der Initiative on European Learning Factories entsprechen, nämlich Lernfabriken mit realitätsnahem Produktionsumfeld, realen Produkten, direktem Zugriff auf neue Produktionsprozesse und -bedingungen und mit einem didaktischen Konzept, das problem- und handlungsorientiertes Lernen ermöglicht (Initiative on European Learning Factories, 2013). Für die Online-Befragung, auf deren Teilergebnisse im Folgenden Bezug genommen wird, qualifizierten sich 30 Lernfabriken an Hochschulen.

2.2 Didaktische Parameter des Lehrangebots in Lernfabriken

Lernfabriken fungieren als Bindeglied zwischen theoretischem Wissen und direkter Transformation von Erfahrungswissen in die Praxis (Steffen, Frye & Deuse, 2013). Eine einheitliche didaktische Konzeption existiert nicht, zu unterschiedlich sind die einzelnen Parameter, die bei den Lehrmodulen in Lernfabriken berücksichtigt werden müssen. Quantitativ ermittelt, lassen sich jedoch folgende Tendenzen erkennen:

Problem- und handlungsorientierte Lernfabriken weisen ein breites Spektrum an Themengebieten auf (Sudhoff, Prinz & Kuhlenkötter, 2020; Sudhoff, 2020 i. E.). Diese entstammen vornehmlich den ingenieurwissenschaftlichen Themen- und Interessengebieten. Hier sind vor allem die Bereiche Verbesserung von Produktionsprozessen und Digitalisierung zu nennen, aber auch die Fabrikplanung und Intralogistik. Neuere Technologiebereiche wie Embedded

Systems oder Künstliche Intelligenz hingegen stellen deutlich seltener Lerninhalte in Lernfabriken dar.

Lernfabriken können sich an unterschiedliche Zielgruppen richten (Sudhoff, Prinz & Kuhlenkötter, 2020; Sudhoff, 2020 i. E.), die sich in zwei Lerngruppen unterteilen lassen: Neben Studierenden der Hochschulen lernen auch Beschäftigte im Rahmen von Weiterbildungsprogrammen in Lernfabriken an Hochschulen. Nicht-ingenieurwissenschaftliche Studiengänge kommen jedoch deutlich seltener in Kontakt mit einer Lernfabrik als Bachelor- oder Masterstudierende der Ingenieurwissenschaften. In Weiterbildungsprogrammen lassen sich Arbeitnehmer/-innen aus unterschiedlichen Bereichen finden. Dazu gehören vor allem Fachkräfte, Unternehmer/-innen sowie Beschäftigte des Managements und der Geschäftsführung. Wenn auch deutlich seltener, so zählen Promovierende und auch Schülerinnen und Schüler zur Zielgruppe in Lernfabriken an Hochschulen. Vereinzelt werden auch betriebliche Interessenvertreterinnen und -vertreter, Betriebsratsmitglieder sowie Gewerkschafterinnen und Gewerkschafter als Zielgruppe angesehen.

Die Verknüpfung von theoretischem mit praktischem Erfahrungswissen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Theoretische Inhalte werden bei Studierenden und Beschäftigten in der Weiterbildung hauptsächlich im Wechsel mit praktischen Phasen vermittelt (Sudhoff, 2020 i. E.). Bei den Studienangeboten geschieht dies zudem häufig auch vor den praktischen Phasen oder flexibel nach Bedarf.

Hinsichtlich der Lehr-/Lernmethoden zeigt sich, dass bei Studierenden vornehmlich Projektarbeiten mit offener Vorgehensweise wie beispielsweise Konstruktions- und Fertigungsaufgaben oder Fehlerdiagnosen, Gruppen/-Partnerarbeit, Demonstrationen sowie Instruktionen durchgeführt werden (Sudhoff, 2020 i. E.). Im Weiterbildungsangebot findet man hauptsächlich Demonstrationen, Gruppen/-Partnerarbeit und Instruktionen. Theoriewissen wird bei Studierenden deutlich häufiger vor praktischen Phasen gelehrt und kann somit bei Projektarbeiten gezielter genutzt werden. Homogenere Gruppenstrukturen oder auch anders gelagerte Lernziele können ebenso ursächlich dafür sein, dass Projektarbeiten mit offener Vorgehensweise bei Studierenden deutlich häufiger eingesetzt werden als in der Weiterbildung.

Bei der didaktischen Konzeption ist letztlich die Lernzielkontrolle ein nicht zu vernachlässigender Planungsfaktor. Auch in Lernfabriken finden Lernzielkontrollen statt. Lernziele werden in beiden Zielgruppen hauptsächlich durch praktische Übungen kontrolliert (Sudhoff, 2020 i. E.). In etwa der Hälfte der Lernfabriken nehmen Studierende darüber hinaus auch an schriftlichen

oder mündlichen Wissenstests teil, schreiben Protokolle, Berichte oder ähnliches oder halten mündliche Vorträge. Im weiterbildendenden Angebot finden weniger Lernzielkontrollen statt. Selbstlernkontrollen werden in beiden Zielgruppen relativ selten eingesetzt.

2.3 Interdisziplinarität in Lernfabriken

Interdisziplinarität lässt sich definieren als „problembezogene Integration von Wissen und Methoden … auf der Ebene wissenschaftlicher Fragestellungen im Überschneidungsbereich verschiedener Disziplinen“ (Jahn 2008, S. 35). Interdisziplinäre Strukturen in Lernfabriken können dadurch gekennzeichnet sein, dass Expertenwissen in fakultativ grenzüberschreitenden systemischen Zusammenhang gebracht wird, wobei auch Denkweisen und Methoden unterschiedlicher Fachrichtungen genutzt werden. Interdisziplinarität manifestiert sich in Lernfabriken auf sehr unterschiedliche Weise (Bianchi-Weinand, 2020 i. E.). Sie kann sich einerseits auf die Zielgruppe beziehen, die in einer Lernfabrik lernt, andererseits aber auch auf die Lerninhalte, die in einer Lernfabrik vermittelt werden. Diese Dimensionen der Interdisziplinarität schließen sich in Lernfabriken nicht gegenseitig aus, sondern können auch kombiniert in Erscheinung treten. In ihrem interdisziplinären Ansatz können Lernfabriken durchaus dazu beitragen, auch überfachliche Qualifikationen zu vermitteln, und kommen somit der Empfehlung des Wissenschaftlichen Beirats hinsichtlich der Konzeption von Lehrveranstaltungen nach (Wissenschaftsrat, Juli 2008).

In ca. der Hälfte der untersuchten Lernfabriken gibt es interdisziplinäre Studienangebote, an denen Studierende verschiedener Fachrichtungen gemeinsam teilnehmen (Sudhoff, 2020 i. E.). Hier handelt es sich hauptsächlich um ingenieurwissenschaftliche Studiengänge, Maschinenbau, Informatik, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen. Kooperationen mit rein gesellschaftswissenschaftlichen Studiengängen, beispielsweise interdisziplinäre Studienangebote mit Studierenden der Sozial- oder Arbeitswissenschaften, wurden nur in Ausnahmefällen genannt.

Inhalte aus dem Bereich der Arbeitswissenschaften beispielsweise finden in Lernfabriken nur insofern Berücksichtigung, als dass sie für ein gefahrlos und unfallfreies Lernen und Arbeiten in der Lernfabrik unumgänglich sind (Bianchi-Weinand, 2020 i. E.). Hierzu zählen beispielsweise Aspekte der Arbeitssicherheit, die jedoch nur als Randthema beim Umgang mit Maschinen bzw. Maschinenrichtlinien demonstriert werden. Auch weitere arbeitswissenschaftliche

Themen im Sinne von Ergonomie und Produktivitätssteigerungen tauchen als Randthemen auf.

Die Themen Mitbestimmung und Beschäftigtenpartizipation werden nur in Ausnahmefällen vermittelt (Sudhoff, 2020 i. E.). Hier ist das Studienangebot der Ruhr-Universität Bochum anzuführen, das die Gemeinsame Arbeitsstelle RUB/IGM zusammen mit dem Lehrstuhl für Produktionssysteme anbietet. Diese bietet seit dem Jahr 2011 eine zweisemestrige Veranstaltung mit Praxissemester und Betriebsprojekt an, in der Studierenden der Ingenieur- und Sozialwissenschaft gemeinsam Themen wie Mitbestimmungsmanagement und lernförderliche Arbeitsgestaltung praxisorientiert vermittelt werden (Wannöffel, 2014).

In der einschlägigen Literatur wird von der „Integration indirekter Prozesse“ gesprochen, was bedeutet, dass Prozesse, die nicht direkt mit der Produktion verbunden sind, in Lernfabriken integriert werden können (Abele et al., 2104, S. 20). Fachbereiche wie beispielsweise der Vertrieb, die Entwicklung und das Ideenmanagement lassen sich entlang der Wertschöpfungskette in Lernfabriken abbilden, womit auch interdisziplinäre Lehr-/Lerninhalte Einzug in Lernfabriken finden und ein fortwährend realitätsnahes Fabrikumfeld geschaffen werden können. Diese Betrachtungsweise erscheint in der Praxis allerdings auf ingenieurwissenschaftliche und einzelne betriebswirtschaftliche Themen und entsprechend auch auf interdisziplinäre Angebote vornehmlich für Studierende dieser Fachgebiete sehr begrenzt.

Ein Unternehmen ist jedoch in gesellschaftliche Institutionen wie das Finanzsystem und das Produktionssystem eingebettet (Pries, 2008). Ebenso ist es in die Institution des Arbeitsmarktes respektive der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eingebunden, die durch rechtliche Rahmenbedingungen, politische, zivile und soziale Bürgerrechte in einem reziproken Verhältnis zu einem Unternehmen stehen (Kaßebaum & Wannöffel, 2017; Wannöffel, 2001). Diese tangieren den technologischen Wandel und neue Technologien, die bereits in Lernfabriken Einzug fanden, und könnten in zunehmendem Maße auch in Lernfabriken vermittelt werden.

Die Wissenschaft geht davon aus, dass sich in Zukunft durch Digitalisierung von Technik und Arbeit die ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen überlappen und weiter zusammenwachsen und dass interdisziplinäres Denken, die Fähigkeit, Probleme zu erkennen und zu lösen, sowie soziale Kompetenzen relevanter werden (Kaßebaum & Wannöffel, 2018). Hier bietet die Lernfabrik ein Experimentierfeld, das jedoch allein innerhalb ingenieurwissenschaftlicher Studiengänge stellenweise noch brachliegt.

Der interdisziplinäre Charakter von Lernfabriken kann auch anhand derjenigen Zielgruppen festgemacht werden, die Weiterbildungsveranstaltungen in Lernfabriken nutzen. So werden beispielsweise spezielle von Gewerkschaften oder gewerkschaftsnahen Institutionen geförderte Weiterbildungsveranstaltungen von Betriebsrätinnen und -räten sowie betrieblichen Interessenvertreterinnen und -vertretern besucht, für die neben den technischen Dimensionen in der Lernfabrik auch direkte Konsequenzen für organisatorisch-soziale Strukturen erfahrbar werden.

An der Ruhr-Universität Bochum beispielsweise werden in der Lern- und Forschungsfabrik des Lehrstuhls für Produktionssysteme in enger Kooperation mit der Gemeinsamen Arbeitsstelle RUB/IGM Weiterbildungsveranstaltungen für Betriebsrätinnen und -räte sowie betriebliche Interessenvertreterinnen und -vertreter angeboten. Sie finden sich in heterogenen, aber auch in homogenen Lerngruppen und Lehrveranstaltungen wieder, die beispielsweise von Förderprogrammen des ESF, des BMAS oder der IG Metall (Projekte „Arbeit und Innovation“, „Aribera“, „Zertifikatsstudium für Betriebsräte“) unterstützt werden (IG Metall Vorstand, 2012; IG Metall Vorstand, 2017). Darüber hinaus gibt es in der Lernfabrik an der Ruhr-Universität Bochum auch Lehrveranstaltungen für Promotionsstipendiaten, zum Beispiel die von der Hans-Böckler-Stiftung geförderte Veranstaltung „Weiterbildendes Studium: Arbeit und Mitbestimmung 4.0 für Promotionsstipendiaten und Post-Docs“ (Conrad et al., 2019). Konkret auf diese Zielgruppen ausgerichtete Lehrveranstaltungen entstehen durch Kooperationen zwischen gewerkschaftlichen Bildungszentren oder gewerkschaftsnahen Einrichtungen und Hochschuleinrichtungen.

2.4 Didaktische Konzeption interdisziplinärer Inhalte

Die didaktische Konzeption interdisziplinärer Inhalte kann am Beispiel betriebs- und organisationssoziologischer Themen aufgezeigt werden, die qualitativ erfasst wurden (Bianchi-Weinand, 2020). Folgende Elemente der didaktischen Konzeption konnten ermittelt werden:

a. Die praktischen Übungen zu diesen Themenbereichen werden begleitet mit Phasen der Bewertung und der Reflektion. Die Lernmethoden, die bei der handlungsorientierten Umsetzung dieser Lerninhalte eingesetzt werden, sowie der Einsatz von Lernzielkontrollen unterscheiden sich nicht von denjenigen, die auch bei ingenieurwissenschaftlichen Themen in der Lernfabrik Anwendung finden.
b. Projektarbeiten alternieren mit Gruppen- und Partnerarbeit.
c. Theorieeinheiten werden den Studierenden vorab vermittelt und während der Lernfabrik-Module aufgegriffen.
d. Demonstrationen finden zum besseren Verständnis und zur gefahrlosen Veranschaulichung statt.
e. Die Lernzielkontrolle erfolgt unter anderem mittels von Klausuren.

2.5 Handlungsempfehlungen für die Integration interdisziplinärer Inhalte

In Lernfabriken werden hauptsächlich diejenigen Themen vermittelt, die der Lehrstuhlbetreiber in seinem Forschungs- und Lehrbereich abdeckt, da sich hier die Ressourcen bündeln (Bianchi-Weinand, 2020 i. E.). Interdisziplinäres Wissen, beispielsweise Wissen über soziale Institutionen, in die ein Unternehmen eingebettet ist, wird vernachlässigt.

Aus arbeits- und industriesoziologischer Sicht steht eine Fabrik jedoch in Wechselbeziehungen mit verschiedenen Faktoren und ist in verschiedene soziale Systeme eingebettet. Dies würde bedeuten, dass didaktische Konzepte von Lernfabriken nicht nur die Anwendung und Reflektion von fachlichem Wissen, sondern auch weitere Disziplinen und Perspektiven wie die Mitarbeiterperspektive ganzheitlich miteinbeziehen: Arbeitserfahrung und -belastung, Erfahrungen mit unterschiedlichen Arbeitsorganisationen und Hierarchien, Möglichkeiten der Mitbestimmung und Qualifizierung müssten demnach bei einem umfassenden Fabrikverständnis als Lerninhalte in Lernfabriken integriert werden. In den meisten Lernfabriken wird diese ganzheitliche Sichtweise ausgeblendet und die reale Lernumgebung auf technische Ausstattung und technische Sichtweisen limitiert.

Hier kommt die Frage auf, warum der Fabrikbegriff in der Regel nicht ganzheitlich betrachtet wird, warum die realitätsnahe Lernumgebung auf die technische Ausstattung und Sichtweise fokussiert, wenn in der Realität technische Veränderungen immer auch in gesellschaftliche, volkswirtschaftliche, betriebliche und arbeitspolitische Felder eingebettet sind und keinesfalls isoliert betrachtet werden können. Hochschulen übernehmen demokratische Leitbilder und proklamieren, gesellschaftspolitische Verantwortung zu übernehmen und Studierende auch entsprechend auszubilden (HRK-Senat, 2018). Dieser Anspruch wurde nicht erst in den letzten Jahren an die Ingenieurwissenschaften herangetragen und führte bereits zu Reformierungsansätzen im Bereich der Ingenieurwissenschaften (Kaßebaum & Wannöffel, 2018). Warum aber scheint diese Maxime an so einem innovativen Lernort einer Lernfabrik halt zu machen? Angesichts mangelnder Ressourcen, die sich in der geringen Personalausstattung, fehlender Zeit und unzureichenden Finanzmitteln niederschlagen, sowie der Kompetenzlücken bezüglich der Vermittlung interdisziplinärer Themen ist es unabdingbar, Akteure zusammenzubringen und Kooperationsmöglichkeiten anzubahnen. Abhilfe könnte beispielsweise ein Erwerb von Fachkompetenz durch Kooperationen mit wissenschaftlichem Personal anderer Lehrstühle oder anderer Universitäten schaffen. Diesbezüglich besteht ein hoher Kommunikations- und Aufklärungsbedarf, der sich auch in der Bereitstellung und Nutzung von Kompetenz-Plattformen gestalten könnte.

Die didaktische Gestaltung interdisziplinärer Themen in Lernfabriken weist Gemeinsamkeiten mit der didaktischen Konzeption von ingenieurwissenschaftlichen Themen auf. Lehrperson sehen sich bei diesen Themen folglich keinen neuen didaktischen Methoden oder unbekannten Sozialformen gegenüber. Diese Erkenntnis kann unter Umständen Hemmschwellen abbauen und möglicherweise einen motivierenden Faktor bei der Implementierung dieser Inhalte in Lernfabriken respektive bei der Gewinnung von kooperierenden Lehrpersonen darstellen.

Eine dauerhafte Integration von interdisziplinären Themen, beispielsweise betriebs- und organisationssoziologischen Inhalten, in ingenieurwissenschaftliche Curricula wäre angesichts der Unnachgiebigkeit der Curricula jedoch visionär, da dies dauerhafte Ressourcen und Kooperationen voraussetzen würde. Es ist vielmehr ein Unterfangen kleiner Schritte, dass das Mitwirken der beteiligten Betreiber/-innen und Lehrkräfte, der universitären Institutionen und Transferstellen sowie der regional- und landespolitischen Einrichtungen erfordert.

Interdisziplinäre Themen wie die Betriebs- und Organisationssoziologie können vielfältige Berührungspunkte mit ingenieurwissenschaftlichen Themen in Lernfabriken aufweisen. Insbesondere Themen aus dem Bereich der Arbeitswissenschaft, Veränderungen von Arbeit und Arbeitsbeziehungen sowie Mitbestimmung bei der Gestaltung von Arbeit können durchaus mit ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen verknüpft und handlungsorientiert erfahrbar gemacht werden.

Wie auch immer, diese Themen sind in den Ingenieurwissenschaften in der Lehre und auch in der Forschung noch nicht ausreichend etabliert. Ansatzweise vorhandene interdisziplinäre Verknüpfungen, wenn auch vornehmlich auf ingenieurwissenschaftlicher Ebene, existieren bereits, so dass analoge organisatorische Strukturen gebildet, administrative Vorgänge eingeleitet sowie Synergien genutzt werden können, um weitere interdisziplinäre Strukturen zu schaffen. Dort, wo sozio-technische Sichtweisen auch nur ansatzweise existieren, kann umso leichter ein Zugang zu betriebs- und organisationssoziologischen Themen als konkreter Lerninhalt bzw. Lernmodul geschaffen werden.

Folgende Strategien zur Implementierung von betriebs- und organisationssoziologischen Inhalten lassen sich ableiten, die in ihren Grundüberlegungen auf andere interdisziplinäre Themengebiete übertragbar sein können, und das Mitwirken von Akteuren aus Lernfabriken, Hochschulen, Transferstellen, Gewerkschaft und Politik voraussetzen (Bianchi-Weinand, 2020 i. E.):

1. **Stärkung der bilateralen Kommunikation / Nutzung bereits etablierter Kooperationen**: Durch eine pro-aktive Kommunikation seitens der Sozialwissenschaftler, insbesondere Arbeits- und Betriebssoziologen, Arbeitswissenschaftler sowie Arbeitspsychologen, und eine Aufklärung der Lehrstuhlbetreiber über Themenbereiche, die eventuell bereits in Ansätzen in ihrer Lernfabrik integriert sind und die als Anknüpfungsthemen für weitere betriebs- und organisationssoziologische Inhalte fungieren (zum Beispiel Arbeits- und Gesundheitsschutz), können die Chancen zur Implementierung erhöht werden. Dort, wo bereits interdisziplinäre Strukturen vorhanden sind, kann der Zugang in die Lernfabrik über bereits etablierte Pfade, das heißt bereits kooperierender Fachbereiche, erleichtert werden.
2. **Hochschulkommunikation / hochschuleigene Netzwerke**: Nicht nur die Betreiber von Lernfabriken können ihre lehrstuhleigenen Netzwerke für die Vermittlung von betriebs- und organisationssoziologischen Inhalten nutzen (zum Beispiel über Kompetenzzentren), sondern auch Hochschulen können ihre Aufgabe der Verbindung von Wissenschaft und Praxis hinsichtlich Lernfabriken intensivieren. Auf Transferveranstaltungen könnten Lernfabrikbetreiber für sozialwissenschaftliche Themen sensibilisiert werden und ein Mangel von Fachexperten auf diesen Gebieten überwunden werden.
3. **Forschungsbereich der Lernfabrik**: Solange betriebs- und organisationssoziologische Themen in der Lehre der Ingenieurwissenschaft nicht hinreichend etabliert sind, das heißt über theoretische Lehrveranstaltungen wenig Potential zur Implementierung besteht, kann der Forschungsbereich als Vehikel genutzt werden. Inter- und transdisziplinäre Forschungskooperationen könnten verstärkt und Projekte mit betriebs- und organisationssoziologischen Forschungsbereichen vermehrt in Lernfabriken vorangetrieben werden (Wannöffel, 2019). Forschungsergebnisse könnten rückkoppelnd in andere Wissenschaftsbereiche hineingetragen werden, woraus sich darüber hinaus auch weitere interdisziplinäre Strukturen entwickeln könnten. Hier sind beispielsweise Fördermittel aus länder-, bundes- oder gewerkschaftlich finanzierten Programmen unabdingbar.

3 Fazit

Lernfabriken an Hochschulen weisen vereinzelt interdisziplinäre Ansätze auf, die im ingenieurwissenschaftlichen Kontext zu finden sind. Ingenieurwissenschaftliche Themen, die in Lernfabriken vermittelt werden, bieten jedoch Anknüpfungspunkte zu mannigfaltigen wissenschaftlichen Disziplinen. Das Potential der Lernfabriken, interdisziplinäres Wissen zu vermitteln, ist längst noch nicht ausgeschöpft. Dass das Potential von Lernfabriken, interdisziplinäre Inhalte zu fördern und Fabriken ganzheitlicher respektive realitätsnäher erst in dieser Phase des „Lernfabrik-Lebenszyklus“ keimt, scheint insofern nicht verwunderlich, als dass in der Anfangsphase die technische und finanzielle Umsetzung einer Lernfabrik sowie die Einbindung des problem- und handlungsorientierten Lernortes in die Lehrveranstaltungen des Betreibers im Fokus stehen. Nichtsdestoweniger kann das „Kernprodukt“ der Lernfabrik in den folgenden Phasen des „Wachstums“ und der „Reife“ um eben diese sozialwissenschaftlichen Inhalte erweitert werden, um nicht zuletzt in Zeiten des dynamischen digitalen Wandels der Technik-

und Arbeitswelten dazu beizutragen, die herausragende gesellschaftliche Verantwortung von Hochschulen zu untermauern.

Literaturverzeichnis

Abele, E., Metternich, J., Tenberg, R., Tisch, M., Abel, M, Hertle, C. et al. (2014). Innovative Lernmodule und –fabriken – Validierung und Weiterentwicklung einer neuartigen Wissensplattform für die Produktionsexzellenz von morgen. Darmstadt: Universitäts- und Landesbibliothek Darmstadt. Zugriff am 6. Dezember 2019 unter http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/4995.

Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., El Maraghy, H. et al. (2015). Learning Factories for Research, Education, and Training. Keynote.

Abele, E., Chryssolouris, G., Sihn, W., Metternich, J., ElMaraghy, H., Seliger et al. (2017). Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. In CIRP Annals, 66(2), 803–826.

Bianchi-Weinand, Andrea (2020 i. E.). Curriculare Ausrichtungen der Lernfabriken an Hochschulen. In R. G. Heinze, D. Kreimeier & M. Wannöffel (Hrsg.), Lernfabriken an Hochschulen. Neue Lernorte auf dem Vormarsch? Bestandsaufnahme, Curriculare Ausrichtungen, Transferkanäle. Study der Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf.

Conrad, A, Oberc, H., Wannöffel, M. & Kuhlenkötter, B (2019). Co-determination – an interdisciplinary concept to train PhD students from different disciplines. In Procedia Manufacturing, 31, 129-135.

Expertenkommission (2015): Expertenkommission Ingenieurwissenschaften @BW2025. Abschlussbericht, Stuttgart. Zugriff am 24.08.2020 unter https://mwk.badenwuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/mmwk/intern/dateien/Anlagen_PM/2015/132_PM_Anlage_Abschlussbericht_ Expertenkommission_Ingenieurwissenschaften@BW2025_.pdf.

HRK-Senat (2018). Die Hochschulen als zentrale Akteure in Wissenschaft und Gesellschaft. Beschluss HRK-Senat vom 13.10.2016 in der aktualisierten Fassung vom 10.4.2018. Zugriff am 24.8.2020 unter https://www.hrk.de/fileadmin/redaktion/hrk/02Dokumente/02-01-Beschluesse/HRK_-_Eckpunkte_HS-System_2018.pdf.

Heinze, R. G., Kreimeier, D. & Wannöffel, M. (2020 i. E.). Lernfabriken an Hochschulen. Neue Lernorte auf dem Vormarsch? Bestandsaufnahme, Curriculare Ausrichtungen, Transferkanäle. Study der Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf.

IG Metall Vorstand (2012). Aribera. Arbeits- und informationspolitische Informationen der IG Metall 2/2012. Zugriff am 24.8.2020 unter https://www.igmetall.de/download/0189751_Newsletter_AI_75f93641490db 401018d17484e28802a6364f2ea.pdf.

IG Metall Vorstand (2017). Arbeit + Innovation. Neue Lernorte für Arbeit 4.0. Die arbeitspolitische Lernfabrik, Frankfurt am Main.

IG Metall Vorstand (2018). Industrie 4.0 gestalten lernen. Lernfabriken für die gewerkschaftliche Arbeit nutzen. Frankfurt am Main.

Jahn, T. (2008). Transdisziplinarität in der Forschungspraxis. In M. Bergmann & E. Schramm (Hrsg.), Transdisziplinäre Forschung. Integrative Forschungsprozesse verstehen und bewerten (S. 21–37). Frankfurt a. M., New York: Campus Verlag.

Kaßebaum, B. & Wannöffel, B. (2017). Berufliches Lernen im Studium: die Lernfabrik. In M. Friese & J. Rützel (Hrsg.), Zeitschrift für Theorie Praxis Dialog, 164, 36-38.

Kaßebaum, B. & Wannöffel, M. (2018). Ingenieurausbildung und Digitalisierung. Neue Beruflichkeit im Konzept des Lernens in der Lernfabrik. In R. Dobischat, B. Käpplinger, G, Molzberger & D. Münk, (Hrsg.), Bildung 2.1 für Arbeit 4.0?, Bildung und Arbeit, 6 (S. 265-285). Wiesbaden: Springer VS.

Pries, L. (2008). Betrieblicher Wandel der Risikogesellschaft: empirische Befunde und konzeptionelle Überlegungen. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Steffen, M., Frye, S. & Deuse, J. (2013). Vielfalt Lernfabrik. Morphologie zu Betreibern, Zielgruppen und Ausstattungen von Lernfabriken im Industrial Engineering. Werkstatttechnik online, 103, 233–239.

Sudhoff, M., Prinz, C. & Kuhlenkötter, B. (2020). A systematic analysis of learning factories in Germany – concept, production process, didactics. In Procedia Manufacturing, 45, 114-120.

Sudhoff, M. (2020 i. E.). Lernfabriken an Hochschulen. Bestandsaufnahme. In R. G. Heinze, D. Kreimeier & M. Wannöffel (Hrsg.), Lernfabriken an Hochschulen. Neue Lernorte auf dem Vormarsch? Bestandsaufnahme, Curriculare Ausrichtungen, Transferkanäle. Study der Hans-Böckler-Stiftung. Düsseldorf.

Wannöffel, M. (2001). Ökonomischer Erfolg durch betriebliche Mitbestimmung – ein Widerspruch? Arbeitsbeziehungen in Deutschland und Europa. In J. Abel & P. Ittermann (Hrsg.), Mitbestimmung an den Grenzen (S. 114-129). München: Hampp.

Wannöffel, M. (2014): Seminar Management und Organisation von Arbeit. In Dialog, 9, 1–33. Zugriff am 22.09. 2020 unter https://rubigm.ruhr-uni-bochum.de/Veroeffentlichungen/MAO_DIALOG_HOMEPAGE.pdf.

Wannöffel, Manfred (2019): Das Konzept der Forschungskooperation. Zugriff am 24.08.2020 unter http://denk-doch-mal.de/wp/manfred-wannoeffel-das-konzept-derforschungskooperation.

Wissenschaftsrat (Juli 2008): Empfehlungen zur Qualitätsverbesserung von Lehre und Studium, Berlin.

Felix Walker & Nico Link

Entwicklung und Evaluierung eines Fortbildungskonzepts für Lehrkräfte an berufsbildenden Schulen im Bereich Industrie 4.0

Abstract: **Kontext:** In verschiedenen Artikeln über die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf das System der technischen Berufsausbildung wird erwähnt, wie wichtig die Qualifikation von Lehrkräften in der beruflichen Bildung für gut ausgebildete Lehrlinge ist (z. B. acatech, 2016, S. 19; bayme vbm Studie, 2016, S. 15). Leider unterscheiden sich die Angebote und Möglichkeiten zur Teilnahme an der Industrie 4.0-Lehrkräftefortbildung zwischen den Bundesländern in Deutschland stark. **Der Ansatz:** Die Entwicklung der Lehrerfortbildungen erfolgt auf Basis des von Lipowskys (2014) angepassten Angebots- und Nutzungsmodell. Für die Modellierung des Professionswissen wurde auf das TPACK-Modell von Mishra und Koehler (2006) zurückgegriffen. **Forschungsziele:** Zunächst wird der Frage nachgegangen, wie die Akzeptanz und die Zufriedenheit der Fortbildungsteilnehmenden ausfällt, was als ein Indikator für die Qualität der neu entwickelten Fortbildung gesehen werden kann. Die zweite Forschungsfrage betrachtet die Veränderung des technologisch-pädagogischen Inhaltswissens der Fortbildungsteilnehmenden. **Ergebnisse:** Untersucht wurden 40 Lehrkräfte an Berufsschulen, welche technische Fächer unterrichten. Die Zufriedenheit und Akzeptanz der Fortbildung fallen sehr positiv aus. In allen Bereich des Professionswissen fällt die Einschätzung der Fortbildungsteilnehmer/innen nach der Teilnahme höher aus als zu Beginn. Die größte signifikante positive Veränderung zeigte sich in der TPACK-Wissensdimension ($t(38) = 6.764$, $p < .001$, $d = 1.083$). **Schlussfolgerung:** Der Beitrag liefert erste Nachweise, dass mit der entwickelten Fortbildung eine positive Veränderung des Professionswissen von Lehrkräften erreicht werden konnte. Die Fortbildungsunterlagen können direkt in der Unterrichtspraxis eingesetzt werden. Da die Lehrkräfte an ihren Schulen als Multiplikatoren fungieren, profitiert auch das Kollegium von der Fortbildung.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 177

1.1 Die Bedeutung von Industrie 4.0 für die Lehrer(fort)bildung im gewerblich-technischen Bereich ... 177

1.2 Zur Notwendigkeit einer professionellen und strukturierten Lehrer(fort)bildung im gewerblich-technischen Bereich ... 178

2 Theoretischer Hintergrund ... 178

2.1 Das Angebot-Nutzungsmodell als Rahmenmodell für die Forschung zu Lehrerfortbildungen ... 178

2.2 Das Modell zum technologisch-pädagogischen Inhaltswissen (TPIW bzw. TPACK) ... 180

3 Forschungsziel und -fragen ... 183

4 Methodischer Ansatz ... 184

4.1 Stichprobe ... 184

4.2 Design der Studie ... 184

4.3 Eingesetzte Instrumente ... 184

4.3.1 Zur Erfassung der Zufriedenheit und Akzeptanz der Teilnehmenden (Stufe1) ... 184

4.3.2 Zur Erfassung des Professionswissens der Teilnehmenden (Stufe 2) ... 185

5 Ergebnisse ... 185

5.1 Qualität und Quantität der Lerngelegenheiten im Rahmen der entwickelten Fortbildung ... 185

5.1.1 Dauer und Struktur der Fortbildung ... 186

5.1.2 Inhaltlicher Fokus und didaktischer Ansatz der Fortbildung ... 186

5.2 Erfolg der Fortbildung ... 188

5.2.1 Zufriedenheit und Akzeptanz der Fortbildungsteilnehmenden (Stufe 1) ... 188

5.2.2 Entwicklung des technologisch-pädagogischen-Inhaltswissen (Stufe 2) ... 189

6 Diskussion und Limitationen ... 189

Literaturverzeichnis ... 192

1 Einleitung

1.1 Die Bedeutung von Industrie 4.0 für die Lehrer(fort)bildung im gewerblich-technischen Bereich

Mit dem Begriff Industrie 4.0 wird eine neue industrielle Ära bezeichnet, die durch cyber-physische Systeme (CPS) charakterisiert ist und die reale Welt mit der virtuellen Welt verbindet. Über Identifikationssysteme steuern Produkte sowohl ihren Produktionsprozess als auch die Qualitätskontrolle selbst. Im Gegensatz zu älteren Fabrikstraßen steigt bei diesen neuen Produktionssystemen die Modularität, die Energie- und Ressourceneffizienz. Der Faktor Mensch erhält Unterstützung in Form von intelligenten Trainings- und Assistenzsystemen (SmartFactoryKL, 2017). Darüber hinaus ermöglichen diese intelligenten Fabriken individuelle Kundenwünsche, so dass auch Einzelstücke gewinnbringend produziert werden können. Durch innovative Geschäftsmodelle werden neue Wege der Wertschöpfung ermöglicht (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013, S. 13). Diese Veränderungen in Produktion und Fertigung wirken sich auch auf den zukünftigen Bedarf an Fachkräften aus. Tenberg und Pittich (2017, S. 27) führen auf, dass die Umsetzung von Industrie 4.0 in der Berufsbildung eher eine langfristige Transformation ist und insbesondere über den Bereich der Weiterbildung erfolgt. Die berufliche Bildung muss auf diese veränderten Anforderungen durch Industrie 4.0 reagieren, damit bei zukünftigen, aber auch bereits ausgebildeten Fachkräften eine nachhaltige Beschäftigungsfähigkeit gewährleistet werden kann (Gebhardt & Grimm, 2016, S. 4).

In einer Studie des bayrischen Arbeitgeberverbandes der Metall- und Elektroindustrie (bayme vbm) wurden diese veränderten Anforderungen analysiert. Diese führt auf, dass vor allem vier Berufsprofile den Anforderungen von Industrie 4.0 sehr nahekommen: So werden Fachkräfte im Ausbildungsberuf Elektroniker/in für Automatisierungstechnik und Mechatroniker/in für die Inbetriebnahme von Systemen und die Fehlerdiagnose eingesetzt. Industriemechaniker/innen werden für die Instandhaltung und den Betrieb von Anlagen benötigt. Informatik-Fachkräfte hingegen sind eher für die Anlagenanbindung und IT-Fehlerdiagnose zuständig (bayme vbm Studie, 2016, S. 144).

1.2 Zur Notwendigkeit einer professionellen und strukturierten Lehrer(fort)bildung im gewerblich-technischen Bereich

Unterschiedliche Arbeiten zur Auswirkung von Industrie 4.0 auf die Aus- und Weiterbildung kommen zum Fazit, dass es wichtig ist, Ausbilder/innen und Lehrkräfte angemessen zu qualifizieren, wenn Auszubildende an das Thema Industrie 4.0 herangeführt werden sollen (acatech, 2016, S. 19; bayme vbm Studie, 2016, S. 15). Deutlicher wird der Präsident des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB), Prof. Dr. Friedrich Hubert Esser: "Wie erfolgreich die Herausforderungen der Digitalisierung für die berufliche Bildung letztendlich bewältigt werden können, steht und fällt mit der Kompetenz des betrieblichen und schulischen Ausbildungspersonals. Auf sie kommt es an." (BIBB, 2017, S. 1). Diese Aussage unterstreicht den Handlungsbedarf in der beruflichen Bildung in Bezug auf Industrie 4.0. Darüber hinaus besteht die Notwendigkeit die technische Ausstattung an Schulen anzupassen (bayme vbm Studie, 2016, S. 16), damit moderne Technik für einen schülerorientierten Unterricht genutzt werden kann.

Fortbildungsangebote für Lehrkräfte im gewerblich-technischen Bereich an berufsbildenden Schulen für Industrie 4.0 unterscheiden sich in Deutschland von Bundesland zu Bundesland sehr stark. So gibt es beispielsweise in Baden-Württemberg mehrere smarte Fabriken an berufsbildenden Schulen (Dröge, Grund, Jurgensen, Keppler, & Vohwinkel, 2018; Hörner, 2018; Windelband & Schmid, 2018) und ein breites Angebot an Lehrerfortbildungen mit einem fachwissenschaftlichen bzw. inhaltlichem Schwerpunkt (PG Elektrotechnik, 2019). In Rheinland-Pfalz hingegen gibt es jedoch kaum vergleichbare Kurse und Ausbildungsangebote für Lehrkräfte. Anknüpfend an diese Ausgangslage, wurden von uns Fortbildungen für Lehrkräfte im Bereich Industrie 4.0 entwickelt, durchgeführt und evaluiert. Extern wurden diese Veranstaltungen vom Pädagogischen Landesinstitut Rheinland-Pfalz beworben.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Das Angebot-Nutzungsmodell als Rahmenmodell für die Forschung zu Lehrerfortbildungen

Erfolgreich durchgeführte Fortbildungen für Lehrkräfte hängen von verschiedenen Faktoren ab, die von Lipowsky (2014) systematisiert und im Angebots- und Nutzungsmodell zusammengeführt wurden. Dieses Modell zeigt die Komplexität dieses Forschungsfeldes auf, dabei steht

der Fortbildungsverlauf mit seiner Wahrnehmung, Nutzung und Verarbeitung der Lernangebote im Mittelpunkt. Sie werden vor allem von den kognitiven, motivationalen und volitionalen sowie persönlichkeitsbezogenen Voraussetzungen der Teilnehmenden beeinflusst.

Die folgende Abbildung 1 ordnet Faktoren ein, die sich als relevante Faktoren bei der Entwicklung von professionellen und strukturierten Fortbildungen für Lehrkräften erwiesen haben: Dazu gehören die Eigenschaften des Moderators, die Qualität und Quantität der Lerngelegenheiten während der beruflichen Entwicklung (d. h. Struktur, Dauer, Konzept und inhaltlicher Schwerpunkt), die Wahrnehmung, Interpretation und Nutzung der Lerngelegenheiten sowie die Eigenschaften der Teilnehmenden (z. B. Vorkenntnisse, Überzeugungen, Motivation der Lehrkräfte), die in engem Zusammenhang mit dem schulischen Kontext stehen. All diese Faktoren sind miteinander verbunden und beeinflussen den Erfolg der Fortbildung (Lipowsky & Rzejak, 2015, 2017).

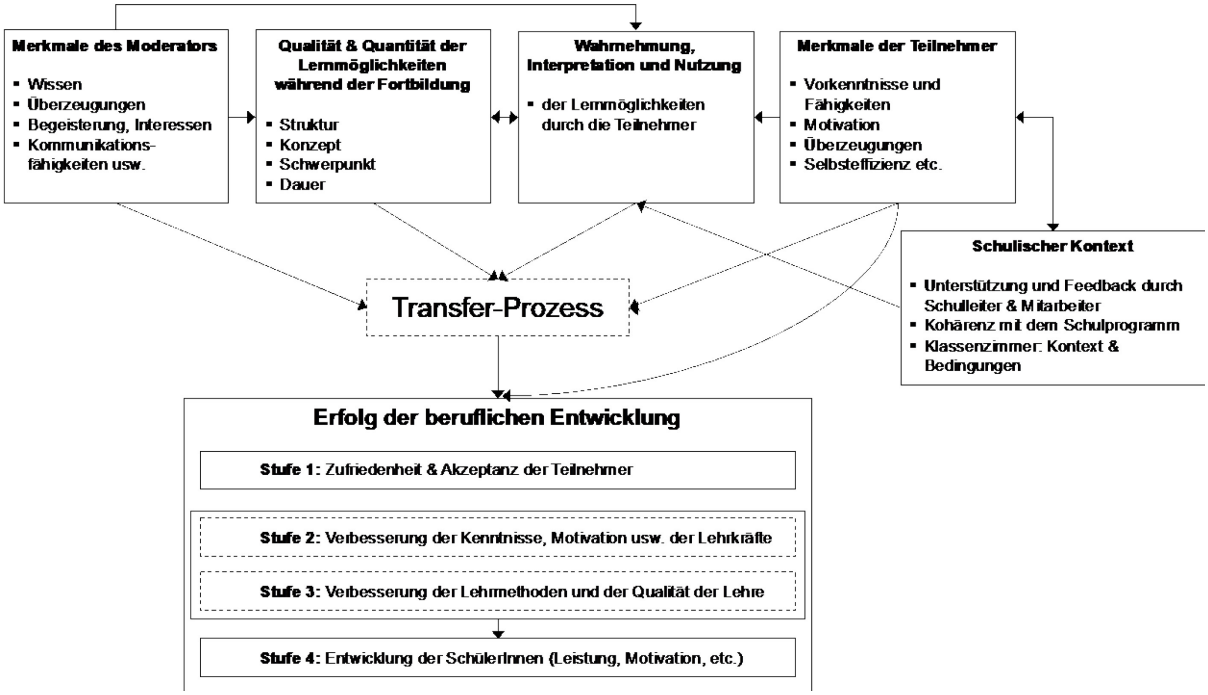


Abbildung 1: Angebots- und Nutzungsmodell für die Forschung zur beruflichen Entwicklung von Lehrkräften (Lipowsky, 2014; Lipowsky & Rzejak, 2015).

Die erfolgreiche Evaluation der Lehrerausbildung basiert auf den früheren Arbeiten von Kirkpatrick und Kirkpatrick (2006) mit vier verschiedenen Stufen. Lipowsky (2014) griff diese Stufen auf und passte sie an sein Angebots- und Nutzungsmodell an: Die Zufriedenheit und Akzeptanz der Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die Erweiterung des Wissens, der Motivation etc. der Lehrkräfte, die Verbesserung der Unterrichtspraxis und der Unterrichtsqualität sowie

die Entwicklung der Schülerinnen und Schüler in ihrer Leistung und Motivation (Lipowsky & Rzejak, 2015, 2017).

Aufgrund der mannigfaltigen Faktoren in diesem Modell und mangels geeigneter Messinstrumente zur Evaluation der Fortbildung zu Industrie 4.0 muss aus Umfangsgründen eine Einschränkung vorgenommen werden. Daher erfolgt im Weiteren eine zielgerichtete Fokussierung auf die Zufriedenheit und Akzeptanz der Teilnehmenden sowie die positive Entwicklung der kognitiven Aspekte der Lehrkräfte (Stufe 1 und Stufe 2 in Abbildung 1). Im Folgenden wird deshalb ein Modell erläutert, welches das Professionswissen der Lehrkräfte näher beschreibt.

2.2 Das Modell zum technologisch-pädagogischen Inhaltswissen (TPIW bzw. TPACK[1])

Das TPACK-Framework von Mishra und Koehler (2006) basiert auf dem Modell des pädagogischen-Inhaltswissen oder auch fachdidaktischen Wissens von Shulman (1986) und fügt eine dritte Grundkomponente, das technologische Wissen, hinzu. Mishra und Koehler halten die Komponente des technologischen Wissens heutzutage für unverzichtbar. Diese Aussage wird auch von Pierson (2001) und Zhao (2003) unterstützt. Lehrkräfte müssen wissen, welche Technologien den Unterricht unterstützen und wie sie gewinnbringend integriert werden können. Unterrichtsplanung erfordert nicht nur eine Planung auf pädagogischer und inhaltlicher Ebene. Auch der gezielte Einsatz von Technologien und Medien muss geplant werden. Aus diesem Grund sehen Mishra und Koehler (2006) komplexe Beziehungen zwischen den drei Dimensionen des Wissens. Abbildung 2 zeigt das TPACK-Modell. Es besteht aus drei grundlegenden Wissensdimensionen, die jeweils als Kreis dargestellt sind. Die Kreise überlappen sich und bilden so vier Schnittpunkte, von denen jede eine eigene Wissensdimension darstellt. Dieses Wissen ist immer in einen situativen Kontext eingebunden.

[1] Im Rahmen dieses Beitrages werden die Begriffe TPIW und TPACK (Technological-pedagogical and content knowledge) synonym verwendet.

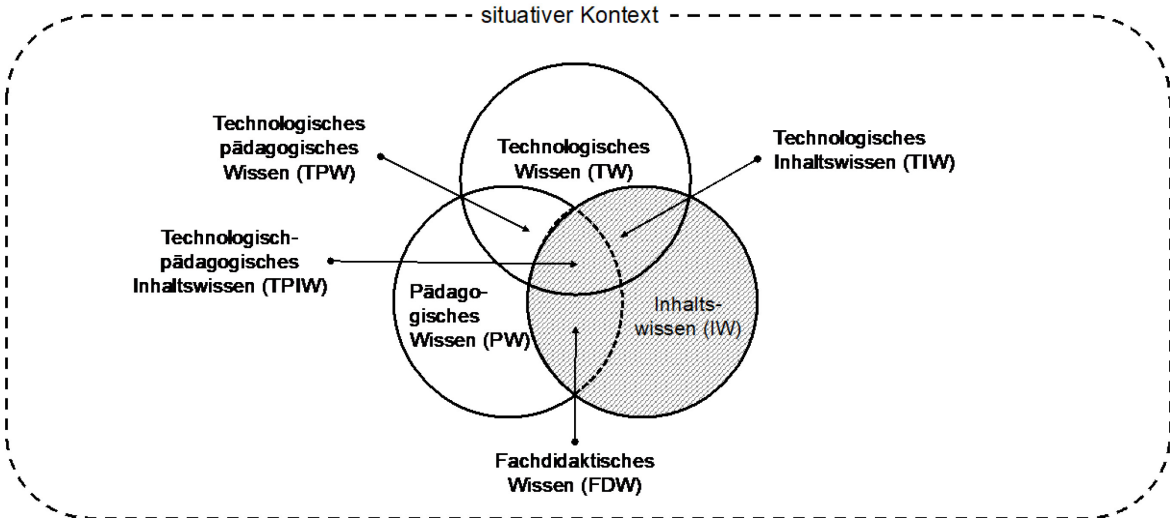


Abbildung 2: Technologisch-pädagogisches Inhaltswissen (TPACK) nach Walker et al. (2018) in Anlehnung an Mishra and Koehler (2006).

Inhaltliches Wissen (IW): Inhaltliches Wissen umfasst die Kenntnisse der Lehrkraft über einen konkreten thematischen Gegenstand. Lehrkräfte sollten nicht nur wissen, dass etwas so ist, sondern auch, warum etwas so ist. Es besteht die Notwendigkeit, die Struktur und Konzepte bzw. Gesetzmäßigkeiten des Faches zu kennen (Shulman, 1986, S. 9-10).

Pädagogisches Wissen (PW): Pädagogisches Wissen bezieht sich auf die Methoden und Vorgänge des Lehrens und umfasst das Wissen über Klassenführung, Bewertung, Stundenplanung sowie das Lernverhalten der Schülerinnen und Schüler (Shulman, 1987). Weiter gehören die Didaktik und Methodik, aber auch die Psychologie des Lehren- und Lernens dazu (Koehler & Mishra, 2009, S. 64-66).

Technologisches Wissen (TW): Das technologische Wissen bezieht sich auf das Wissen über verschiedene Technologien. Dies umschließt den gesamten Bereich mit einem geringen Technologieanteil, wie Stift und Papier, bis hin zu einem hohen Technologieanteil, wie den Einsatz von Internet, Video, interaktiven Whiteboards und Softwareprogrammen. Technologisches Wissen umfasst ein wesentliches Verständnis und die Beherrschung der Informationstechnologie für die Informationsverarbeitung, Kommunikation und Problemlösung (Koehler & Mishra, 2009, S. 64-66).

Fachdidaktisches Wissen (FDW): Das pädagogische Inhaltswissen bzw. fachdidaktische Wissen ist eine Schnittmenge zwischen inhaltlichem und pädagogischem Wissen. Es kann beschrieben werden als die Art und Weise der Darstellung und Formulierung des Themas, die

es für andere verständlich macht (Shulman, 1986, S. 9-11). Dazu gehört auch das Wissen darüber, was ein Thema schwierig oder einfach macht, und das Verständnis dafür, wie konkrete Themen den Lernenden auf verständliche Weise (z. B. mit welchen Methoden) vermittelt werden können.

Technologisches Inhaltswissen (TIW): Das technologische Inhaltswissen ist das Wissen, das zur Auswahl der Medien für die Vermittlung spezifischer Inhalte erforderlich ist. Der Inhalt der Lektion beeinflusst die Wahl der unterstützenden Medien/Technologien. Umgekehrt beeinflusst der Einsatz bestimmter Technologien die Wahl der zu vermittelnden Inhalte. Koehler und Mishra betonen, dass Lehrkräfte verstehen müssen, welche spezifischen Technologien am besten geeignet sind, um das inhaltbezogene Wissen in ihrem Bereich zu vermitteln (Koehler & Mishra, 2009, S. 65).

Technologisch-pädagogisches Wissen (TPW): Technologisch-pädagogisches Wissen umfasst das Wissen, wie Technologien/Medien im Unterricht eingesetzt werden können. Es schließt eine vorausschauende, aufgeschlossene Suche ein, um das Lernen und Verstehen der Schülerinnen und Schüler zu fördern (Koehler & Mishra, 2009, S. 65-66).

Technologisch-pädagogisches Inhaltswissen (TPIW bzw. TPACK): Das technologisch-pädagogische Inhaltswissen besteht aus den drei Dimensionen des Grundwissens. Jede Situation im Klassenzimmer der Lehrkraft bildet eine einzigartige Kombination aus pädagogischen, inhaltlichen und technologischen/medialen Aspekten, die in einem spezifischen Kontext stattfinden. Es gibt nicht "eine" spezifische Unterrichtsstunde, die zu jeder Lehrkraft passt. Stattdessen müssen Lehrkräfte in der Lage sein, die Inhalte, pädagogischen und technologischen Elemente für den Unterricht flexibel auszuwählen und diese komplexe Interaktion in einen spezifischen Kontext zu stellen (Koehler & Mishra, 2009, S. 66-67).

Der situative Kontext: Ein weiterer wichtiger Bestandteil des TPACK-Ansatzes ist, dass die einzelnen Wissensgebiete immer an bestimmte “Kontexte” gebunden sind. Der Kontext wird durch die gestrichelten Linien in Abbildung 2 veranschaulicht (Koehler, Mishra, Kereluik, Shin, & Graham, 2014, S. 102). Leider geben die Autoren keine weiteren Erklärungen zu den Umweltbedingungen oder dem Kontext, in dem Lehr-Lern-Prozesse stattfinden, ab (Walker et al., 2017, S. 4). So ist z. B. unklar, in welchem Verhältnis (oder Einfluss o. ä.) die Umweltbedingungen oder der Kontext und die einzelnen Bereiche des Fachwissens stehen und was genau unter "Kontext" zu verstehen ist. An dieser Stelle ist kritisch anzumerken, dass der TPACK-

Ansatz, ohne den Kontext an die (duale) Berufsausbildung anzupassen, das Handeln der Lehrkräfte in den Berufsbereichen nur begrenzt abbildet. Sowohl betriebliche als auch (berufs-)schulische Aspekte müssten in das TPACK-Modell integriert und spezifiziert werden. Dazu gehören u. a. deren Interdependenzen in Form von Kooperationen zwischen Lernorten. Die Integration und Konkretisierung dieser Besonderheiten würde es ermöglichen, das Handeln der Lehrkräfte in den Bereichen der beruflichen Aus- und Weiterbildung zu erfassen (Walker, Link, Mohr, & Schäfer, 2018, S. 55). Des Weiteren konnten Schäfer, Huber und Walker (2020) in einer Analyse des Fortbildungsangebotes für Lehrkräfte an berufsbildenden Schulen aufzeigen, dass allgemein sehr wenige bzw. mit Fokus auf die Vermittlung von fachdidaktischem Wissen (auch TPACK) keine Angebote vorliegen.

3 Forschungsziel und -fragen

Übergeordnetes Forschungsziel

Um die skizzierte Lücke zu schließen, ist das übergeordnete Forschungsziel die Entwicklung und Evaluation einer Fortbildung für Lehrkräfte an berufsbildenden Schulen, die sich an ausgewählten Bereichen des Angebots- und Nutzungsmodells orientiert (Lipowsky, 2014; Lipowsky & Rzejak, 2015, 2017). Der Fokus liegt hier auf dem Einflussfaktor der **Qualität und Quantität der Lerngelegenheiten** im Bereich der Entwicklung der Fortbildung**.** Für die Evaluation des Fortbildungsangebotes werden die Stufen 1 (Akzeptanz und Zufriedenheit) und 2 (TPACK) der Fortbildungsteilnehmenden berücksichtigt.

Forschungsfragen

Die **erste Forschungsfrage** bezieht sich auf die erste Stufe des Angebots-Nutzungsmodells.

- Wie (hoch) fallen die Akzeptanz und die Zufriedenheit der Fortbildungsteilnehmenden aus?

Die Erweiterung des technologisch-pädagogischen Inhaltswissens der Fortbildungsteilnehmenden wird in der **zweiten Forschungsfrage** betrachtet und bezieht sich auf die zweite Stufe des Angebots-Nutzungsmodelles.

- Wie entwickelt sich das technologisch-pädagogische-Inhaltswissen der Fortbildungsteilnehmenden?

4 Methodischer Ansatz

4.1 Stichprobe

Insgesamt nahmen n = 40 Lehrkräfte von berufsbildenden Schulen (39 Männer, eine Frau), an der Fortbildung teil. Die Teilnehmenden hatten überwiegend einen elektrotechnischen (44%) oder maschinenbautechnischen (38%) Hintergrund. 18 % hatten ihren Schwerpunkt in der Automatisierungs- oder Informationstechnik. Das Durchschnittsalter betrug MW = 48 Jahre (min = 32, max = 66 Jahre) und die durchschnittliche Lehrerfahrung MW = 15 Jahre (min = 1, max = 26 Jahre). Die Lehrkräfte unterrichten überwiegend Auszubildende im technischen Bereich (80%) (Berufsausbildung zum Mechatroniker/in, Elektroniker/in oder Industriemechaniker/in), gefolgt von Techniker (11 %) und andere Studierende (9 %) an Berufsschulen.

4.2 Design der Studie

Die Erfassung des technologisch-pädagogischen Inhaltswissen (TPIW oder TPACK) erfolgte in einem längsschnittlichen Prä-Post-Test-Design. Nach einer kurzen Begrüßung und einem Einführungsvortrag zu Industrie 4.0, erfolgte die erste Erhebung des TPACK. Anschließend begann die Fortbildung mit theoretischen Inputs und praktischen Phasen (Kapitel 5.1). Eine erneute Erhebung des TPACK erfolgte am Ende der Fortbildung. Auf Grund von strukturellen Randbedingungen war es nicht möglich ein längsschnittliches Prä-Prost-Experimental-Kontrollgruppen-Design zu realisieren. Darüber hinaus konnten andere Kontrollvariablen wie Motivation oder inhaltliche Kenntnisse nicht in die Erhebung/Fortbildung einbezogen werden, da eine Testdauer von 30 Minuten pro Schulungstag nicht überschritten werden durfte. Dies hängt mit der Freistellungsdauer der Lehrkräfte vom Regelunterricht zusammen.

4.3 Eingesetzte Instrumente

4.3.1 Zur Erfassung der Zufriedenheit und Akzeptanz der Teilnehmenden (Stufe1)

Um die Zufriedenheit und Akzeptanz der Teilnehmenden (Abbildung1, Stufe 1) zu evaluieren, wurde sich an ein Instrument der Lehrkräftefortbildungsinstitution von Rheinland-Pfalz angelehnt. Das eingesetzte Instrument umfasse insgesamt sieben Items, welche auf einer Likert-Skala von stimme voll und ganz zu (1), stimme eher zu (2), stimme eher nicht zu (3) und stimme nicht zu (4) die Selbsteinschätzungen zur Zufriedenheit und Akzeptanz erfassen.

4.3.2 Zur Erfassung des Professionswissens der Teilnehmenden (Stufe 2)

Das professionelle Wissen (TPACK) der Lehrkräfte (Abbildung 1, Stufe 2) wurde durch einen Fragebogen zur Selbsteinschätzung erfasst, welcher auf Schmidt et al. (2009) basiert und von Walker et al. (2017) ins Deutsche übersetzt wurde. Der Fragebogen von Walker et al. (2017) ist in die sieben TPACK-Dimensionen unterteilt. Er wurde aus dem naturwissenschaftlichen Unterricht an die Inhalte der Fortbildung zu Industrie 4.0 angepasst, so dass einige Items neu erstellt werden mussten (Tabelle 1). Insgesamt besteht der adaptierte und erweiterte Test aus 38 Items und dauert 15 Minuten. Die Reliabilität, in unserer Stichprobe, liegt in den verschiedenen Dimensionen zwischen 0.77 und 0.93. Jedes Item umfasst eine fünfstufige Likert-Skala (von 1 = ich stimme völlig zu bis 4 = ich stimme völlig nicht zu, 5 = ich weiß es nicht).

Dimension	Example
TW (5 Items)	Ich probiere gerne neue Technologien aus
PW (7 Items)	Ich weiß, wie Schülerleistungen im Unterricht zu bewerten sind.
IW (5 Items)	Ich verfüge über grundlegendes Wissen über die Funktionsweise von RFID Systemen.
FDW (7 Items)	Ich kann effektive Lehrmethoden auswählen, um die Denk- und Lernprozesse von Schülerinnen und Schülern zum Erforschen von RFID Systemen anzuregen.
TIW (5 Items)	Ich weiß, wie ich mobile Endgeräte nutzen kann, um auf Informationen an Anlagen bzw. in Prozessen zugreifen zu können.
TPW (4 Items)	Ich kann pädagogische Ansätze für den Unterricht auswählen, welche die eingesetzte Technologie unterstützen, z.B. Schulungsdemonstrator.
TPIW (5 Items)	Ich kann Kollegen dazu anleiten, um Technologien, pädagogische Ansätze und Inhalte aufeinander abzustimmen.

Tabelle 1: Anzahl und Beispielitems für die Erfassung des Professionswissens (Walker et al., 2017; Schäfer & Walker, 2019).

5 Ergebnisse

Kapitel 5.1 zeigt die theoriegeleitete Entwicklung der Fortbildung gefolgt von den Ergebnissen der beiden Forschungsfragen zur Evaluation des Fortbildungsangebots (Kapitel 5.2).

5.1 Qualität und Quantität der Lerngelegenheiten im Rahmen der entwickelten Fortbildung

Die Konzeption und Durchführung der Lehrerausbildung orientiert sich an den Merkmalen und Komponenten einer effektiven Weiterbildung (Kapitel 2.1; Lipowsky, 2014, S. 517-519).

5.1.1 Dauer und Struktur der Fortbildung

Die Dauer der Schulung betrug 2 x 6 Stunden (ohne Pausen). Für diese Fortbildungsdauer wurde sich auf Grund der Befunde von Timperley (2007, S. 139) entschieden. Demnach wirken sich Fortbildungen mit einer kürzeren Dauer immer dann positiv auf die Kompetenz der Teilnehmenden aus, wenn sie enge Themenbereiche abdecken und entsprechende Lehrplanziele anstreben. Aus Sicht der Lehrkräfte werden insbesondere Fortbildungen mit einer Dauer von 6-8 Stunden als positiv empfunden (Jäger & Bodensohn, 2007, S. 21). Die Fortbildung sahen theoretisch/informative und praktische Einheiten vor, wobei die theoretischen Inhalte am Vormittag vermittelt wurden. Als Referenten dienten wissenschaftliche Mitarbeiter sowie Experten des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) Kaiserslautern und der SmartFactory, um den Lehrkräften einen Überblick über die aktuelle Forschung und die Trends im Bereich Industrie 4.0 zu geben.

5.1.2 Inhaltlicher Fokus und didaktischer Ansatz der Fortbildung

Zu Beginn der Fortbildung wurden den Teilnehmenden aktuelle Anwendungsfälle aus Unternehmen sowie Forschung vorgestellt. Inhaltlich umfasst die Fortbildung die Schwerpunkte Identifikationssysteme in der intelligenten Produktion, Grundlagen zur Netzwerktechnik und zur modernen Steuerungstechnik. Um den Teilnehmenden den curricularen Bezug zu zeigen, erfolgte eine Einordnung der Themen in ausgewählte Rahmenlehrpläne. Beispielsweise finden sich Identifikationssysteme im Ausbildungsberuf Industriemechaniker/in im Lernfeld 13 (KMK, 2018a), im Ausbildungsberuf Mechatroniker/in und Elektroniker/in für Automatisierungstechnik im Lernfeld 7 und 11 (KMK, 2018b, 2018c).

Als Anwendungsszenario (Use Case) dient die Produktion eines individuell gestaltbaren Würfels. Dazu wurde ein Schulungsdemonstrator entwickelt (Walker et al., 2018). Der Betreiber der Anlage (hier auch der Kunde) kann das zu fertigende Produkt nach individuellen Wünschen auf einer digitalen Plattform gestalten (z. B. die Farbe der Würfelseiten variieren). Anschließend erhält der Benutzer Anweisungen aufTablets, Smartphones und andere Displays des Produktionssystems. Identifikationssysteme, hier basierend auf der Near Field Communication (NFC)-Technologie, erkennen die Position des Werkstückträgers im Prozess. Der Werkstückträger (Carrier) besitzt eine eigene ID-Nummer (Carrier-ID) und nicht die Komponenten (Würfelgrundkörper, Seitenwände, Schrauben) des Werkstücks selbst. Während der Produktion werden kontextsensitive Anweisungen dem Produktionsmitarbeiter zur Unterstützung angezeigt, wie der Schritt zur nächsten Bearbeitungsstation. Dies erfolgt über LED-Streifen, die

die Zielposition durch grüne und rote Signalfarben darstellen. Zusätzlich werden dem Bediener an verschiedenen Stationen Hilfen und auch sicherheitsrelevante Informationen gegeben. Des Weiteren wird der Benutzer durch eine assistierende Montagestation unterstützt. Ist eine Komponente nicht mehr im Lager verfügbar, wird das fehlende Teil mit Hilfe der additiven Fertigungstechnologie im 3D-Druckverfahren erstellt. Kern des Schulungsdemonstrators ist die Vernetzung der einzelnen Steuerungsmodule (SPS, Mikrocontroller) und deren Programmierung. Auf einem Dashboard werden die einzelnen Prozessdaten (wie Anlagenauslastung, Bearbeitungsdauer) über einen Bildschirm dem Werker angezeigt. Durch die Kombination von industrienahen -Technologiesystemen (z. B. eine SPS mit OPC UA Anbindung), Hardware aus dem Consumer-Markt (z. B. NFC Chips) und Open-Source-Software (z. B. das grafische Entwicklungswerkzeug Node-RED) konnten die Kosten geringgehalten werden. Dadurch soll es Lehrkräften an berufsbildenden Schulen, die nicht überall mit kostenintensiven Industrie4.0-Anlagen von Lehrmittelherstellern ausgestattet wurden, ermöglicht werden, einen Schulungsdemonstrator, mit Auszubildenden gemeinsam aufzubauen.



Abbildung 3. Das cyber-physische System zur Vermittlung von Themen und Prinzipien der Industrie 4.0
Anmerkung: Auf der linken Seite befinden sich eine Montagestation, intelligente Geräte und eine Presse; in der Mitte verschiedene speicherprogrammierbare Steuerungen und die Visualisierung von Prozessdaten. Auf dem rechten Modul sind ein chaotisches Lager und ein 3D-Drucker für additive Fertigung abgebildet. Vorderseite aller Module: Träger- und technisches Unterstützungssystem, das die Arbeiter mit Anweisungen unterstützt und sie zu den verschiedenen Stationen führt.

Fachdidaktische Basis für die Entwicklung der Fortbildung ist der Cognitive-Apprenticeship Ansatz nach (Brown, Collins, & Duguid, 1989; Link, Schäfer, & Walker, 2018; Schäfer & Walker, 2018). Dieser Ansatz wurde bereits im Bereich der Fehlersuche in automatisierten Systemen (Schaper & Sonntag, 1997) oder elektronischen Schaltungen (Schray & Geißel, 2016) erfolgreich eingesetzt. Exemplarisch sollen die ersten drei der sechs Phasen des Ansatzes am Inhaltsbereich der endlichen Zustandsautomaten vorgestellt werden: Im ersten Schritt erklärt der/die Referent*in das Vorgehen (1, Modelling) zur Erstellung eines endlichen Zustandsautomaten der Pressstation (Abbildung 3, linke Seite), bevor die Teilnehmenden

durch den/die Referent*in unterstützt die Programmierung selbst vornehmen (2, Coaching). Im Anschluss wurden, während des individuellen Lernprozesses (ohne Unterstützung des/der Referenten*in), Lernhilfen verwendet, um eine adaptive Lernunterstützung zu ermöglichen (3a, Scaffolding). Der Grad der Hilfestellung wurde in Abhängigkeit vom Erfolg der Teilnehmenden schrittweise reduziert (3b, Fading). Alle eingesetzten Materialien (Handreichungen, Arbeitsblätter etc.) waren a) so aufbereitet, dass diese im Berufsschulunterricht bei Auszubildenden eingesetzt und b) den Teilnehmenden am Ende der Fortbildung zur (Weiter-)Verwendung bereitgestellt wurden, um die Einsatzwahrscheinlichkeit in der Berufsschule zu erhöhen.

5.2 Erfolg der Fortbildung

Wie in Kapitel 3 und 4 dargestellt erfolgte die Evaluation auf den Stufen 1 und 2 des Angebots- und Nutzungsmodells.

5.2.1 Zufriedenheit und Akzeptanz der Fortbildungsteilnehmenden (Stufe 1)

Da die Erfassung der Zufriedenheit und Akzeptanz der Fortbildungsteilnehmenden durch die Lehrkräftefortbildungsinstitution von Rheinland-Pfalz durchgeführt wurde, liegen leider keine individuellen Daten vor. Entsprechend kann eine Aussage zur statistischen Güte (z. B. Reliabilität) des Instrumentes nicht berichtet werden. Aus Tabelle 2 kann entnommen werden, dass die Fortbildung sehr positiv wahrgenommen wurde.

Item	MW	SD	Mo
Die Ziele der Veranstaltung wurden klar und eindeutig formuliert.	1.62	.51	2
Das Thema der Veranstaltung war wichtig für die Weiterentwicklung unserer Schule.	1.46	.66	1
Die angewandten Methoden und Verfahren haben den Lernprozess unterstützt.	1.62	.65	2
Die Referentinnen bzw. Referenten stellten sich auf die Situation der Teilnehmenden ein.	1.54	.66	1
Durch die Veranstaltung habe ich neue Impulse für meine Arbeit bekommen.	1.50	.52	2
Durch die Veranstaltung konnte ich Strategien für die Integration der Inhalte in die Unterrichtspraxis entwickeln.	1.85	.69	2
Die Veranstaltung war ergebnisorientiert.	1.58	.51	2

Tabelle 2: Ergebnisse zur Akzeptanz und Zufriedenheit der Teilnehmenden.

Anmerkung: Die Tabelle zeigt den Mittelwert (MW), die Standardabweichung (SD) Modalwert (Mo).)

Die Modalwerte fallen alle kleiner gleich 2 (stimme eher zu) aus. Die Mittelwerte bewegen sich zwischen den Bereichen alle stimme voll und ganz zu (1) und stimme eher zu (2). Hervorzuheben ist, dass die Lehrkräfte die Fortbildung sehr positiv bewerten, insbesondere im Hinblick auf die Relevanz des Themas und die zielgruppenspezifische Vermittlung.

5.2.2 Entwicklung des technologisch-pädagogischen-Inhaltswissen (Stufe 2)

Für die Auswertung wurde der normierte Summenscore jeder TPACK-Dimension berechnet. Hierfür wurde der Summenscore pro Dimension gebildet und durch die Anzahl der Items geteilt, so dass der Wert zwischen 1 und 5 liegt (Döring & Bortz, 2016, S. 289). Um die Veränderung des Professionswissen der Lehrkräfte beurteilen zu können, wurden t-Tests für gepaarte Stichproben je Wissensdomänen berechnet. Die Ergebnisse des t-Tests sind in Tabelle 3 dargestellt, um einen besseren Überblick über die Veränderungen durch die Lehrerfortbildung zu geben. Es ist zu erkennen, dass Lehrkräfte ihr Wissen in sechs Dimensionen im Post-Test höher bewerten als vor der Fortbildung. Dieser Unterschied erwies sich in allen Wissensdimensionen als signifikant (mit Ausnahme des TW). Die größte signifikante positive Veränderung wurde im TPACK/TPIW festgestellt ($t(38) = 6{,}764$, $p < .001$); im TPW hingegen wurde die Veränderung $t(39) = 1{,}717$, $p = .094$ als nicht signifikant angegeben. Nach Cohen (1988) liegen große Effekte in allen Dimensionen, die Aspekte des inhaltlichen Wissens enthalten, z. B. $d_{IW} = 1.018$, $d_{FDW} = .977$, $d_{TIW} = .901$ und $d_{TPIW/TPACK} = 1.083$ vor. Diese Effektstärken liegen in den von Shin et al. (2009) und Baya'a und Daher (2015) berichteten Bereichen.

Dimensionen	t-Wert	p	Effektstärke d
TW (pre-post)	t (37) = 3.144	.003	.510
PW (pre-post)	t (38) = 3.962	.000	.634
IW (pre-post)	t (37) = 6.276	.000	1.018
FDW (pre-post)	t (37) = 6.024	.000	.977
TPW (pre-post)	t (39) = 1.717	.094	.271
TIW (pre-post)	t (39) = 5.701	.000	.901
TPIW (pre-post)	t (38) = 6.764	.000	1.083

Tabelle 3: Ergebnisse der t-Test für gepaarte Stichproben und die Effektstärken. Anmerkung: In den Klammern der t-Wertesind die Freiheitsgrade abgebildet.

6 Diskussion und Limitationen

Ziel dieses Forschungsprojekts war die Entwicklung, Durchführung und Evaluierung eines Industrie 4.0-Lehrerschulungskonzepts für das Fachwissen von Lehrkräften an berufsbildenden

Schulen auf Grundlage des TPACK-Ansatzes. Im Folgenden sollen jedoch mögliche Einschränkungen der theoretischen Modelle und des methodischen Vorgehens diskutiert werden.

In Bezug auf das Angebots- und Nutzungsmodell (Abbildung 1) wurden nur isolierte Bereiche betrachtet, wie die Qualität und Quantität der Lernmöglichkeiten während der Fortbildung. Weitere Abhängigkeiten wurden aus praktischen Gründen ausgeblendet. Dieses Modell dient lediglich der Einordnung und Beschreibung einzelner Bereiche. Darüber hinaus fokussierte diese Arbeit auf die Bewertung von Stufe 1 und Stufe 2, es konnte kein Nachweis erbracht werden, dass die Lehrerfortbildung die Entwicklung der Auszubildenden direkt beeinflusst (Abbildung 1, Stufe 4). Was jedoch die Wirksamkeit der Lehrerfortbildung betrifft, so deuten verschiedene internationale Metaanalysen darauf hin, dass die Lehrerausbildung einen positiven Einfluss auf die Ergebnisse der Schülerinnen und Schüler haben kann. Timperley, Wilson, Barrar und Fung (2007, S. 58) z. B. gaben auf der Grundlage von 18 wissenschaftlichen Studien eine durchschnittliche Effektstärke von d = .94 an. Hattie (2009) zitierte eine durchschnittliche Effektstärke von d = .62 für die berufliche Entwicklung (basierend auf 5 Studien), während neuere Arbeiten von Hattie und Zierer (2018) eine Effektstärke von d = .41 zeigten. Es gibt Anhaltspunkte dafür, dass diese Ergebnisse zur Annahme eines möglichen Effekts auf die Entwicklung der Studierenden herangezogen werden können, auch wenn dies in unserer Studie nicht direkt nachgewiesen werden konnte. Zu berücksichtigen ist auch, dass nicht davon ausgegangen werden kann, dass alle Lehrkräfte eine berufsbegleitende Fortbildung in gleicher Weise nutzen und davon profitieren (Lipowsky & Rzejak, 2019).

Darüber hinaus muss der Kontext im TPACK-Modell (Abbildung 2) im Bereich der beruflichen Bildung konkretisiert werden. Ein erster Versuch findet sich bei Walker et al. (2018). Dies gilt auch für das Angebots- und Nutzungsmodell; auch hier fehlt die Kooperation zwischen den Lernorten (Handwerksbetrieb, Betriebe und Berufsschulen). Neben dem schulischen Kontext müssen auch die Einflüsse der Betriebe berücksichtigt werden.

Forschungsmethodisch ist die vorliegende Studie mit einigen Einschränkungen verbunden: Erstens ist die Stichprobengröße mit 40 Personen klein. Bei dieser Anzahl von Teilnehmern war es daher nicht möglich, die siebendimensionale Struktur des TPACK-Modells zu analysieren. Bühner (2010) empfiehlt für die Faktorenanalyse eine Stichprobengröße von mehr als 60 Personen. Zweitens wurde bei der Berechnung von Cronbachs Alpha der Summenscore pro Dimension gebildet und damit eine Annahme getroffen (Niveau der Intervallskala und gleiche Faktorladungen für alle Indikatoren). Drittens sind Daten ohne eine Kontrollgruppe weniger

aussagekräftig, da unklar ist, ob die Steigerung alleine auf die Fortbildung zurückzuführen ist (Kapitel 5.2).

Die beiden verwendeten Fragebögen müssen natürlich auch diskutiert werden. Um die Zufriedenheit der Lehrkräfte (Stufe 1) zu messen, wurde vom externen Kooperationspartner ein Leitfaden erstellt. Zur Beurteilung der Verbesserung der Kenntnisse der Lehrkräfte (Stufe 2) wurde ein Fragebogen zur Selbsteinschätzung verwendet. Dies ist nicht die perfekte Art und Weise, um das Wissen der Lehrkräfte zu beurteilen, und lässt keine Rückschlüsse darauf zu, wie sich das Wissen tatsächlich verändert. Aber die Entwicklung und Validierung eines aufwendigen Fragebogens ist ein größeres Forschungsprojekt für sich. Dieser hier verwendete Fragebogen zur Selbsteinschätzung diente als zeitökonomisches und praktisches Instrument zur Beurteilung der Veränderungen vor und nach der Fortbildung, und viele andere Studien legitimieren dieses Vorgehen (z. B. Schmidt et al. 2009; Koehler et al., 2012; 2014; Wang et al., 2018; Scherer et al., 2017, Aykuz, 2018).

Da es bei der Entwicklung der Fortbildung keine Handbücher, Arbeitsblätter oder Lehrbücher zu Industrie 4.0 für Berufsschulen gab, war die Aufbereitung der Inhalte für die Zielgruppe eine zeitliche Herausforderung. Der überwiegend größte Teil der aufzufindenden Literatur richtet sich an Akademikerinnen und Akademiker. Der auf das Berufsfeld angepasste TPACK-Ansatz kann dabei hilfreiche Impulse geben oder als Rahmen dienen.

Literaturverzeichnis

Acatech (2016). Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. München.

Akyuz, D. (2018). Measuring technological pedagogical content knowledge (TPACK) through performance assessment. Computers & Education, 125, 212–225. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.012

Baya'a, N., & Daher, W. (2015). The Development of College Instructors' Technological Pedagogical and Content Knowledge. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 174, 1166–1175. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.733

Bayme vbm Studie (2016). Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E Industrie. Retrieved from Universität Bremen website: https://www.baymevbm.de/Redaktion/Frei-zugaengliche-Medien/Abteilungen-GS/Bildung/2016/Downloads/baymevbm_Studie_Industrie-4-0.pdf

Bundesinstitut für Berufsbildung. (2017). Auf die Ausbilder und Lehrer kommt es an. Fachkonferenz zu Berufsbildung 4.0 in Leipzig. Pressemitteilung 43/2017. Retrieved from https://www.bibb.de/dokumente/pdf/BIBB_PM_zu_Konferenz_in_Leipzig.pdf

Bühner, M. (2010). Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion (3rd ed.). München: Pearson Studium.

Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. Educational Researcher, 18(1), 32–42. https://doi.org/10.3102/0013189X018001032

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.

Döring, N., & Bortz, J. (2016). Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5

Dröge, R., Grund, J., Jurgensen, M., Keppler, M., & Vohwinkel, J. (2018). Lernfabrik 4.0 Bietigheim-Bissingen in Baden-Württemberg. lernen & lehren, 33(129), 39–43.

Gebhardt, J., & Grimm, A. (2016). High-Tech-Strategie und Industrie 4.0: Auswirkungen auf Technik, Arbeit und Berufsbildung. lernen & lehren, 31(121), 4–9.

Hattie, J. (2009). Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement. London [u.a.]: Routledge / Taylor et Francis.

Hattie, J., & Zierer, K. (2018). Visible Learning: Auf den Punkt gebracht. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.

Hörner, R. (2018). Zum Stand der Umsetzung von „SmartFactory 4.0" - Ein Beispiel. lernen & lehren, 33(129), 33–34.

Jäger, R. S., & Bodensohn, R. (2007). Bericht zur Befragung von Mathematiklehrkräften: Die Situation der Lehrerfortbildung im Fach Mathematik aus der Sicht der Lehrkräfte: zepf, Universität Koblenz-Landau, Campus Landau.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group.

Kirkpatrick, D. L., & Kirkpatrick, J. D. (2006). Evaluating Training Programs. San Francisco: Berrett-Koehler Publisher.

KMK. (2018a). Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Industriemechaniker/ Industriemechanikerin.: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.05.2003 i.d.F. vom 23.02.2018.

KMK. (2018b). Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker für Automatisierungstechnik/ Elektronikerin für Automatisierungstechnik.: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.05.2003 i.d.F. vom 23.02.2018.

KMK. (2018c). Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Mechatroniker/ Mechatronikerin: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.05.2003 i.d.F. vom 23.02.2018.

Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? Contemporary Issues in Technology and Teacher Education, 9(1), 60–70.

Koehler, M. J., Mishra, P., Kereluik, K., Shin, T. S., & Graham, C. R. (2014). The Technological Pedagogical Content Knowledge Framework. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen, & M. J. Bishop (Eds.), Handbook of Research on Educational Communications and Technology (pp. 101–111). New York, NY: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_9

Koehler, M. J., Shin, T. S., & Mishra, P. (2012). How do we measure TPACK? Let me count the ways. In C. R. Rakes, M. Niess, & R. N. Ronau (Eds.), Educational technology, teacher knowledge, and classroom impact: A research handbook on frameworks and approaches (pp. 16–31). Hershey, Pa: IGI Global (701 E. Chocolate Avenue Hershey Pennsylvania 17033 USA).

Link, N., Schäfer, P., & Walker, F. (2018). Der Cognitive Apprenticeship Ansatz – Eine Möglichkeit zur Förderung der Fehleranalysefähigkeit in mechatronischen Systemen. In S. Dietl, H. Schmidt, & Weiß, Reinhold, Wittwer, W (Eds.), Ausbilder-Handbuch: Aufgaben, Strategien und Zuständigkeiten für Verantwortliche in der Aus- und Weiterbildung (pp. 133–156). Köln: Dt. Wirtschaftsdienst.

Lipowsky, F. (2014). Theoretische Perspektiven und empirische Befunde zur Wirksamkeit von Lehrerfort- und weiterbildung. In E. Terhart, H. Bennewitz, & M. Rothland (Eds.), Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf (2nd ed., pp. 511–541). Münster, New York: Waxmann.

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2015). Key features of effective professional development programmes for teachers. Research and Innovation in Education, 7(2), 27–51.

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2017). Fortbildungen für Lehrkräfte wirksam gestalten – Erfolgversprechende Wege und Konzepte aus Sicht der empirischen Bildungsforschung. Bildung und Erziehung, 70(4), 379–399.

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2019). Empirische Befunde zur Wirksamkeit von Fortbildungen für Lehrkräfte. In P. Platzbecker, B. Priebe (Eds.), Zur Wirksamkeit und Nachhaltigkeit von Lehrerfortbildung (pp. 34–74). Wermelskirchen: Dokumentation der Fachtagung.

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. Teachers College Record, 108(6), 1017–1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x

PG Elektrotechnik (2019). Modulfortbildungen Industrie 4.0 Schuljahr 2019-2020. Retrieved from https://lehrerfortbildung-bw.de/s_bs/berufsbezogen/elektrotechnik/modulfortbildungen/modul_industrie40/flyer/

Pierson, M. E. (2001). Technology Integration Practice as a Function of Pedagogical Expertise. Journal of Research on Computing in Education, 33(4), 413–430. https://doi.org/10.1080/08886504.2001.10782325

Schäfer, P., Huber, C. & Walker, F. (2020). Eine Analyse des fachdidaktischen Lehrerfortbildungsangebots im Bereich der Automatisierungstechnik an berufsbildenden Schulen innerhalb von Deutschland. In M. Dengler (Hrsg.), Bildung 4.0. Digitalisierung im Kontext der Lehrkräftebildung (BAK-Vierteljahresschrift, S. 84–94). 53. Seminartag - Kaiserslautern. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren

Schäfer, P., & Walker, F. (2018). Problemlösen im Bereich der Automatisierungstechnik – Entwicklung und Evaluation eines Lehrerfortbildungskonzepts. Journal of Technical Education (JOTED), 6(4). Retrieved from http://www.journal-of-technical-education.de/index.php/joted/article/download/158/159

Schäfer, P., & Walker, F. (2019). Development of Professional Knowledge in Vocational Teacher Training in the Field of Automation Technology. In Universität Koblenz-Landau (ed.): Proceedings of the MoSAiK Conference from 20.-22.08.2018. In press.

Schaper, N., & Sonntag, K. (1997). Kognitive Trainingsmethoden zur Förderung diagnostischer Problemlösefähigkeit. In K. Sonntag & N. Schaper (Eds.), Mensch, Technik, Organisation: Bd. 13. Störungsmanagement und Diagnosekompetenz: Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen (pp. 193–210). Zürich: Vdf, Hochschulverl. an der ETH Zürich.

Scherer, R., Tondeur, J., & Siddiq, F. (2017). On the quest for validity: Testing the factor structure and measurement invariance of the technology-dimensions in the Technological, Pedagogical, and Content Knowledge (TPACK) model. Computers & Education, 112, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.04.012

Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Mishra, P., Koehler, M. J. [Matthew], & Shin, T. S. [Tae S.] (2009). Changing Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) through Course Experiences. Journal of Research on Technology in Education, 42(2), 4152–4159. https://doi.org/10.1080/15391523.2009.10782544

Schray, H., & Geißel, B. (2016). Cognitive Apprenticeship als Gestaltungsansatz für die Fehlersuche im allgemeinbildenden Elektrotechnikunterricht. Journal of Technical Education (JOTED), 4(2), 151–170.

Shin, T. S., Koehler, M. J., Mishra, P., Schmidt, D. A., Baran, E., & Thompson, A. (2009). Changing Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) through Course Experiences. Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2009, 4152–4159.

Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. Educational Researcher, 15(2), 4–14.

Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. Harvard Educational Review, 57(1), 1–23. https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411

SmartFactoryKL. (2017). SmartFactoryKL: Wegbereiter von Industrie 4.0. Kaiserslautern. Retrieved from http://smartfactory.de/wp-content/uploads/2017/08/SF_BR_WegbereiterVonIndustrie40_A5_DE_XS.pdf

Tenberg, R., & Pittich, D. (2017). Ausbildung 4.0 oder nur 1.2? Analyse eines technisch-betrieblichen Wandels und dessen Implikationen für die technische Berufsausbildung. Journal of Technical Education (JOTED), 5(1), 27–46.

Timperley, H., Wilson, A., Barrar, H., & Fung, I. (2007). Teacher Professional Learning and Development: Best Evidence Synthesis Iteration (BES). Wellington: Ministry of Education.

Walker, F., Kuhn, J., Hauck, B., Ulber, R., Hirth, M., Molz, A., Schäfer, M. & van Waveren, L. (2017). Erfassung von technologisch-pädagogischem Inhaltswissen in Lehrerfortbildungen zum naturwissenschaftlich-technischen Experimentieren unter Entwicklung und Verwendung neuer Smartphone-Experimente: Erste Ergebnisse einer Pilotierung. Lehrerbildung auf dem Prüfstand, 10(1), 1–18.

Walker, F., Link, N., Mohr, F., & Schäfer, P. (2018). Entwicklung eines Fortbildungskonzepts auf Basis des Ansatzes zum technologisch-pädagogischen Inhaltswissen zu Industrie 4.0. lernen & lehren, 33(130), 53–59.

Wang, W., Schmidt-Crawford, D., & Jin, Y. (2018). Preservice Teachers' TPACK Development: A Review of Literature. Journal of Digital Learning in Teacher Education, 34(4), 234–258. https://doi.org/10.1080/21532974.2018.1498039

Windelband, L., & Schmid, K. G. (2018). Beruflicher Unterricht zu Industrie 4.0 - über Tablet, Handreichung und digitale Kompetenz. lernen & lehren, 33(129), 30–33.

Zhao, Y. (Ed.). (2003). Research methods for educational technology. What should teachers know about technology?: Perspectives and practices. Greenwich, Conn: Information Age Pub. Retrieved from http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10429503

IV Gute Beispiele für die Verknüpfung von gewerblich-technischer und kaufmännischer Berufsbildung

Andreas Greiner & Horst Pongratz

Eine Lernfabrik in Eigenregie

Als einzige Schule am Pilotprojekt Initiative ´Modellschule Industrie 4.0´ des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus hat sich das berufliche Schulzentrum Amberg die Konzeption und Errichtung eine Smart Factory ohne einer externen Komplettlösung zum Ziel gesetzt. Dieses Ziel soll abteilungs- und schulartübergreifend realisiert werden. Die ersten Projektphasen sind erfolgreich abgeschlossen und die ersten Installationen der Smart Factory sind erfolgt. Die hohe Motivation der beteiligten Schülerinnen und Schüler sind ein guter Gradmesser, dass der gewählte Weg stimmig ist. Im vorliegenden Artikel wird das Projekt durch Dr. Horst Pongratz vom beruflichen Schulzentrum Amberg knapp dargestellt und von Andreas Greiner kritisch analysiert.

Inhaltsverzeichnis

1 Das BSZ Amberg 202

1.1 Allgemeine Rahmenbedingungen 202

1.2 Die Akteure am Beruflichen Schulzentrum Amberg 202

2 Das Pilotprojekt im Überblick 203

2.1 Motivation und Antragsstellung 203

2.2 Ausgangslage und Zieldefinition 204

2.3 Derzeitiger Stand des Projekts 205

3 Verschränkung von kaufmännischer und technischer Bildung 205

3.1 Lehrplanbezug der gewerblichen und kaufmännischen Abteilungen 205

3.2 Ziele der Abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit 208

3.3 Prozessmodell des Pilotprojekts am BSZ Amberg 209

4 Analyse des gewählten Projektansatzes am BSZ Amberg 214

4.1 SWOT-Analyse des laufenden Projekts 214

4.2 Ableitung von Handlungsempfehlungen für kommende Projekte 217

5 Zusammenfassung und erste Erkenntnisse 219

Literaturverzeichnis 220



Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording des Austausches im virtuellen Raum „Amberg“

1 Das BSZ Amberg

1.1 Allgemeine Rahmenbedingungen

Das Berufliche Schulzentrum Amberg umfasst eine Berufsschule, eine Berufliche Oberschule, und eine Fachschule für Mechatroniktechnik/Elektrotechnik. Die Berufsschule gliedert sich in die Abteilungen Wirtschaft, Metalltechnik, Elektrotechnik sowie Nahrung/Gesundheit/Körperpflege. Die Berufliche Oberschule bietet sowohl in der Fachoberschule als auch in der Berufsoberschule die Ausbildungsrichtungen Sozialwesen, Technik, Gesundheit sowie Wirtschaft und Verwaltung an. Dabei umfasst die FOS neben einer Vorklasse die Jahrgangsstufen 11 bis 13 und die BOS die Jahrgangsstufen 12 bis 13 und ebenfalls eine Vorklasse. Die Fachschule bietet Absolventen der einschlägigen Ausbildungsberufe in der Mechatronik und Elektrotechnik mit mindestens einjähriger Berufspraxis die Weiterqualifikation zum Techniker in der Mechatronik- und Elektrotechnik. Sachaufwandsträger für das Berufliche Schulzentrum sind die Stadt Amberg und der Landkreis Amberg-Sulzbach. Die etwa 2.500 Schüler des Beruflichen Schulzentrums kommen aus unterschiedlichen Landkreisen und Städten, vor allem aus der Stadt Amberg, und den Landkreisen Amberg-Sulzbach, Nürnberger Land, Schwandorf, Neumarkt und Cham. Die Lehrkräfte pflegen einen intensiven Kontakt zur OTH Amberg-Weiden und zu den jeweiligen Ausbildungsbetrieben. Insbesondere die Tatsache, dass die Firma Siemens mit dem Elektronikwerk Amberg (EWA) einen Industrie-4.0-Leuchtturm in Amberg hat, ist für das laufende Projekt ein zusätzlicher Motivator (Siemens AG, 2018).

1.2 Die Akteure am Beruflichen Schulzentrum Amberg

Das Projekt Industrie 4.0 wurde von den gewerblichen Abteilungen der Berufsschule und der Technikerschule initiiert. In diesen Abteilungen liegt auch die Gesamtverantwortung für das Projekt Industrie 4.0. Erweitert wird das Projektteam um einen Vertreter der kaufmännischen Abteilung von Berufsschule und der Beruflichen Oberschule. Durch diese abteilungsübergreifende Ausrichtung des Projekts erhält dieses eine realistischere Ausrichtung, da somit auch Aspekte der Beschaffung und des Vertriebs, sowie das Controlling und die betriebliche Kalkulation berücksichtigt werden können.

2 Das Pilotprojekt im Überblick

2.1 Motivation und Antragsstellung

Das Berufliche Schulzentrum Amberg ist eine IT- und technikaffine Schule. Die kontinuierliche Erweiterung der technischen Ausstattung aller Abteilungen war unabdingbare Grundlage für die Entscheidung sich um das Pilotprojekt Initiative *´Modellschule Industrie 4.0´ des Bayerischen* Staatsministeriums für Unterricht und Kultus zu bewerben.

Der Antrag wurde federführend für die Beteiligung folgender gewerblich-technischer Fachklassen gestellt. Aus der Abteilung Metalltechnik sind die Fachklassen für Industriemechanik und Werkzeugmechanik beteiligt. Weiterhin sind die Fachklassen für Mechatronik und Elektronik für Geräte und Systeme der Abteilung Elektrotechnik für das Projekt fest eingeplant. Ergänzend beteiligt sich die Technikerschule mit der Fachklasse für Elektrotechnik und Mechatroniktechnik am Pilotprojekt.

Die obengenannten Berufe weisen einen hohen Themenbezug zum Themenbereich Industrie 4.0 auf, sodass durch das Einbinden aller benannten Berufe eine breite Schülerschaft erreicht wird und die Expertise der beteiligten Lehrkräfte in allen Berufsbereichen genutzt werden kann.

Im weiteren Verlauf der Antragsstellung kamen noch kaufmännische Berufsbilder hinzu, sodass die Abteilung Wirtschaft & Verwaltung mit den Fachklassen für Kaufleute im Einzelhandel (EH)[1] und für Kaufleute im Groß- und Außenhandel (GAH)[2] im Projektantrag benannt werden konnten. Die Beteiligung der kaufmännischen Abteilung erfolgt mit klarem Lehrplanbezug, welcher im Kapitel 3 weiter ausgeführt wird.

Zuletzt erklärte auch die Berufliche Oberschule im Rahmen der ERP-Wahlmodule im Informatikunterricht ihre Beteiligung am Pilotprojekt (ISB, 2020a, 2020b).

[1] Bei den Einzelhandelskaufleuten sind die Lernfelder Einzelhandelsprozesse (EHP) in der Jahrgangsstufe 10 und ebenfalls KSK und den Jahrgangsstufen 11 und 12 einschlägig. Im Lernfeld EHP werden die Beschaffung und die Annahme, Lagerung und Pflege von Waren thematisiert, alles wichtige Bereiche sobald die Smart Factory die Produktion aufnimmt. Im Bereich KSK stehen die Erfassung und Kontrolle von Geschäftsprozessen (Jgst. 11) und die erfolgsorientierte Steuerung derselben (Jgst. 12) im Fokus (ISB 2017).

[2] So fordert der Lehrplan für Groß- und Außenhändler im Lernfeld Groß- und Außenhandelsprozesse (GAP) die Planung, Steuerung und Kontrolle logistischer Prozesse in der 10. Jahrgangsstufe. Im gleichen Lernfeld werden in Jahrgansstufe 12 „Berufsorientierten Projekte“ gefordert. Zusätzlich lassen sich die in der Smart Factory geforderten kaufmännischen Kompetenzen auch im Lernfeld der Kaufmännischen Steuerung und Kontrolle (KSK) finden. In der 10. Jahrgangsstufe sind Geschäftsprozesse als Wertströme zu erfassen, zu dokumentieren und auszuwerten. Die Auswertung von Unternehmensergebnissen, deren Aufbereitung, Bewertung und Nutzung hingegen sin in der 12. Jahrgangsstufe gefordert (ISB 2006).

2.2 Ausgangslage und Zieldefinition

Ein wichtiger Baustein ist das bereits in der Vergangenheit entwickelte Electro-Acoustic-Radiometer-System "The Ear", mit dessen Hilfe die Lautstärke in einem Raum gemessen werden kann und das bereits in mehreren Amberger Kindergärten und Grundschulen eingesetzt wird.

Dieses Produkt soll nunmehr in einer „Smart Factory“ erstellt werden können. Für das Pilotprojekt wurde als Ziel definiert, dass dieses Produkt gezielt den Kundenwünschen angepasst werden soll und mit Inbetriebnahme der automatisierten Produktion auch in den Vertrieb gehen soll. So soll es möglich sein, die Form des Ohrs auf Grundlage eines 3D-Scans dem des Bestellers anzupassen. Eine weitergehende Entwicklung neuer Produkte ist angedacht und soll nach erfolgreicher Inbetriebnahme der „Ear“-Produktion angestoßen werden (Amberger Zeitung, 2017). Ein derart ambitioniertes Projekt kann nur mit starken Partnern gelingen, wobei das Berufliche Schulzentrum Amberg auf die Kooperationspartner Siemens, SAP, ETS-Didaktik und Stäubli-WFT zählen kann.

Um die Smart Factory erfolgreich zu etablieren sind alle Produkte unter den Gesichtspunkten des Konzeptes Wirtschaft 4.0 selbst zu entwickeln, zu konstruieren und zu fertigen. Sämtliche Prozesse werden in einem Warenwirtschaftssystem (ERP/SAP) abgebildet, die Produktion auf Kundenwunsch abgestimmt und mittels MES-gesteuert in einem Cyberphysischen System so weit als möglich automatisiert umgesetzt. Die dabei nicht von der Berufsschule leistbaren Elemente werden mit Hilfe der obenstehenden Kooperationspartner verwirklicht.

Bei Stellung des Antrags war es den Projektinitiatoren besonders wichtig, dass keine fertige Laborlösung eines gewerblichen Anbieters angeschafft wird, sondern dass der gesamte Prozess von der Planung der Smart Factory über die Umsetzung bis zur Optimierung der Produktionsstätte und der hinterlegten Prozesse gemeinsam mit den Auszubildenden durchgeführt werden kann. Dieser Ansatz ist aus Sicht der Projektbeteiligten aus didaktischer Sicht vielversprechend, da die beteiligten Auszubildenden sich intensiv mit technischen und organisatorischen Fragestellungen auseinandersetzen müssen, die sich bei fertigen Laborumgebungen nicht stellen. Auch im Hinblick auf Nachhaltigkeit wurde dieser individuelle Ansatz am Beruflichen Schulzentrum Amberg gewählt, denn dieser Weg zur Smart Factory ermöglicht eine kontinuierliche Optimierung und eine bedarfsgerechte Skalierung der Produktion.

2.3 Derzeitiger Stand des Projekts

Das Projekt liegt aktuell im Zeitplan. Die Covid-19 bedingte Schließung der Schule hat den Beschaffungsprozess wenig behindert und das Projekt befindet sich seit dem Kick-Off der Smart Factory im November 2019 in der Projektierung und die ersten Anlagen sind bereits aufgebaut und als Insellösung bereits funktionsfähig.

Die Ausbildung am SAP-System findet aktuell an der Beruflichen Oberschule vornehmlich im Informatikunterricht der BOS statt, da die berufliche Vorerfahrung der Schülerinnen und Schüler für das Verständnis der Prozesse und der Logik hinter diesem ERP-System hilfreich ist. Eine Ausweitung der SAP-Ausbildung für die Technikerschule ist aktuell in Planung.

Grundlage für alle Arbeiten im Projekt sind die jeweils gültigen Lehrpläne der einzelnen beteiligten Berufe und Ausbildungsrichtungen. So sind in der aktuellen Phase nur die gewerblichen Berufe und die BOS bereits aktiv am Projekt beteiligt.

Eine direkte Einbindung der benannten Ausbildungsberufe der Groß- und Außenhandelskaufleute und der Einzelhandelskaufleute ist erst in einer späteren Phase des Projekts angedacht, sobald die Smart Factory produktionsbereit ist und Fragen der Güterbeschaffung oder des Vertriebs zu klären sind.

3 Verschränkung von kaufmännischer und technischer Bildung

3.1 Lehrplanbezug der gewerblichen und kaufmännischen Abteilungen

Der Beitrag der jeweiligen Berufsbilder erfolgt im Rahmen des regulären Unterrichts und folglich auch auf Grundlage der geltenden Lehrpläne. Für das Pilotprojekt in Amberg sind folgende Lehrplaninhalte der gewerblichen Abteilungen projektrelevant (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, 2008, 2009, 2018b, 2018a):

Jahrgangstufe 11 Industriemechanik

Automatisierungstechnik Instandhaltung Bauelemente Fertigungstechnik

- Installieren und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme
- Instandhalten von technischen Systemen

- Montieren von technischen Teilsystemen
- Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen
- Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen
- Überwachen der Produkt- und Prozessqualität

Jahrgangstufe 11 Werkzeugmechanik

Instandhaltung Bauelemente Fertigungstechnik

- Planen und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme
- Herstellen technischer Teilsysteme des Werkzeugbaus
- Formgeben von Bauelementen durch spanende Fertigung
- Fertigen mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen
- Herstellen von formgebenden Werkzeugoberflächen

Jahrgangsstufen 12 und 13 Industriemechanik

Automatisierungstechnik Instandhaltung Bauelemente Fertigungstechnik

- Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme
- Instandhalten von technischen Systemen
- Herstellen und Inbetriebnehmen von technischen Systemen
- Planen und Realisieren technischer Systeme
- Optimieren von technischen Systemen

Jahrgangsstufen 12 und 13 Werkzeugmechanik

Instandhaltung Bauelemente Fertigungstechnik

- Inbetriebnehmen und Instandhalten von technischen Systemen des Werkzeugbaus
- Planen und Fertigen technischer Systeme des Werkzeugbaus
- Fertigen von Bauelementen in der rechnergestützten Fertigung
- Herstellen der technischen Systeme des Werkzeugbaus

Mechatroniker/-innen

- Systemparameter analysieren; Verfahren zur Fehlersuche aneignen;
- Systemzuverlässigkeit prüfen: Anpassung von Systemkomponenten an veränderte Anforderungen;
- Vernetzung mit Leitebene durchführen

Elektroniker/-in für Geräte und Systeme

- Schaltungen auf Baugruppen- und Bauelementebene analysieren;
- Prüfverfahren als Methoden des Qualitätsmanagements anwenden;
- Echtzeit und Determinismus in Netzen umsetzen;
- Datenerfassung über Schnittstellen realisieren

Techniker/-in

- Realisierung der Anlage
- Projektarbeiten
- Mechatronische Systementwicklung

Deutlich ist erkennbar, dass die beteiligten Berufe sich auch mit der Konzeption und Umsetzung von Produktionsstätten beschäftigen müssen und dass die gültigen Lehrpläne bereits den ganzheitlichen Ansatz der Amberger Smart Factory unterstützen. So können bereits jetzt, an den bisher realisierten Produktionsinseln Aspekte der vernetzten Fertigung auch haptisch erlebt werden und die Theorie durch praktische Beschäftigung mit dem Thema umfassend und verständlich vermittelt werden.

Von Seiten der kaufmännischen Abteilung sind zwei Berufsbilder für die Projektbeteiligung vorgesehen. Hierbei handelt es sich um Kaufleute für Groß- und Außenhandel sowie um Einzelhandelskaufleute. Beide Berufe können im Bereich Vertrieb sowie im Bereich der Beschaffung von Gütern wichtige Impulse für das Projekt liefern. Aus Sicht der gültigen Lehrpläne sind folgende Lernfelder passend (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, 2006, 2017):

Jahrgangsstufe 10 Groß- und Außenhandelskaufleute

Groß- und Außenhandelsprozesse:

- Logistische Prozesse planen, steuern und kontrollieren

Kaufmännische Steuerung und Kontrolle:

- Geschäftsprozesse als Werteströme erfassen, dokumentieren und auswerten

Jahrgangsstufe 12 Groß- und Außenhandelskaufleute

Groß- und Außenhandelsprozesse:

- Berufsorientierte Projekte für den Groß- und Außenhandel durchführen

Kaufmännische Steuerung und Kontrolle:

- Unternehmensergebnisse aufbereiten, bewerten und nutzen

Jahrgangsstufen 10 Einzelhandelskaufleute

Einzelhandelsprozesse:

- Waren beschaffen
- Waren annehmen, lagern und pflegen

Jahrgangsstufen 12 und 13 Einzelhandelskaufleute

Kaufmännische Steuerung und Kontrolle:

- Geschäftsprozesse erfassen und kontrollieren

Der Beitrag der kaufmännischen Abteilung kann somit zukünftig auf zwei Bereiche zusammengefasst werden. Zum einen die kaufmännische Betrachtung der laufenden Prozesse innerhalb der Fertigung der Smart Factory sowie die Analyse der Wertströme, so dass eine realistische Preisgestaltung der erstellten Produkte möglich wird. Weiterhin sind alle Bereiche betroffen, die mit der Beschaffung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, von Halbfertigprodukten oder Fertigprodukten in Zusammenhang stehen oder mit dem Vertrieb des fertigen Produkts.

Weiterhin erfolgt die Ausbildung am SAP-System an der BOS im Rahmen des Informatikunterrichts auf Grundlage von SAP4school (Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung, 2020). Ein Umstieg auf einen noch zu realisierenden SAP-Mandanten der Amberger Smart Factory ist angedacht.

Eine Kooperation mit der städtischen Wirtschaftsschule als Vertriebspartner im Rahmen der Übungsfirmenarbeit ist von Seiten des Projektteams geplant.

3.2 Ziele der abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit

Zum aktuellen Zeitpunkt ist es kaum möglich abzuschätzen, inwieweit sich das ambitionierte Projekt tatsächlich vollumfänglich durchführen lässt, die ersten Rückmeldungen von beteiligten Lehrkräften, Schülerinnen und Schülern und deren Ausbildungsbetrieben stimmen insgesamt sehr positiv.

Aus Sicht der Projektverantwortlichen ist eines der wichtigsten Ziele, dass die Smart Factory aus eigenen Mitteln realisiert werden kann und das „Ear“ dort dann kundenindividuell und automatisiert gefertigt werden kann. Aber die erwartete Zielerreichung umfasst bei weitem mehr. Das Projektziel ist für alle Beteiligten auch erreicht, wenn die beteiligten Auszubildenden ein Verständnis für die Wichtigkeit optimierter Prozesse entwickeln, wenn sie in der Lage sind Problemstellungen zu modellieren und für diese im Team gemeinsam Lösungswege erarbeiten und umsetzen können. Wenn weiterhin erreicht werden kann, dass am Ende des Projekts Kaufleute und Techniker/innen Hand in Hand arbeiten, gemeinsam Probleme besprechen und lösen und ein vertieftes Verständnis für die Situation des jeweiligen Gegenüber im jeweiligen Geschäftsprozess entwickeln, dann wurden die Kernziele erreicht.

3.3 Prozessmodell des Pilotprojekts am BSZ Amberg

Das Prozessmodell der Smart Factory wird hier exemplarisch anhand des Durchlaufs einer Kundenanfrage aufgebaut und zeigt eine Möglichkeit, die im Lernfabrikkonzept definierten Kernprozesse in einen Gesamtzusammenhang zu bringen. Da das Prozessmodell das Zusammenspiel der kaufmännischen und gewerblich-technischen Prozessanteile verdeutlichen soll, werden der kaufmännische Bereich sowie der gewerblich-technische Bereich als separate Lanes dargestellt. Die zu verrichtenden Aufgaben und Teilprozesse werden innerhalb der jeweiligen Lane arrangiert, um die Zuständigkeit für die Erfüllung dieser Aufgaben darzustellen. Beide Lanes gehören zum übergeordneten Pool „Smart Factory BSZ Amberg“, der die gesamte Lernfabrik repräsentiert.

Der Kunde, der mit der Smart Factory in Kontakt tritt, ist hier kein zentraler Betrachtungsgegenstand und wird deshalb im Prozessmodell als Blackbox visualisiert. Die Kernprozesse der Smart Factory werden in der BPMN-Semantik entweder als Aufgabe oder Teilprozess dargestellt. Teilprozesse sind dabei mit einem „+“ gekennzeichnet. Dies bedeutet, dass der Teilprozess mehrere Subprozesse zusammenfasst, die in diesem Modell aufgrund der Zielsetzung nicht näher betrachtet werden. Die grau hinterlegten Aufgaben und Teilprozesse gehören zum Zuständigkeitsbereich des kaufmännischen Bereichs und sind daher in der oberen Lane angeordnet. Die blau hinterlegten Teilprozesse liegen im Zuständigkeitsbereich der gewerblich-technischen Abteilungen Metall- und Elektrotechnik und daher der unteren Lane des Prozessmodells zugeordnet. An der Schnittebene der beiden Lanes sind weitere Aktivitäten angeordnet, die eine Zusammenarbeit zwischen beiden Bereichen erfordern und daher Schnittstellen zwischen gewerblich-technischen und kaufmännischen Tätigkeiten darstellen.

Alle hier getroffenen Aussagen sind hypothetisch, da sich die Smart Factory am BSZ Amberg zum Zeitpunkt der Drucklegung im Aufbau befindet und die Beteiligung der kaufmännischen Abteilung erst aktiv geplant ist, wenn die technischen Herausforderungen des Projekts erfolgreich gemeistert sind. Daher kann zum aktuellen Zeitpunkt noch keinerlei Aussage über die exakte unterrichtliche Zusammenarbeit zwischen den gewerblichen Abteilungen und der kaufmännischen Abteilung am BSZAM getroffen werden. Fest steht jedoch, dass die Bereich Kundenakquise, Materialbeschaffung, Logistik und After-Sales-Services in den kaufmännischen Berufen an der Smart Factory unterrichtet und in der Smart Factory umgesetzt werden sollen.

Alle Prozesse und Daten der Smart Factory werden entweder über das MES-System oder direkt im SAP-System erfasst weiterverarbeitet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden Datenspeicher und Datenobjekte wie das MES- oder das SAP-System nicht im Prozessmodell abgebildet.

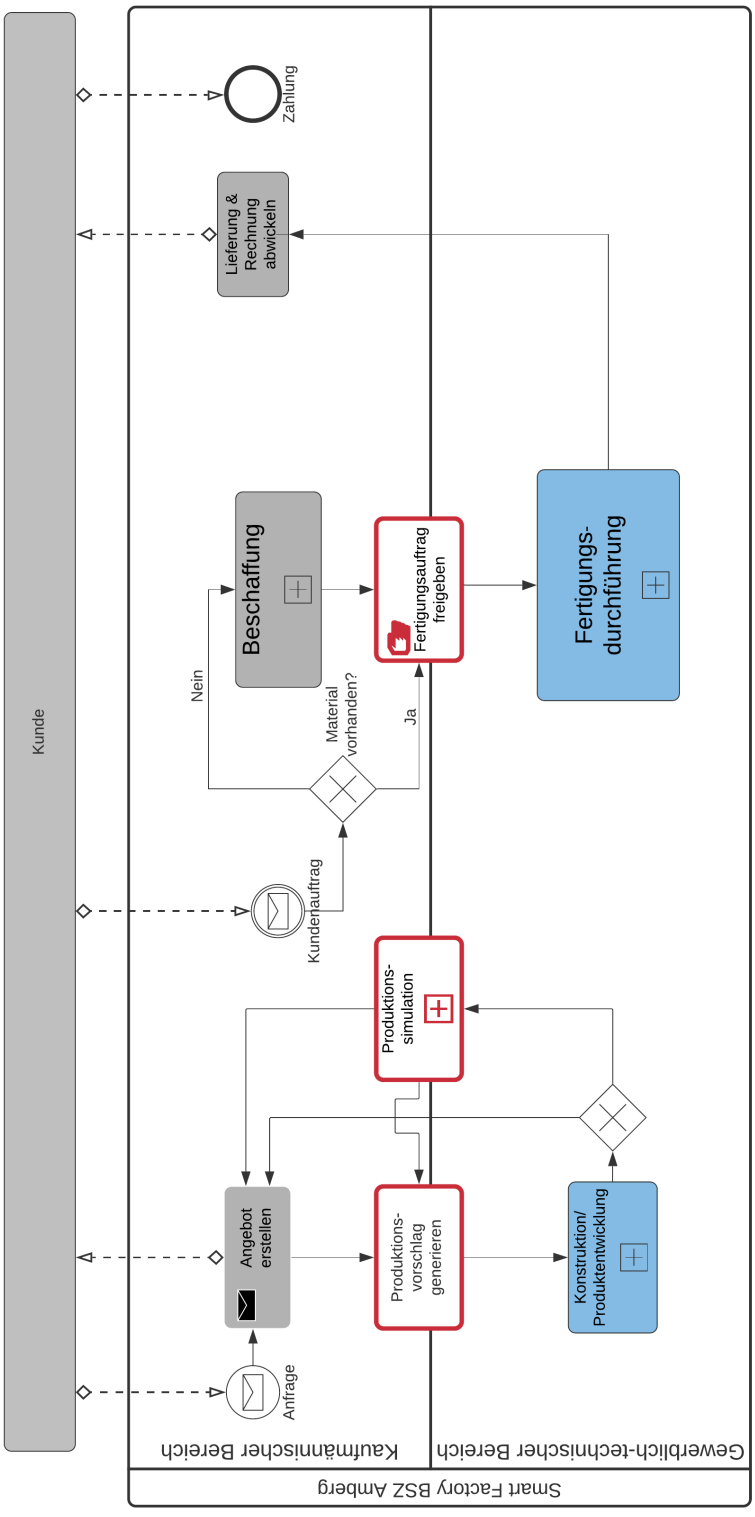


Abbildung 1: Prozessmodell Smart Factory BSZ Amberg

Der Lernfabrikprozess beginnt mit dem Eingang einer Kundenanfrage in der Smart Factory. Dies kann auf herkömmliche Art und Weise oder automatisch über einen zukünftig geplanten

Online-Shop erfolgen. Die eingehende Anfrage des Kunden bildet das Startereignis des Lernfabrikprozesses und löst die Aufgabe „Angebot erstellen“ aus. Hier wird auf kaufmännischer Seite ein Angebot mit Hilfe des SAP-Moduls „Vertrieb“ erstellt. Die notwendigen Informationen, wie Preis, Menge, Lieferzeit sowie die Zahlungsbedingungen werden vom SAP-System auf Basis von Echtzeit-Daten aus den verschiedensten Unternehmensbereichen zusammengestellt (Groh & Schröer, 2018, S. 70). Im Zuge der Angebotserstellung wird außerdem ein Produktionsvorschlag angelegt, welcher als Planungsvorschlag für die Produktion des angefragten Produkts dient (SAP SE, 2020b). Dabei wird u.a. der Kapazitätsbedarf anhand von Echtzeit-Daten der Produktion ermittelt und die zeitliche Planung vorgeschlagen (SAP SE, 2020a). Auf dieser Basis kann schließlich ein Angebot erstellt und an den Kunden versendet werden. Statt eines Standardproduktes kann auch ein individualisiertes Produkt angeboten werden. Im Rahmen des Teilprozesses Konstruktion/Produktentwicklung können individuelle Gehäuseformen mit Hilfe eines 3D-Scanners aufgenommen, bearbeitet und mittels 3D-Drucker realisiert werden. Diese Daten und Informationen fließen entweder direkt in das Angebot ein oder es erfolgt zuerst eine Produktionssimulation mit Hilfe der Simulationssoftware Siemens-NX. Dabei kann der Produktionsprozess des Produkts simuliert und optimiert werden. Der Teilprozess „Produktionssimulation“ wird dabei anlassbedingt durchgeführt. Nimmt der Kunde das Angebot an, tritt das Zwischenereignis „Kundenauftrag“ ein.

Durch den Produktionsvorschlag ist der Materialbedarf des Auftrags bereits im System erfasst und die zeitliche Planung der Produktion festgelegt. Bevor der Fertigungsauftrag freigegeben werden kann, wird überprüft ob das zur Produktion des Auftrags notwendige Material bereits vorhanden ist. Gegebenenfalls wird der Teilprozess „Beschaffung“ ausgelöst. Die Freigabe des Fertigungsauftrags erfolgt allerdings manuell, um die Kontrolle über den Prozess zu behalten. Die Einsteuerung und Planung der Fertigungsaufträge in der Fertigungsdurchführung übernimmt der vollständig vernetzte Leitstand. Ist die Produktion schließlich abgeschlossen, wird das fertige Produkt verpackt und im Zuge des Absatzprozesses „Lieferung- und Rechnung“ an den Kunden ausgeliefert sowie die Zahlungsabwicklung durchgeführt. Dies erfolgt mit Hilfe des SAP-Moduls „Disposition“. Die Information über den Zahlungseingang auf dem Konto der Smart Factory stellt schließlich das Endereignis dar und beendet den Lernfabrikprozess.

Zusammenarbeit kaufmännischer und gewerblich-technischer Berufe

Für Kooperationen zwischen gewerblich-technischen und kaufmännischen Lernenden eignen sich die Prozesse „Produktionsvorschlag generieren“ sowie „Produktionssimulation“ besonders gut. Der Produktionsvorschlag wird im Zuge der Angebotserstellung im System angelegt und bildet alle mit der Kundenanfrage verknüpften Informationen auf unternehmensinterner Seite ab. Wird ein kundenindividuelles Produkt angefragt, bildet der Produktionsvorschlag außerdem die Schnittstelle zwischen Kundenanforderungen (Lastenheft) und der konstruktiven Umsetzung mittels CAD im Produktentwicklungsprozess. Mit Hilfe der Simulationssoftware können gewerblich-technische Lernende im Prozess „Produktionssimulation“ Optimierungspotentiale, wie Engpässe oder Stillstandzeiten identifizieren. Auf kaufmännischer Seite werden Optimierungspotenziale dagegen vor allem durch Kennzahlen identifiziert und beschrieben. An diesen Schnittstellen ist nach Inbetriebnahme der Arbeit in der Smart Factory die Zusammenarbeit zwischen dem kaufmännischen und dem gewerblich-technischen Bereich der Lernfabrik gefragt, um einen erfolgreichen Ablauf der Prozesse zu gewährleisten. Vor allem die Projektarbeiten im Groß- und Außenhandel der Jgst. 12 sowie die Orientierung an Geschäftsprozessen im KSK-Unterricht bei Einzelhändlern und Großhändlern können hier gute Möglichkeiten zur Kooperation bieten. In kooperativen Lernsituationen könnten dann Lernende der gewerblichen und kaufmännischen Bereiche lernen Probleme und Aufgaben wie Optimierungs- oder Angebotserstellungsprozesse gemeinsam lösen. Dabei werden neben der Fachkompetenz auch personale Kompetenzen gefördert.

Kooperationen bieten sich am BSZ Amberg beispielsweise zwischen Industriemechanikern/-innen oder Mechatronikern/-innen und Berufsoberschülern/-innen in den Fächern Betriebswirtschaftslehre/Rechnungswesen und Informatik an. In den jeweiligen Lehrplänen bzw. Lehrplanrichtlinien sind bereits entsprechende Schnittstellen vorgesehen. Die Lehrplanrichtlinie des Berufs Industriemechaniker/-innen sieht beispielsweise in den Lernfeldern „Planen und Realisieren technischer Systeme“ und „Optimieren von technischen Systemen“ entsprechende Schnittstellen zu kaufmännischen Prozessanteilen vor. Lernende analysieren etwa Projektaufträge im Hinblick auf ihre Durchführbarkeit, beurteilen Projektergebnisse bezüglich wirtschaftlicher Aspekte oder untersuchen Systeme und Produktionsabläufe hinsichtlich wirtschaftlicher Optimierungsmöglichkeiten und schätzen den wirtschaftlichen Nutzen von selbst erarbeiteten Verbesserungsvorschlägen ein (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, 2018b, S. 24,25). Mechatroniker/-innen sollen im Lernfeld „Kommunizieren mit Hilfe von Datenverarbeitungssystemen“ betriebliche Prozesse unter Nutzung, Analyse und Verarbeitung von Daten

steuern. Das Lernfeld „Planen und Organisieren von Arbeitsabläufen“ sieht darüber hinaus Inhalte wie Materialdisposition und Kalkulation, Analyse von Arbeitsabläufen, Bewertung und Dokumentation von Ergebnissen, Zeit- und Kostenkalkulationen sowie Prozess-Datenverarbeitung vor. Und im Lernfeld „Übergabe von mechatronischen Systemen an Kunden“ sind neben dem der Arbeit in interdisziplinären Teams sogar explizit kaufmännische Tätigkeiten wie die Gestaltung von Kundenbeziehungen unter Berücksichtigung von Marketingstrategien verankert (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, 2018a, S. 14,16,20).

Einschlägige Kooperationsprojekte zwischen kaufmännischen und gewerblich-technischen Lernenden sind im Rahmen der Lernfabrikarbeit am BSZ Amberg geplant und werden in den nächsten Jahren schrittweise etabliert.

4 Analyse des gewählten Projektansatzes am BSZ Amberg

4.1 SWOT-Analyse des laufenden Projekts

Das Lernfabrikkonzept am BSZ Amberg unterscheidet sich durch die eigenständige Entwicklung grundsätzlich von anderen Lernfabrikkonzepten. Mit Hilfe einer SWOT-Analyse wird der Amberger Projektansatz nun untersucht und entsprechende Handlungsempfehlungen für kommende Projekte abgeleitet.

Eine der Stärken der eigenständigen Lernfabrikentwicklung ist der modulare Aufbau der Lernfabrik aus flexiblen Teilanlagen. Dadurch können mehrere Lerngruppen gleichzeitig in der Lernfabrik arbeiten, ohne sich gegenseitig in die Quere zu kommen. Die Teilanlagen können dabei auch unabhängig von anderen Teilanlagen flexibel im Unterricht eingesetzt werden. Die physische Produktion und der anschließende Verkauf des realen Industrie-4.0-Produktes „Ear“ wirkt sich dabei positiv auf die Motivation der Lernenden aus, da hier kein vereinfachtes Demonstrationsprodukt produziert wird. Eine weitere Stärke des Amberger Projektansatzes stellt die vollständige Integration des ERP-Systems SAP in der Lernfabrik dar. Damit können auch kaufmännische Lernende in die Lernfabrikarbeit eingebunden werden. Auch Kooperationen zwischen gewerblich-technischen und kaufmännischen Lernenden werden durch die systemseitige Abbildung der gesamten Lernfabrikprozesse in SAP interessant. Die Kooperation des

Beruflichen Schulzentrums mit starken externen Partnern, wie der OTH Amberg-Weiden und lokalen Betrieben, ist zweifelsohne eine Stärke des Amberger Lernfabrikprojekts. Diese stehen den hochmotivierten Experten des BSZ Amberg mit zusätzlicher Expertise bei der Entwicklung und Einrichtung der Lernfabrik zur Seite und gewährleistet die notwendige Praxisnähe. Durch die selbstständige Entwicklung der Lernfabrik gewinnt das BSZ Amberg außerdem Unabhängigkeit von einzelnen Lehrmittelherstellern und kann eigene Ideen besser umsetzen.

Der Amberger Projektansatz bringt allerdings auch die ein oder andere Schwäche mit sich. So ist die selbstständige Entwicklung und Einrichtung der Lernfabrik mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden, der sich in der langen Projekt-Timeline widerspiegelt. Das Problem wird durch fehlende zeitliche und personelle Ressourcen zusätzlich verschärft, denn die beteiligten Lehrkräfte stemmen das gesamte Lernfabrikprojekt ausschließlich in ihrer unterrichtsfreien Zeit. Für jede Teilanlage der Lernfabrik gibt es dabei jeweils nur eine Lehrkraft, die für die Entwicklung und den Aufbau verantwortlich ist. Dafür ist ein hohes Maß an Expertise nötig, welche die berufserfahrenen Ingenieure am BSZ Amberg jedoch bereits mitbringen. Da die Lehrkräfte am BSZ Amberg zum ersten Mal ein pädagogisches Lernfabrikkonzept erstellen, ist von einer fehlenden Erfahrung bei der Entwicklung eines solchen Konzeptes auszugehen, was einen erhöhten Aufwand für das Team bedeutet. Zuletzt fehlen am BSZ Amberg kaufmännische Ausbildungsberufe, wie Industriekaufleute, die von der Lernfabrikarbeit besonders profitieren. Zwar sind im Konzept Groß- und Außenhandelskaufleute sowie Einzelhandelskaufleute berücksichtigt, allerdings können diese mangels industrieller Ausrichtung der Berufe nur begrenzt von der Lernfabrikarbeit profitieren.

Neben den internen Stärken und Schwächen des Amberger Projektansatzes können auch externe Chancen und Risiken für das Projekt identifiziert werden.

So stellt die hohe Arbeitsbelastung der wenigen, an der Entwicklung der Lernfabrik beteiligten Lehrkräfte ein Risiko dar. Fällt eine Lehrkraft aus, ist mit einer erheblichen Verzögerung des Projekts zu rechnen. Auch Lieferengpässe bei den einzelnen Teilanlagen bzw. Komponenten erhöhen das Risiko einer Projektverzögerung. Des Weiteren ist gerade der Industrie-4.0-Bereich besonders stark in Bewegung, sodass Flexibilität von Maschinen und Anlagen gefragt ist (Plattform Industrie 4.0, 2020). Eine heute geplante Industrie-4.0-Lernfabrik kann somit in zehn Jahren nicht mehr dem State-of-the-Art entsprechen.

Diesen Risiken stehen jedoch die zahlreichen Chancen des Amberger Projektansatzes gegenüber. Durch den modularen Aufbau aus flexiblen Teilanlagen kann die Lernfabrik ständig

weiterentwickelt werden und somit nicht an Aktualität verlieren. Lernende können dabei aktiv in die Entwicklung und Einrichtung der Lernfabrik eingebunden werden. Damit beschränkt sich das Kompetenzspektrum nicht nur auf die Anwendung und Reproduktion, sondern es können auch Kompetenzen auf höheren Taxonomie-Stufen angesprochen werden. Weitere Chancen liegen in der Einbindung von Berufsoberschülerinnen und Berufsoberschülern in die Lernfabrikarbeit. Diese verfügen bereits über eine abgeschlossene Berufsausbildung. Dies kann gerade im kaufmännischen Bereich für weiterführende Lernfabrikprojekte genutzt werden, bei denen kaufmännische Grundlagen vorausgesetzt werden können. Und schließlich bieten zunehmend prozessorientiert und interdisziplinär gestaltete Lehrpläne und Lehrplanrichtlinien die Chance Kooperationen zwischen kaufmännischen und gewerblich-technischen Lernenden leichter anzubahnen und umzusetzen (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung, 2006, 2008, 2009, 2017, 2018b, 2018a, 2020a, 2020b).

Strengths
• Modularer Aufbau der Lernfabrik aus flexiblen Teilanlagen • Innovatives und reales Industrie-4.0-Produkt (Motivation) • Einbindung von kaufmännischen Lernenden durch vollständige Integration von SAP • Kooperation mit starken externen Partnern (Know-How, Praxisnähe) • Hoch motivierte Lehrkräfte mit starker Expertise • Unabhängigkeit von einzelnem Lehrmittelhersteller
Weaknesses
• Hoher Zeitaufwand für selbstständige Entwicklung und Einrichtung der Lernfabrik (Lange Entwicklungs- und Aufbauphase) • Geringe zeitliche und personelle Ressourcen (Arbeitsbelastung, Überforderung, Demotivation, Ausfallrisiko) • Hohes Maß an eigener Expertise notwendig • Fehlende Erfahrung bei der Entwicklung des pädagogischen Lernfabrikkonzepts • Keine Industriekaufleute am BSZ Amberg
Opportunities
• Selbstständige Anpassung und Weiterentwicklung der Lernfabrik • Aktive Mitwirkung von Lernenden an der Entwicklung und Einrichtung der Lernfabrik • Berufsoberschüler/-innen bringen bereits abgeschlossene Berufsausbildung mit • Lehrpläne und Lehrplanrichtlinien werden zunehmend prozessorientierter und interdisziplinärer gestaltet
Threats
• Verzögerung durch Lieferengpässe einzelner Komponenten • Ausfall von beteiligten Lehrkräften • Immer kürzere Innovationszyklen im Bereich Industrie 4.0

Abbildung 2: SWOT-Analyse (eigene Darstellung)

4.2 Ableitung von Handlungsempfehlungen für kommende Projekte

Aus den identifizierten Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken des laufenden Lernfabrikprojekts lassen sich Handlungsempfehlungen ableiten, die auch für kommende Projekte im Rahmen der Lernfabrik herangezogen werden können.

Der modulare Aufbau der Lernfabrik aus flexiblen Teilanlagen ist eine wesentliche Stärke des Amberger Lernfabrikansatzes. In Kombination mit der starken Expertise der Lehrkräfte am BSZ Amberg und starken externen Partnern können die Teilanlagen an technische Entwicklungen im Bereich Industrie 4.0 angepasst und weiterentwickelt werden. Die Weiterentwicklungsprojekte stützen sich aktuell im Schwerpunkt auf Projektarbeiten der Technikerschule sowie auf die Mitwirkung von Lehrkräften und externen Partnern. Eine noch intensivere Einbindung von Lernenden anderer Fachklassen wäre ein Gewinn. Dies bietet nämlich die Chance Kompetenzen auf höheren taxonomischen Niveaus bei den Lernenden zu fördern. Außerdem kann durch die Beteiligung der Lernenden an der Entwicklung und Einrichtung der Lernfabrik die lange Entwicklungs- und Einrichtungsphase bis zum Produktionsstart sinnvoll genutzt werden. Das Risiko von Verzögerungen des Projektes durch geringe zeitliche Ressourcen und den Ausfall von beteiligten Lehrkräften sollte dagegen abgesichert werden. Dies könnte durch die Einbindung weiterer Lehrkräfte sowie von ausreichenden Verfügungsstunden durch die Schulleitung des BSZ Amberg geschehen, sodass der Entwicklungsfortschritt an einzelnen Teilanlagen nicht mehr nur von wenigen Personen abhängig ist. Zudem entstehen durch eine breitere Einbindung weiterer Lehrkräfte zusätzliche zeitliche Ressourcen, was dazu beitragen kann die lange Entwicklungsphase zu verkürzen. Zuletzt lassen sich fehlende kaufmännische Ausbildungsberufe am Lernfabrikprojekt in Amberg durch das Einbeziehen von Schülerinnen und Schülern der Berufsoberschule in der Fachrichtung Wirtschaft sowie in betriebswirtschaftlichen Fächern kompensieren. Auch eine Ansiedlung weiterer IT-orientierter kaufmännischer Berufe wäre denkbar und könnte beim Projekt für zusätzlichen positiven Input sorgen. Eine weitere Zielgruppe ist die bereits im technischen Bereich eingebundene Technikerschule für Elektrotechnik und Mechatronik, die ebenfalls betriebswirtschaftliche Themen in der Lernfabrik übernehmen können.

5 Zusammenfassung und erste Erkenntnisse

Die bisherigen Erfahrungen im Pilotprojekt Industrie 4.0 und die vorgenommene SWOT-Analyse deuten in die gleiche Richtung. Das Berufliche Schulzentrum Amberg hat sich nicht für einen einfachen aber garantiert funktionierenden Weg entschieden. Die Entscheidung der Projektverantwortlichen für eine eigene Smart Factory, welche von Grund auf projektiert und selbst realisiert wird ist mit erheblich mehr Arbeit, mehr Risiko, mehr möglichen Problemen verbunden, führt aber auch zu einem signifikant höherem Lernoutput, da die beteiligten Schülerinnen und Schüler auch bei der Projektierung der Anlagen, bei der Planung der Produktion und bei der Optimierung der Prozesse unmittelbar beteiligt sind. Wesentliche Stärken des Projekts liegen außerdem in der herstellerunabhängigen Entwicklung flexibler Teilanlagen und in der umfassenden Einbildung kaufmännischer Lernenden. Know-How und Expertise bleiben somit bei den Lehrkräften und externen Partnern vor Ort, was die stetige Weiterentwicklung der Lernfabrik an die Bedarfe des kurzzyklischen Industrie-4.0-Bereichs begünstigt.

Die SWOT-Analyse zeigt allerdings auch einige, nicht vom Beruflichen Schulzentrum beeinflussbare Faktoren, die sich hemmend auf das Projekt auswirken können. So befindet sich seit Auflösung der Berufsfachschule für kaufmännische Assistentinnen und Assistenten kein IT-affiner kaufmännischer Beruf am Schulzentrum, der Kaufmann/-frau für E-Commerce wurde, trotz fundierter Bewerbung des Schulzentrums Amberg, nicht angesiedelt und ein Berufsbild wie Industriekaufleute, von denen hohe Synergien für ein Industrie 4.0 Projekt zu erwarten wären, wird in Amberg nicht ausgebildet. Auch Risiken wie dem Ausfall von beteiligten Lehrkräften kann zwar nicht vollständig vorgebeugt werden, allerdings ließen sich einige Risiken durch zusätzliche personelle und zeitliche Ressourcen entschärfen. Es ist zu wünschen, dass die ein oder andere strukturelle Verbesserung in den nächsten Jahren eintritt.

Im Hinblick auf die Lehr-Lern-Prozesse am Beruflichen Schulzentrum Amberg zeigt das laufende Projekt bereits jetzt schon, dass die Arbeit an einer Smart Factory gegenüber der reinen Arbeit in einer Smart Factory zusätzliche Kompetenzen fördert. Die intensive Beschäftigung mit der Planung von Produktionsprozessen und deren Umsetzung, wenn im Moment auch noch nicht vollautomatisch, fördert die in allen Lehrplänen geforderte berufliche Handlungskompetenz. Somit ist die Smart Factory in Amberg nicht nur ein innovatives Projekt, sie ist gleichzeitig Lerninhalt, Lerngegenstand und Lernmethode, da dieser Ansatz ein Lernen in, ein Lernen an und ein Lernen mit der Smart Factory ermöglicht.

Literaturverzeichnis

Amberger Zeitung. (2017, Dezember 14). Berufliches Schulzentrum stellt Weichen für die Zukunft Auf dem Weg zur Schule 4.0. Onetz. Zugriff am 07.09.2020 unter https://www.onetz.de/amberg-in-der-oberpfalz/vermischtes/berufliches-schulzentrum-stellt-weichen-fuer-die-zukunft-auf-dem-weg-zur-schule-40-d1802066.html

Groh, G., & Schröer, V. (2018). Sicher zur Industriekauffrau, zum Industriekaufmann (55. Auflage). Rinteln: Merkur Verlag.

SAP SE. (2020a). Kapazitätsplanung—SAP Help Portal. Zugriff am 18.07.2020 unter https://help.sap.com/viewer/2754875d2d2a403f95e58a41a9c7d6de/1908/de-DE/2cb65fd0722d1014b0658b613e1bd8b3.html

SAP SE. (2020b). Produktionsvorschläge bearbeiten – Quick Guide—SAP Help Portal. Zugriff am 18.07.2020 unter https://help.sap.com/viewer/2754875d2d2a403f95e58a41a9c7d6de/1902/de-DE/2de27b06722d1014858eea55daaa8e65.html

Siemens AG. (2018, Dezember 5). Siemens Elektronikwerk Amberg mit dem „Industrie 4.0-Award“ ausgezeichnet [Pressemitteilung]. Presse Siemens Deutschland. Zugriff am 15.09.2020 unter https://press.siemens.com/de/de/pressemitteilung/siemens-elektronikwerk-amberg-mit-dem-industrie-40-award-ausgezeichnet

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (Hrsg.). (2006). Lehrplan für die Berufsschule für Großhandelskaufleute. Zugriff am 31.07.2020 unter https://www.isb.bayern.de/berufsschule/lehrplan/berufsschule/lehrplan-lehrplanrichtlinie/wirtschaft-und-verwaltung/562/

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (Hrsg.). (2008). Lehrpläne für die Fachschule für Elektrotechnik. Zugriff am 31.07.2020 unter https://www.isb.bayern.de/fachschule-fachakademie/lehrplan/fachschule/lehrplan-lehrplanrichtlinie/1139/

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (Hrsg.). (2009). Lehrpläne für die Fachschule für Mechatroniktechnik. Zugriff am 31.07.2020 unter https://www.isb.bayern.de/fachschule-fachakademie/lehrplan/fachschule/lehrplan-lehrplanrichtlinie/1145/

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (Hrsg.). (2017). Lehrplan für die Berufsschule für Einzelhandelskaufleute. Zugriff am 31.07.2020 unter https://www.isb.bayern.de/berufsschule/lehrplan/berufsschule/lehrplan-lehrplanrichtlinie/1649/

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (Hrsg.). (2018a). Lehrplanrichtlinien für die Berufsschule Fachklassen Mechatroniker Mechatronikerin. Zugriff am 31.07.2020 unter https://www.isb.bayern.de/berufsschule/lehrplan/berufsschule/lehrplan-lehrplanrichtlinie/734/

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (Hrsg.). (2018b). Lehrplanrichtlinien für die Berufsschule—Fachklassen Industriemechaniker/ Industriemechanikerin. Zugriff am 31.07.2020 unter https://www.isb.bayern.de/berufsschule/lehrplan/berufsschule/lehrplan-lehrplanrichtlinie/487/

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (2020a). LehrplanPlus Fachoberschule 12 Informatik. Zugriff am 31.07.2020 unter https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/fos/12/informatik/w-s-abu-g-gh

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung. (2020b). LehrplanPLUS Berufsoberschule 13 Informatik Fachlehrpläne. Zugriff am 31.07.2020 unter https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/bos/13/informatik/wahl-abu-s-w-gh

Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung. (2020). SAP4school IUS - SAP an beruflichen Schulen. SAP4school IUS. Zugriff am 15.09.2020 unter https://sap4school-ius.integrus.de/

Thomas Eldracher, Andreas Ferdinand & Stefanie Hehberger

Verknüpfung von kaufmännischer und gewerblich-technischer Ausbildung in Kempten

Die gewerblich-technische Berufsschule I (BSI) und die kaufmännische Berufsschule II (BSII) in Kempten befinden sich auf einem gemeinsamen Campus. Aufgrund dieser räumlichen Nähe und der guten Zusammenarbeit auf Schulleiterebene ist eine Kooperation zwischen Klassen der Mechatronikabteilung (BSI) und Klassen der Industriekaufleute (BSII) entstanden. Dieser Artikel beschreibt die ersten Schritte der Kooperation in Form einer gemeinsamen Lernfabrikarbeit und zeigt mögliche Entwicklungsfelder auf.

Inhaltsverzeichnis

1 Übersicht zu den Berufsschulen I und II in Kempten 226

1.1 Gewerblich-technische Berufsschule (BSI) 226

1.2 Kaufmännische Berufsschule (BSII) 226

2 Die Lernfabrik im Überblick 227

2.1 Technische Ausstattung der Lernfabrik 227

2.2 Besonderheiten im Einsatz der Lernfabrik 228

2.3 Integration der Lernfabrik in den Schulalltag der BSI 228

3 Kooperation der Berufsschulen I und II 230

3.1 Grundgedanken zur Kooperation 230

3.2 Rahmenbedingungen 231

3.3 Darstellung der Unterrichtseinheit anhand eines Prozessmodells 232

3.3.1 Abgleich des Prozessmodells mit dem SCOR-Modell 236

3.3.2 Kooperationsfelder der Lernfabrikarbeit 238

3.3.3 Kompetenzvermittlung in der gemeinsamen Erarbeitung 239

3.4 Ausblick 240

Literaturverzeichnis 242



Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording des Austausches im virtuellen Raum „Kempten“

1 Übersicht zu den Berufsschulen I und II in Kempten

1.1 Gewerblich-technische Berufsschule (BSI)

Die Berufsschule I in Kempten besuchen ca. 2.400 Schülerinnen und Schüler, die in den Berufsfeldern Elektro, Mechatronik, IT, Metall sowie Druck- und Medientechnik ausgebildet werden. Mit einem innovativen Unterricht sollen die Auszubildenden auf eine sich verändernde Arbeitswelt vorbereitet werden. Neben Inklusion und internationaler Kontakte zeichnet auch das Schlagwort „Industrie 4.0“ die Berufsschule I in Kempten aus. Es wird nicht nur versucht, die Schülerinnen und Schüler an die digitale Transformation heranzuführen, sondern auch ein Teil dieser zu sein. Neben 3D-Druck und Wasserstrahlschneiden ermöglicht die Schule die Arbeit an einer Lernfabrik mit MES-Anbindung, welche unter anderem das Prozessverständnis der Schülerinnen und Schüler verbessern soll.

Während eines Schuljahres arbeiten ca. 500 Schülerinnen und Schüler an der Lernfabrik. Hierzu zählen die Ausbildungsberufe Mechatronikerin bzw. Mechatroniker und Elektronikerin bzw. Elektroniker für Betriebstechnik (Jahrgangsstufe 11 und 12). Auch die Fachschule für Mechatroniktechnik (1. und 2. Jahr) nutzt die Produktionsstraße, um entsprechende Kompetenzen zu vermitteln.

1.2 Kaufmännische Berufsschule (BSII)

Die kaufmännische Berufsschule zählt ca. 1.500 Auszubildende, die sich auf die Berufe der Bankkaufleute, Einzel- und Großhandelskaufleute, Speditions- und Industriekaufleute, Verwaltungs- und Steuerfachangestellte, (Zahn-)Medizinische Fachangestellte sowie Rechtsanwaltsfachangestellte verteilen. Ein Fokus der Schule liegt unter anderem auf der Vermittlung von Lernstrategien, der Intensivierung der kollegialen Zusammenarbeit sowie dem Ermöglichen eines zeitgemäßen Unterrichts durch geeignete Ausstattung.

Die Berufsschule II in Kempten verfolgt die Philosophie „Wissen schafft Wert!“. Die Schülerinnen und Schüler sollen neben dem Ausbau ihrer persönlichen Kompetenzen lernen, sich mit Veränderungen zu entwickeln und diese mitzugestalten. Die Lernfabrikarbeit soll den Auszubildenden aufzeigen, welche Möglichkeiten die Digitalisierung mit sich bringt und in welchen kaufmännischen Bereichen Automatisierungen vorgenommen werden können.

2 Die Lernfabrik im Überblick

2.1 Technische Ausstattung der Lernfabrik

Die Lernfabrik (CPLab) wurde von der Firma Festo Didactic bezogen. Im derzeitigen Status befinden sich zwei identische Lernfabriken in verschiedenen Räumen der BSI. Diese bestehen aus jeweils acht Bearbeitungsstationen, die auch separat genutzt werden können. Momentan sind die Stationen als Karree aufgebaut. Im selben Raum befindet sich zudem eine ausreichende Anzahl an Computern, mit denen die Schülerinnen und Schüler per WLAN auf die Anlage zugreifen können.



Abbildung 1: Die Lernfabrik (Berufsschule I Kempten)

Direkt an der Anlage befindet sich ein MES-PC (Manufacturing Execution System). An diesem können Aufträge für die Fertigung erstellt, überwacht und im Nachgang analysiert werden. Um ein Feedback zu den aktuellen oder zurückliegenden Energie- und Druckluftdaten zu erhalten, wurde eine Messbox an der Anlage installiert, welche über den zentralen MES-PC ausgelesen werden kann. Das Display des MES-PCs wird auf den Beamer gespiegelt, sodass alle Schülerinnen und Schüler die entsprechenden Daten live mitverfolgen können. Mit Hilfe einer VR-Anwendung können Schülerinnen und Schüler die Anlage virtuell erkunden. Ein virtuelles Abbild (Programm: Ciros) der Anlage ist vorhanden. Nicht alle Arbeiten müssen also direkt an der realen Anlage erfolgen. Programmierübungen oder Aufgaben zur Handhabung des MES-Systems können deshalb auch in anderen Räumen stattfinden.

2.2 Besonderheiten im Einsatz der Lernfabrik

Fortbildung von Lehrkräften

Die Berufsschule I ist Partnerschule der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung (ALP Dillingen). In Kooperation mit dieser wurden bereits mehrere Fortbildungen zum Thema „Grundlagen der SPS-Programmierung in einer industrietauglichen Projektierungsumgebung (TIA-Portal)“ durchgeführt.

Systembetreuer Industrie 4.0

In der Schule wurde eine verantwortliche Lehrkraft benannt, die sich um den technischen Support der Lernfabrik kümmert. Dies ist nötig, da im laufenden Betrieb immer wieder Fehler und Störungen auftreten, die schnellstmöglich behoben werden müssen.

Anzahl der beteiligten Lehrkräfte

Seit Nutzungsbeginn (2017) sind mehrere Lehrkräfte (4-5) mit der Anlage vertraut und arbeiten regelmäßig daran. Hier wird deutlich: Ohne ein starkes Team ist der gewinnbringende Einsatz der Lernfabrik nicht möglich. Seit 2012 werden Kurse zu den Themen „SPS“ und „TIA-Portal“ für Ausbilderinnen und Ausbilder angeboten. Kolleginnen und Kollegen der BSI Kempten engagieren sich in diversen Arbeitskreisen zum Thema „Industrie 4.0“ sowohl an der ALP in Dillingen, als auch am Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) in München.

2.3 Integration der Lernfabrik in den Schulalltag der BSI

Die Lernfabrik soll in der gewerblich-technischen Ausbildung eine reale Anlage darstellen, so wie sie von den Schülerinnen und Schülern in den Betrieben vorgefunden wird. Und zwar in ihrer gesamten Komplexität und Vielfalt. Im Moment wird die Lernfabrik in den Berufen Mechatroniker/in und Elektroniker bzw. Elektronikerin für Betriebstechnik eingesetzt. Des Weiteren arbeiten Schülerinnen und Schüler der Fachschule für Mechatroniktechnik an der Anlage.

Zunächst erarbeiten sich die Schülerinnen und Schüler ein Prozessverständnis. Jede einzelne der acht Bearbeitungsstationen kann, ohne dass die Gesamtanlage in Betrieb ist, analysiert

werden. Dies geschieht mit einem NFC-Tag, welcher über das Smartphone ausgelesen werden kann. Die Schülerinnen und Schüler werden auf die Seite www.schuelerunterlagen.de[1] weitergeleitet. Dort sind alle relevanten Informationen zu den einzelnen Stationen zu finden. Die Ergebnisse werden zusammengetragen und es entsteht ein Bild über den Gesamtprozess und die Variationsmöglichkeiten an den Einzelstationen. Im technischen Bereich ist die verwendete Hardware und vor allem auch die Vernetzung der Einzelkomponenten von großer Bedeutung. Folgende Fragen werden hier beantwortet: Welche Aufgabe hat die Hardware? Welche Daten werden in welcher Weise weitergegeben? Welche Schnittstellen zur Umwelt gibt es? Was geschieht z. B. vor der Fertigung an der Anlage und was danach? Gibt es Möglichkeiten in den Prozess einzugreifen?

Nach diesem ersten Kennenlernen der Anlage gibt es aus technischer Sicht unzählige Möglichkeiten auf die Einzelkomponenten einzugehen. Hier wird versucht, den Gesamtprozess im Auge zu behalten und zu fragen welche Aufgabe die Komponente in diesem hat. Vor allem Industrie 4.0-relevante Technologien sind für die meisten Schülerinnen und Schüler Neuland. Einige der Themen, wie „Vernetzung über Profinet“ werden in den Berufen Mechatroniker/in und Elektroniker bzw. Elektronikerin für Betriebstechnik besprochen. Vertiefte Einblicke in RFID, vertikale Kommunikation und virtuelle Anlagensimulation erhalten die Schülerinnen und Schüler der Fachschule für Mechatroniktechnik.

Im Projektunterricht der 12. Jahrgangsstufe an der Berufsschule haben die Auszubildenden Zeit, sich eine ganze Woche mit einer Einzelstation zu befassen. Hierbei fertigen sie eine Dokumentation ihrer Arbeit an, welche als Bewertungsgrundlage dient.

Ausblick auf zukünftige Arbeitsschwerpunkte:

Für die Zukunft ist eine stärkere Einbindung weiterer gewerblich-technischer Berufe aus dem Haus geplant. Berufe aus dem IT- bzw. Metallbereich sind momentan nicht an der Lernfabrikarbeit beteiligt. Ein wichtiger Baustein ist auch die Einführung bzw. Fortbildung aller Kolleginnen und Kollegen auf diesem Gebiet.

[1] Das Portal www.schuelerunterlagen.de wird von einem Kollegen der Elektroabteilung betrieben und beinhaltet Lernmaterial inkl. Lernvideos und digitalen Tests.

3 Kooperation der Berufsschulen I und II

Im Schuljahr 2018/19 begann die Kooperation zwischen der BSI und BSII. Die Aktivposten für beide Schulen wurden bereits erläutert. In der Planungsphase wurde von den kaufmännischen und gewerblichen Kolleginnen und Kollegen ein Konzept erarbeitet, das die Zusammenarbeit zwischen Schülerinnen und Schülern beider Berufsschulen ermöglicht. Das zentrale Element hierbei ist die Lernfabrik der BSI. Da im Moment noch keine SAP-Anbindung an diese etabliert ist, wurde die Kooperation in den Räumen der Lernfabrik durchgeführt.

3.1 Grundgedanken zur Kooperation

Relevante Themen aus technischer Sicht, die eine Zusammenarbeit mit der BSII gewinnbringend machen

In der gewerblich-technischen Ausbildung wird meistens nur die technische Seite betrachtet. Alles was außerhalb einer Anlage passiert, ist nicht bekannt und aus Sicht der Schülerinnen und Schüler auch wenig relevant. Es gibt zwar Schnittstellen zu kaufmännischen Abteilungen, diese sind aber häufig sehr begrenzt und nicht klar definiert. Ein umfassender Überblick, wie beide Seiten zusammenspielen fehlt.

Die Schülerinnen und Schüler, aber auch die Lehrkräfte, lernen die Anlage durch die kaufmännische Sicht auf eine andere Weise kennen. Wenn es z. B. um die Kalkulation der Endpreise geht, müssen Technikerinnen bzw. Techniker und Kaufleute zusammenarbeiten. Nur dann kann ein qualitativ hochwertiges Produkt entstehen und die Anlage optimal genutzt werden.

Vor allem im Hinblick auf die Arbeitswelt von Morgen, in der die Mitarbeiter/-innen interdisziplinär denken müssen, bereichert eine Zusammenarbeit zwischen Techniker/-innen und Kaufleuten. Eine Technikerin bzw. ein Techniker sollte neben dem technischen Wissen z. B. immer die Kostenkalkulation mit im Blick haben. Genauso braucht ein Kaufmann bzw. eine Kauffrau ein technisches Verständnis, um vor dem Kunden im Gespräch oder im Marketing argumentieren zu können.

Nicht zuletzt erfordern die hohen Investitionskosten unserer Anlage eine möglichst hohe Auslastung und Nutzung der Schüler/-innen. Durch die Zusammenarbeit mit der BSII kann einem noch größeren Schüleranteil Wissen vermittelt werden.

Relevante Themen aus kaufmännischer Sicht, die eine Zusammenarbeit mit der BSI gewinnbringend machen

Seitens der Staatlichen Berufsschule II Kempten (Allgäu) erscheint eine Kooperation mit der Staatlichen Berufsschule I Kempten im Bereich Industrie 4.0 als durchaus sinnvoll und wünschenswert. Gerade die Berufsgruppe der Industriekaufleute kommt hierfür in Frage. Der Schwerpunkt wird zwar sicherlich im technischen Bereich liegen, den die Berufsschule I abbilden wird, aber ein Konzept zu Industrie 4.0 muss auch kaufmännische Inhalte berücksichtigen. Seitens der Staatlichen BS II Kempten stellen sich die Anknüpfungspunkte vor allem im Bereich Auftragsabwicklung, Beschaffungs- und Fertigungsplanung sowie im Bereich Kostenrechnung und Controlling dar. Aber auch Geschäftsprozessmodellierungs- und Rationalisierungsfragen können erörtert werden. Gleiches gilt für die Auswirkungen der Vernetzung der Wertschöpfungsketten und der Optimierung von Lagerhaltungssystemen. All dies lässt sich mit und ohne ERP-Software darstellen. Angedacht wird in Zukunft eine Verknüpfung zu SAP4Schools, was in ersten Ansätzen in den 10. Klassen der Industriekaufleute unterrichtet wird.

3.2 Rahmenbedingungen

Teilnehmende Klassen:

Aus dem gewerblich-technischen Bereich nehmen am Projekttag Auszubildende der 12. Klasse aus dem Fachbereich Mechatronik teil. Die Schülerinnen und Schüler befinden sich bereits im dritten Ausbildungsjahr und haben Erfahrung und Wissen in der Automatisierungstechnik. Eine Berufseinsteigerin bzw. ein Berufseinsteiger wäre nicht geeignet die technischen Zusammenhänge hinreichend zu verstehen. Außerdem beteiligen sich kaufmännische Auszubildende der 10. Klasse aus dem Fachbereich Industriekaufleute. Die Schülerinnen und Schüler haben sich während des Jahres bereits mit der Leistungserstellung, Beschaffung, Angebotserstellung und Geschäftsprozessoptimierung beschäftigt. Die Klassen wurden fachlich nicht speziell auf die Kooperation vorbereitet. Relevante Inhalte wurden bereits im Unterricht behandelt.

Zeitlicher Rahmen:

Die Kooperation wurde am Ende des Schuljahres als Projekt an einem Vormittag (bisher coronabedingt nur einmal) durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler hatten nach einer kurzen Einführung drei Schulstunden Zeit auf ein gemeinsames Gruppenergebnis hinzuarbeiten.

Zusammensetzung der Gruppen der Schülerinnen und Schüler:

Als Kooperationsform wurde eine Gruppengröße von fünf bis sechs Auszubildenden gewählt, wobei zwei Schülerinnen bzw. Schüler aus dem technischen Bereich kamen.

3.3 Darstellung der Unterrichtseinheit anhand eines Prozessmodells

Die Kompetenzen, welche durch die Lernfabrikarbeit vermittelt werden sollen, werden den Schülerinnen und Schülern in einer Lernsituation nähergebracht. Hierbei übernehmen sie die Rolle einer Mitarbeiterin bzw. eines Mitarbeiters des führenden Unternehmens „Handyschalen-Werke Kempten GmbH“ und durchlaufen so die Abteilungen der Disposition und Produktion.

Herr Eldracher und Herr Ferdinand haben zur Vermittlung der Lernziele einen Handlungsauftrag formuliert. In dessen Ausgangssituation stellt ein Neukunde eine offene Kundenanfrage über 100.000 Handyhüllen, wobei er mehrere Varianten zur Auswahl erwartet. Außerdem werden eine gute Qualität sowie eine CO_2-sparsame Produktion vorausgesetzt. Im Laufe des Unterrichtsprojekts erstellen die Auszubildenden in gemischten Teams, bestehend aus kaufmännischen und gewerblich-technischen Auszubildenden ein individuelles Angebot und optimieren den Fertigungsprozess.

Kennenlernen der Anlage

Die Anlage der Berufsschule I gilt als Meilenstein der Digitalisierung in der Region und bereitet die Schülerinnen und Schüler auf die digitale Welt von Morgen vor. Sie besteht aus mehreren Stationen und bildet einen vollständigen Fertigungsprozess ab.

Zu Beginn der Unterrichtseinheit verschaffen sich die Schülerinnen und Schüler einen Überblick über die Lernfabrik, wobei NFC-Tags Informationen über die einzelnen Stationen liefern. Von einem automatisierten Hochregallager starten Rohteile in den Produktionsprozess der

Lernfabrik, wobei sie über Transportbänder zu einer Mess-Station befördert werden. In weiteren Schritten durchlaufen die Rohteile Bohrprozesse, Pressungen und einen Tunnelofen bis das fertig montierte Produkt wieder in das Hochregallager eingelagert wird.

Abbildung der zu durchlaufenden Prozessschritte

Im Folgenden sollen die weiteren Schritte der Unterrichtseinheit anhand eines Prozessmodells (siehe Abbildung 2) dargestellt werden. Nach Lennings werden „Prozesse […] als Folge aufeinander abgestimmter Handlungen (Ablaufschritte) angesehen, die das Ziel haben, Eingaben (z. B. Material oder Informationen) mithilfe eingesetzter Ressourcen (beispielsweise Arbeitsmittel und Mitarbeiter) – auch unter Einwirkung hinderlicher oder förderlicher äußerer Einflüsse – in Ausgaben bzw. Ergebnisse umzuwandeln, die bestimmten Vorgaben und Anforderungen genügen“ (Lennings, 2019, S. 5).

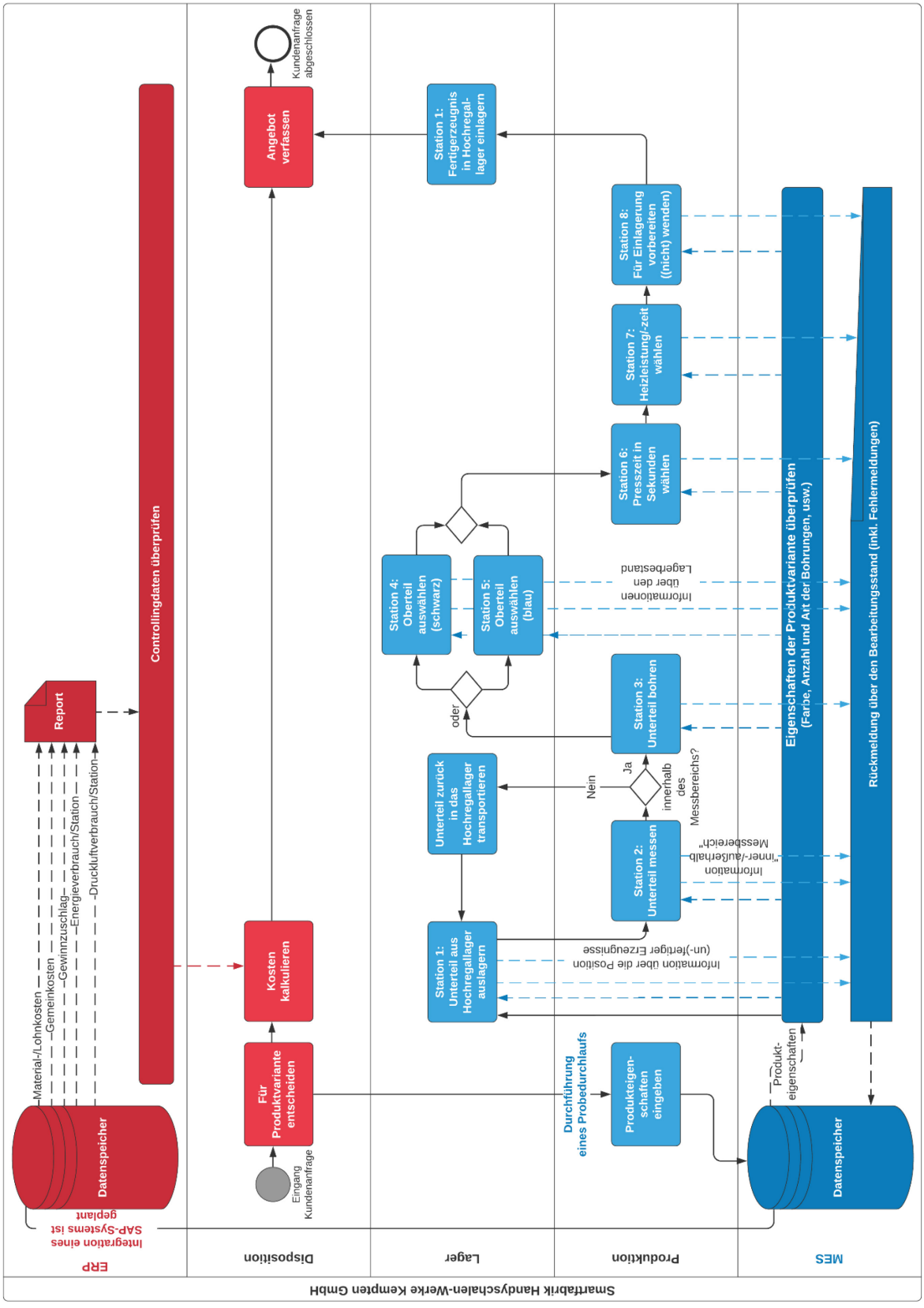


Abbildung 2: Prozessmodell der Smartfabrik Handyschalen-Werke Kempten GmbH (eigene Darstellung)

Nachdem die Schülerinnen und Schüler die Anlage kennengelernt haben, sollen sie sich für eine beliebige Variante entscheiden und einen Probedurchlauf durchführen, wobei sie zwischen der Farbe des Unter- bzw. Oberteils der Handyhülle und der Art und Anzahl der Bohrungen wählen müssen.

Da die Berufsschulen in Kempten noch kein ERP-System in die Lernfabrikarbeit integriert haben, ist eine automatische Weiterleitung des Auftrages für den Probedurchlauf an die Produktion nicht möglich. Aus diesem Grund geben die Schülerinnen und Schüler ihre Vorgaben an die Lehrkräfte weiter, die diese in das „Manufacturing Execution System (MES)“ eintragen. Die acht Stationen der Festo-Anlage werden auf diese Art miteinander vernetzt und gesteuert (TBS NRW, 2018, 5 ff.). In diesem Zusammenspiel gibt das System vor, welche Operationen auszuführen sind. Die Anlage gibt wiederum Rückmeldung über den Bearbeitungsstand und zeigt Fehlermeldungen auf. Dies ist möglich, da am Werkstückträger ein RFID-CHIP angebracht ist, welcher einen Austausch der Daten ermöglicht.

Bei Durchführung des Probedurchlaufs wird in einem ersten Schritt das Unterteil der Handyhülle in der gewählten Farbe aus dem Hochregal ausgelagert und zur zweiten Station transportiert. Hier wird die im MES-System vorgegebene Höhenangabe überprüft. Je nachdem, ob das Rohteil außer- oder innerhalb des Messbereichs liegt, wird es entweder zurück in das Hochregallager oder weiter zur dritten Station „Bohrung“ transportiert. Nachdem das entsprechende Oberteil in der folgenden Station ausgelagert wurde, werden die Rohteile an Station 6 zuerst gepresst, um in einem darauffolgenden Schritt miteinander verschmolzen zu werden. Bevor das fertig montierte Produkt zurück in das Hochregallager transportiert wird, findet an Station 8 die Vorbereitung für die Einlagerung statt.

Zeitgleich mit dem Probedurchlauf soll für jede Station die Produktionszeit gemessen, der Energieverbrauch verbessert und die Kosten bzw. der Preis für 100.000 Handyschalen kalkuliert werden. Diese Daten erhalten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Handyschalen-Werke Kempten GmbH aus dem Controlling. Da die Lehrkräfte planen, ein SAP-System zu integrieren und da das ERP- und MES-System in der Praxis eng miteinander verbunden sind, wurde bereits jetzt das ERP-System in das Prozessmodell aufgenommen.

Zu guter Letzt erstellen die Schülerinnen und Schüler ein Angebot über 100.000 Handyschalen, welches den Preis und die Lieferzeit enthält.

3.3.1 Abgleich des Prozessmodells mit dem SCOR-Modell

In dem Prozessmodell der Smartfabrik werden, bezogen auf die Lieferkette, die Handyschalen-Werke Kempten GmbH sowie sein Neukunde betrachtet. Die Lieferanten des Unternehmens werden außen vorgelassen. Das Supply Chain Operations Reference Modell (SCOR-Modell) wird nach Werner in die Phasen Planen, Beschaffen, Herstellen, Liefern und Zurückführen unterteilt (Werner, 2017, S. 71). Im Folgenden soll das ausgearbeitete Prozessmodell mit dem SCOR-Modell verglichen werden, wobei vor allem die kaufmännischen Prozesse betrachtet werden sollen.

Planen

Ein Großteil der im Prozessmodell dargestellten Schritte kann der Planung zugeordnet werden. Die Lernfabrikarbeit der Berufsschulen I und II in Kempten zielt auf die Bearbeitung der Kundenanfrage und die Ermittlung der notwendigen Daten für die Angebotserstellung.

Die Schülerinnen und Schüler müssen sich nach der Auseinandersetzung mit der Anlage für eine Handyhüllenvariante entscheiden. Dies erfolgt nach persönlichem Belieben und nicht auf Grundlage von Kalkulationsdaten. Ist die Entscheidung für beispielsweise eine schwarz-blaue Handyhülle gefallen, geben die Schülerinnen und Schüler dies an die Produktion, in diesem Fall an die Lehrkräfte weiter, welche in einem nächsten Schritt das MES-System bedienen und die Vorgaben für den geplanten Probedurchlauf eingeben.

Auch der von den Auszubildenden durchzuführende Probedurchlauf kann der Planung zugeordnet werden. Hierunter fallen die acht Stationen der Produktionsanlage, welche im Prozessmodell auf den Lanes „Lager“ und „Produktion“ dargestellt werden. Mit dem Probedurchlauf sollen die Schülerinnen und Schüler die Durchlaufzeit für eine Handyhülle feststellen, mit welcher wiederum die Produktionszeit für 100.000 Handyschalen berechnet werden.

Beschaffen

Der Abgleich des Prozessmodells mit dem Bereich „Beschaffen“ zeigt keine Übereinstimmungen. Die Schülerinnen und Schüler müssen keine Beschaffungsprozesse, wie zum Beispiel die „Warenannahme [oder die] Qualitätsprüfung“ (Werner, 2017, S. 72) vornehmen. Auch für die Lagerung fallen keine Aufgaben an, da die Unter- und Oberteile der Handyschalen bereits zu Beginn des Projektes in ausreichender Menge vorhanden sind.

Herstellen

Die Produktion der 100.000 Handyschalen ist im Prozessmodell nicht abgebildet und würde erst nach Bestellung des Neukunden erfolgen. Trotzdem wird den Schülerinnen und Schülern durch die Durchführung des Probedurchlaufs der automatisierte Produktionsablauf der Smartfactory aufgezeigt.

Laut Werner fallen unter den Punkt des Herstellens auch Verknüpfungen mit Schnittstellen wie beispielsweise dem „Engineering oder [der] Qualitätssicherung“ (Werner, 2017, S. 72). Die Schülerinnen und Schüler sollen diesbezüglich den Fertigungsprozess optimieren, indem sie Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der Durchlaufzeiten erarbeiten.

Liefern

Da dem Punkt „Liefern“ das „Ausführ[en] des Auftragsabwicklungsprozesses [und die] Angebotserstellung“ (Wilbers, 2019, S. 41) zugeordnet werden, fallen die Kostenkalkulation sowie das Verfassen des Angebots für den Neukunden unter diesen Punkt. Um den Preis für die Handyschalen zu ermitteln, müssen in einem Schema die Selbstkosten berechnet werden, auf welchen der geplante Gewinn, Skonto und Rabatt aufgeschlagen werden. Weitere Tätigkeiten wie die Bewirtschaftung des Lagers und der Versand der Handyschalen werden nicht mehr vorgenommen. Nach dem Verfassen des Angebots endet der Handlungsauftrag.

Dies erklärt auch, weshalb kein Abgleich des Prozessmodells mit dem Punkt „Zurückführen“ vorgenommen werden kann.

Blick auf die kaufmännischen Prozessteile

Unter die kaufmännischen Prozessteile fallen die Aufgaben des Prozessmodells, welche in der Lane „Disposition“ abgebildet werden. Das Entscheiden für eine Variante, die Kostenkalkulation sowie das Verfassen des Angebots können, wie oben erläutert den Tätigkeiten der „Planung“ und des „Lieferns“ zugeordnet werden.

Die kaufmännischen Prozessteile werden im Gegensatz zu den gewerblich-technischen Aufgaben, welche mit dem MES-System verbunden sind, nicht durch ein ERP-System unterstützt. Da die Berufsschulen I und II in Kempten planen, ein SAP-System zu integrieren, könnten bereits in naher Zukunft auch die kaufmännischen Tätigkeiten automatisiert durchgeführt werden.

3.3.2 Kooperationsfelder der Lernfabrikarbeit

Im Folgenden soll auf die Zusammenarbeit innerhalb der Lernfabrikarbeit eingegangen werden, wobei herausgestellt werden soll, in welchen Prozessschritten die kaufmännischen bzw. gewerblich-technischen Schülerinnen und Schüler alleine oder gemeinsam lernen. Wie bereits erwähnt, werden die Industriekaufleute und die technischen Schülerinnen und Schüler in kleine Gruppen eingeteilt, die aus drei bis vier Personen aus dem kaufmännischen Zweig und zwei gewerblich-technischen Auszubildenden bestehen. Die Schülerinnen und Schüler können sich am Projekttag die Aufteilung der anstehenden Aufgaben selbst einteilen, wodurch es von Gruppe zu Gruppe unterschiedlich ist, welche Prozessschritte gemeinsam bzw. getrennt voneinander gelöst werden. Trotzdem soll nun versucht werden die Prozessschritte in die drei Kategorien aufzuteilen.

Erarbeitung durch gewerblich-technische Auszubildende

Die Durchführung des Probedurchlaufs wird meistens von den gewerblich-technischen Auszubildenden vorgenommen. Sie verfolgen diesen und stoppen mit ihrem Mobiltelefon die Zeit, um die Durchlaufzeit für eine Handyschale festzustellen. Im Anschluss daran überlegen sie sich Möglichkeiten, wie die CO_2-Bilanz der Anlage verbessert und die Durchlaufzeiten verringert werden könnten.

Erarbeitung durch kaufmännische Auszubildende

Die Industriekaufleute übernehmen im Rahmen der Lernfabrikarbeit meistens die Kalkulation der Kosten. Mithilfe der Daten aus dem Controlling werden die Selbstkosten durch das aufaddieren der verschiedenen Einzel- und Gemeinkosten berechnet. Hierauf werden der Gewinnzuschlag, Skonto, Rabatt und Provision des Vertreters aufgeschlagen und der Listenverkaufspreis ermittelt.

Gemeinsame Erarbeitung

Das Kennenlernen der Lernfabrik zu Beginn, welches aber nicht in das Prozessmodell aufgenommen wurde, erfolgt gemeinsam. Sowohl die gewerblich-technischen, als auch die kaufmännischen Auszubildenden holen mithilfe der NFC-Tags die nötigen Informationen ein, begutachten die einzelnen Stationen der Anlage und notieren sich ihre Ergebnisse auf einem Arbeitsblatt. Auch der Prozessschritt „Für Variante entscheiden“, welcher im Anschluss daran

folgt, wird gemeinsam erarbeitet. Die Schülerinnen und Schüler sprechen sich untereinander ab und teilen ihre Wahl den Lehrkräften mit. Der letzte Prozessschritt, welcher in Zusammenarbeit der gewerblich-technischen und kaufmännischen Auszubildenden erfolgt, ist das Verfassen des Angebots. Hier werden die Ergebnisse zusammengetragen und ausformuliert.

3.3.3 Kompetenzvermittlung in der gemeinsamen Erarbeitung

Im Folgenden sollen die Kompetenzen aufgezeigt werden, welche in den Prozessschritten des gemeinsamen Lernens vermittelt werden. Hierbei wird auf die verschiedenen Dimensionen des Deutschen Qualifikationsrahmens eingegangen. Laut der vom Arbeitskreis Deutscher Qualifikationsrahmen (AK DQR) verabschiedeten Broschüre „Deutscher Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen“ werden die Kompetenzen in die Obergruppen „Fachkompetenz“ und „personale Kompetenz“ unterteilt. Der Fachkompetenz unterliegen das „Wissen“ und die „Fertigkeiten“, die personale Kompetenz wird wiederum in die „Sozialkompetenz“ und die „Selbständigkeit“ gegliedert (AK DQR, 2011, 8 ff.).

Sowohl die Industriekauffrau bzw. der Industriekaufmann als auch die Mechatronikerin und der Mechatroniker können nach erfolgreichem Abschluss der Ausbildung dem Niveau vier des Deutschen Qualifikationsrahmens (DQR) zugeordnet werden (Bund-Länder-Koordinierungsstelle für den Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen (DQR), 2018, 12 ff.).

Wissen

Kaufmännische und gewerblich-technische Schülerinnen und Schüler können von der gemeinsamen Erarbeitung der Aufgaben profitieren. Kaufmännische Auszubildende haben „oft keine Berührungspunkte mit der Produktion und Fertigung im Betrieb“ (Wilbers, 2017, S. 96), wodurch ihnen das Verständnis für die dort durchgeführten Prozesse fehlt. Durch das Einholen der Informationen der Stationen und den Austausch mit den gewerblich-technischen Auszubildenden entwickeln sie ein Prozessverständnis. Entscheiden sich die Schülerinnen und Schüler auch den Probedurchlauf gemeinsam durchzuführen, wird dies verstärkt. Nicht nur für die kaufmännischen Auszubildenden ergibt sich durch die gemeinsame Erarbeitung ein Mehrwert, auch der Lernprozess auf Seiten der gewerblich-technischen Auszubildenden wird gefördert. Sie verstehen, welche Daten aus der Anlage für die Kaufleute relevant sind und erhalten durch die gemeinsame Erstellung des Angebots einen Einblick in kaufmännische Prozesse.

Sozialkompetenz

Auch die Sozialkompetenz wird in den einzelnen Prozessschritten gefördert. Die Schülerinnen und Schüler lernen in einer gemeinsamen Sprache zu kommunizieren und fachliche Inhalte richtig zu formulieren. Zusammenhänge, wie beispielsweise die des MES-Systems mit den einzelnen Stationen werden durch die gewerblich-technischen Auszubildenden heruntergebrochen und den Industriekaufleuten verständlich erklärt. Die Schülerinnen und Schüler erlernen in diesem Hinblick zudem, wie mit unterschiedlichen Wissensständen umzugehen ist. Auch wenn die einzelnen Prozessschritte der Anlage nachvollziehbar und verständlich sind, soll auf die Gruppenmitglieder, insbesondere die kaufmännischen Auszubildenden, denen dieses Wissen möglicherweise fehlt, geduldig und verständnisvoll eingegangen werden. Ein respektvoller Umgang, das geduldige Beantworten der Fragen und eine gegenseitige Aufgeschlossenheit werden hierbei von beiden Seiten verlangt. Insgesamt wird durch die gemeinsame Lernfabrikarbeit die interdisziplinäre Zusammenarbeit gefördert. Das Arbeiten auf Augenhöhe ist dabei ein wichtiger Punkt. Die möglicherweise besseren Fachkenntnisse in einem Gebiet sollen nicht dazu führen, dass Meinungen und Anmerkungen der Gegenseite als wertlos erachtet werden.

Selbständigkeit

Auch die Selbständigkeit der Auszubildenden wird gefördert. Die Schülerinnen und Schüler teilen die zu erledigenden Schritte des Handlungsauftrages eigenständig auf. In Unternehmen ist die effiziente Verteilung von Tätigkeiten notwendig, um schnellstmöglich zu einem guten Ergebnis zu kommen. Dadurch erlernen die Auszubildenden Personal bzw. Kolleginnen und Kollegen oder Teammitglieder effizient einzusetzen. Wichtig ist jedoch, die Lernziele des Projekttages nicht aus den Augen zu verlieren. Es würde beispielsweise wenig Sinn machen, die Informationen der Stationen nur durch die gewerblich-technischen Schülerinnen und Schüler sammeln zu lassen. Somit soll auch ein lernförderlicher Ablauf für das gesamte Team geplant werden.

3.4 Ausblick

Die Kooperation der Berufsschulen I und II in Kempten hat das Ziel, die Schülerinnen und Schüler einerseits näher an das Thema Industrie 4.0 heranzuführen und andererseits ein gemeinschaftliches Lernen gewerblich-technischer und kaufmännischer Auszubildender zu ermöglichen. Trotz der positiven Resonanz nach Durchführung des ersten Durchlaufs lassen

sich einige Bereiche der Lernfabrikarbeit optimieren. Außerdem wurden bereits neue Ideen entwickelt, um die Zusammenarbeit der Auszubildenden effektiver zu gestalten.

Zum einen soll den Schülerinnen und Schülern in Zukunft mehr Zeit für die Arbeit an der Lernfabrik zur Verfügung gestellt werden. Es ist eine Erhöhung von drei auf sechs Stunden angedacht. Dies ermöglicht eine intensivere Auseinandersetzung mit der Anlage und bietet mehr Raum für einen fachlichen Austausch zwischen gewerblich-technischen und kaufmännischen Auszubildenden.

Außerdem könnte der Ablauf der Produktion von den kaufmännischen Schülerinnen und Schülern bereits vor der eigentlichen Kooperationsphase über den digitalen Zwilling (Ciros) nachvollzogen werden.

In Zukunft sollen zudem mehr kaufmännische Prozesse, wie beispielsweise die Materialbeschaffung sowie Lagervorgänge in die Arbeit mit der Lernfabrik integriert werden, um auch den gewerblich-technischen Auszubildenden einen besseren Einblick in die kaufmännischen Tätigkeiten vor, während und nach der Produktion zu gewährleisten. Eine Anlagensteuerung über SAP würde sowohl aus kaufmännischer, als auch aus gewerblich-technischer Sicht viele neue Möglichkeiten bieten.

Literaturverzeichnis

AK DQR (Arbeitskreis Deutscher Qualifikationsrahmen) (2011). *Deutscher Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen. Verabschiedet vom Arbeitskreis Deutscher Qualifikationsrahmen.* Zugriff am: 15.05.2020. Verfügbar unter: https://www.dqr.de/media/content/Der_Deutsche_Qualifikationsrahmen_fue_lebenslanges_Lernen.pdf

Bund-Länder-Koordinierungsstelle für den Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen (DQR) (2018). *Liste der zugeordneten Qualifikationen*. Zugriff am 13.05.2020. Verfügbar unter: https://www.dqr.de/media/content/2018_DQR_Liste_der_zugeordneten_Qualifikationen_01082018.pdf

Lennings, F. (2019). Abläufe verbessern. In ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.), *Abläufe verbessern – Betriebserfolg garantieren* (S. 5 – 10). Berlin: Springer-Verlag.

TBS NRW (Technologieberatungsstelle beim DGB NRW e.V.) (2018). *Mit MES-Systemen und Kennziffern auf dem Weg zu Industrie 4.0*. Zugriff am 15.05.2020. Verfügbar unter: https://www.tbs-nrw.de/fileadmin/Shop/Broschuren_PDF/Mit_MES-Systemen_und_Kennziffern_auf_dem_Weg_zu_Industrie_4_0.pdf

Werner, H. (2017). *Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling* (6. Aufl.). Wiesbaden: Springer Gabler

Wilbers, K. (2017). *Industrie 4.0: Herausforderungen für die kaufmännische Bildung*. Berlin: epubli

Wilbers, K. (2019). *Wirtschaftsunterricht gestalten* (4. Aufl.). Berlin: epubli

Rudolf Schirmer, Hans Jürgen Lichy & Rainer Meisinger

Lernortkooperation im Wissensnetzwerk Kronach-Lichtenfels

Mensch, Maschine und Produkt kommunizieren entlang der Wertschöpfungskette zunehmend in Echtzeit über das Internet miteinander. „Vernetzung“ soll eine Produktion auf Nachfrage (production on demand) ermöglichen, ohne die Vorteile der Massenproduktion aufzugeben. Das Produkt trägt in einem Speicher die individuellen Wünsche des Kunden mit sich. Smart Factories (intelligente Fabriken) sollen flexibler auf die Anforderungen des Marktes reagieren können, da sie die reale und die virtuelle Welt zu einem Internet der Dinge, Daten und Dienste verbinden. Unklar ist noch, welche Rolle der Mensch in der Fabrik der Zukunft spielen wird. Die „menschenleere Fabrik“ wird nicht zu erwarten sein, so der Konsens unter Experten. Im Gegenteil, Wirtschaft 4.0 führt zweifellos zu Veränderungen in der Arbeitswelt bzw. in verschiedenen Berufsbildern. Die Berufsschule als dualer Partner zum Ausbildungsbetrieb hat die Aufgabe, allgemeine und berufsbezogene Lehrinhalte unter Berücksichtigung der betrieblichen Anforderungen zu vermitteln, d. h. die Fachkräfte von Morgen bestmöglich auf die Veränderungen durch Wirtschaft 4.0 vorzubereiten. Ziel der Berufsausbildung wird es sein, den Fokus auf sich verändernde, berufsfeldübergreifende Kernkompetenzen zu richten. Dabei ist das verbindende Element die zunehmende Digitalisierung der Arbeitswelt. Im Fokus stehen dabei IT-Kompetenzen wie auch die ganzheitliche Betrachtung der verzahnten Teilprozesse im Unternehmen, so genannte Prozesskompetenzen. Von Auszubildenden wird zukünftig ein hoher Grad an Flexibilität erwartet. Sie sollen in der Lage dazu sein, den „Blick über den Tellerrand zu richten“ und, „auf Augenhöhe zu kommunizieren“. Teamfähigkeit ist der wichtigste Schlüssel zum erfolgreichen Lösen von Problemen in einem vielfältiger werdenden Aufgabenspektrum. Diese veränderten Anforderungen werden sich folglich bei der Ausstattung, der Didaktik und Pädagogik sowie bei der Konzeption integrierter Fachräume niederschlagen. Die Förderung der Kompetenzen erfolgt im Wissensnetzwerk Kronach-Lichtenfels insbesondere über innovative und komplexe Lehr-Lern-Arrangements im Rahmen einer „Lernfabrik“.

Inhaltsverzeichnis

1 Die Beruflichen Schulen in Kronach und Lichtenfels 246

2 Das Prozessmodell der Lernfabrik Kronach/ Lichtenfels 247

3 Folgerungen für die didaktische Arbeit 253

4 Didaktische Umsetzung einer Auftaktveranstaltung in der Lernfabrik 255

5 Ausblick auf die weitere Lernfabrikarbeit 260

Literaturverzeichnis 263

Anhang 264



Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording des Austausches im virtuellen Raum „Kronach-Lichtenfels“

1 Die Beruflichen Schulen in Kronach und Lichtenfels

Am Beruflichen Schulzentrum Kronach, Lorenz-Kaim-Schule werden ca. 1.400 Schülerinnen und Schüler von ungefähr 67 Lehrkräften unterrichtet. Die Staatliche Berufsschule Lichtenfels, mit 65 Lehrkräften, bildet ungefähr 1.500 Schülerinnen und Schüler aus. Der größte Anteil sind die Schülerinnen und Schüler, die im Rahmen der dualen Berufsausbildung die Schule besuchen und bis auf wenige Ausnahmen in Blockform beschult werden. Hinzu kommen noch die Berufsfachschulen, die in Vollzeit unterrichtet werden. Durch die kooperative Zusammenarbeit beider Schulen kann ein berufsfeld- und fächerübergreifender Unterricht in den Fachbereichen Elektro-, Metalltechnik, Informatik sowie Wirtschaft und Verwaltung, Produktdesign und Gestaltung und den Kaufläuten im E-Commerce verwirklicht werden. Beide Berufsschulen sind mit den Ausbildungsbetrieben sehr eng vernetzt, da eine große Zahl der Unternehmen ihre Auszubildenden in beide Berufsschulen entsenden. Das gemeinsame Schulprofil der Staatlichen Berufsschulen Kronach und Lichtenfels bietet als Alleinstellungsmerkmal in der Region eine starke Vernetzung der Kompetenzen bei der Vermittlung von technischen und kaufmännischen Inhalten. Es ist so möglich, die gesamte Wertschöpfungskette eines Wirtschaft 4.0 Prozesses anhand der Berufsbilder darzustellen.

2 Das Prozessmodell der Lernfabrik Kronach/ Lichtenfels

Der Prozess der Lernfabrik Kronach/ Lichtenfels bildet die Produktion von Dosen für farbige Kugeln (siehe Abbildung 1) von der Ausführung der Bestellung bis zur Lagerung der fertigen Produkte ab.



Abbildung 1: Das fertige Produkt - hier im Beispiel ist es ein blauer Dosendeckel mit vier blauen, zwei roten und zwei grünen Kugeln (Eigene Aufnahme)

Innerhalb der Lernfabrik kann zwischen zwei Abläufen unterschieden werden – eine Variante mit nuveon sowie eine Variante mit SAP4SCHOOL. In folgender Abbildung 2 kann der Prozess mit nuveon eingesehen werden. Diese Grobübersicht stellt die Grundlage für die folgenden Ausführungen der einzelnen Prozessschritte dar. Die folgenden Subprozesse können in der Lernfabrik unterschieden werden:

- Durchführung einer Bestellung im Webshop
- Produktionsplanung
- Auslösen einer Palette / eines Werkstückträgers
- Auslegen eines Deckelbodens
- Befüllen des Deckelbodens mit Kugeln
- Montage eines Deckels auf dem Dosenboden
- Lagerung und Auslieferung der fertigen Produkte

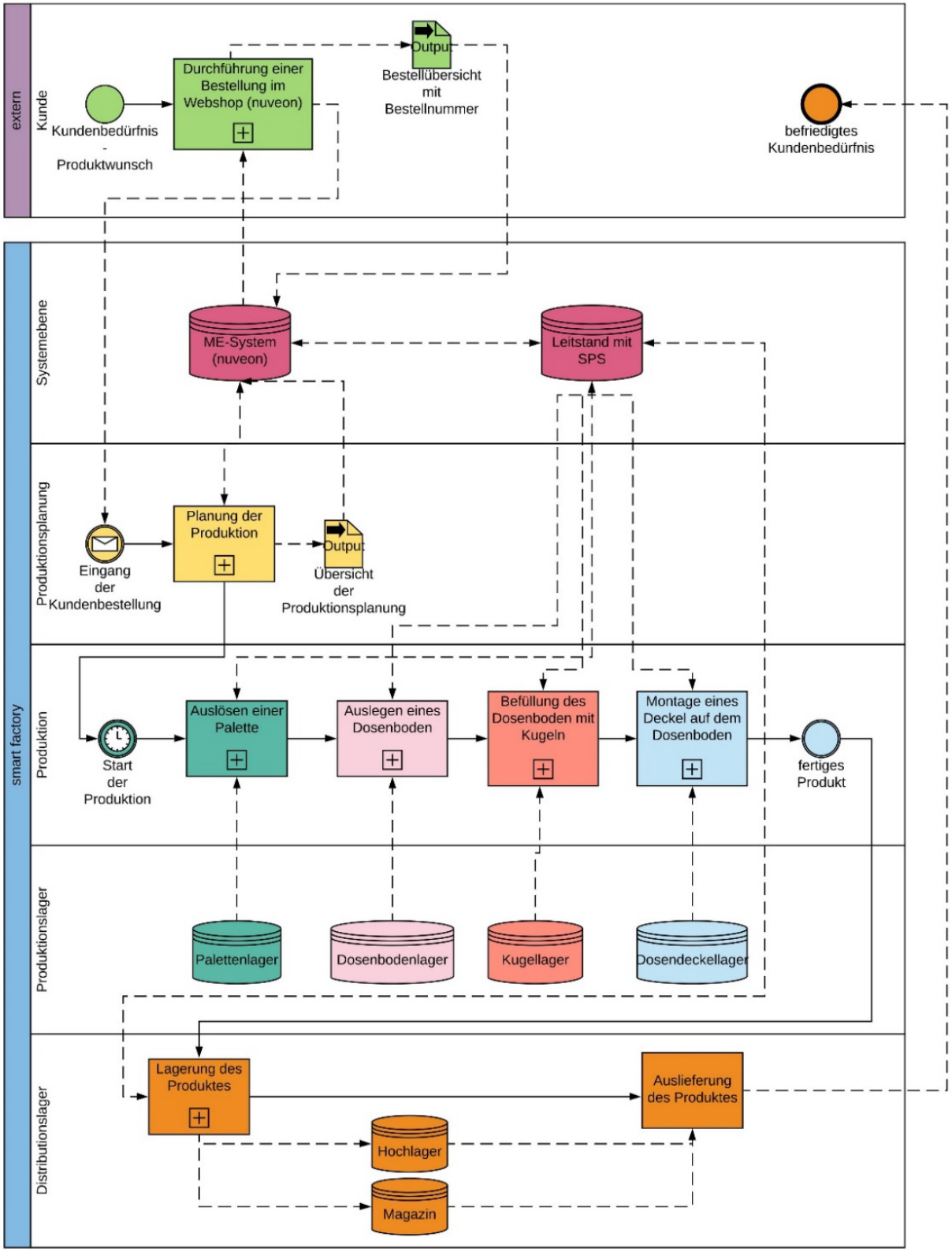


Abbildung 2: Prozessübersicht der Lernfabrik Kronach/ Lichtenfels (Eigene Darstellung)

Der Prozess startet bei einem Kunden, der sich für das Produkt interessiert und dieses bestellen will. In einem Webshop, vergleichbar mit bekannten Online-Shops wie beispielsweise Amazon, gibt der Kunde eine Bestellung ab. Hierfür erhält zum einen der Kunde eine Bestellübersicht, und zum anderen wird diese an das betriebseigene ME-System geschickt. Ausgehend von dieser und weiterer Bestellungen muss die Produktionsplanung im ME-System erfolgen, die mit einer Übersicht der Produktionsplanung endet. Diese wird im ME-System hinterlegt und von dort aus zu einem gewünschten Produktionszeitpunkt an einen Leitstand mit Speicherprogrammierbarer Steuerung (SPS) übertragen, die den folgenden Produktionsablauf initiiert und steuert. Zum Produktionsstart wird auf der Anlage eine Palette (Werkstückträger) ausgelöst, die auf einem Förderband die Produktionsschritte durchläuft und anschließend an einen gewünschten Lagerort fährt. Zu Beginn wird ein Dosenboden in die Palette gelegt, der im Anschluss mit Kugeln gefüllt und mit einem Deckel versehen wird. Abbildung 3 zeigt die einzelnen Bestandteile der Produktion nochmals auf. Während der Boden, die Kugeln und der Deckel direkte Produktbestandteile sind, dient der Werkstückträger dazu, das entstehende Produkt über die Anlage zu transportieren.

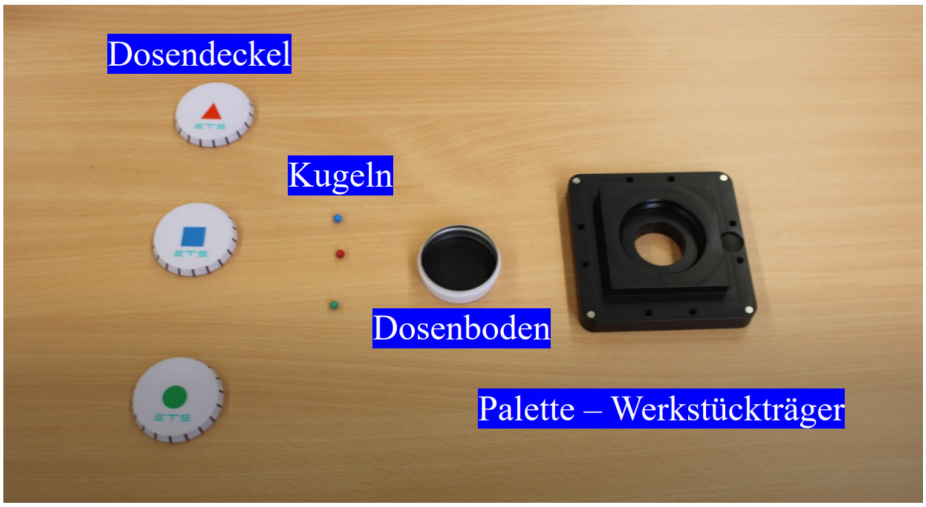


Abbildung 3: Die einzelnen Bestandteile der Produktion (Eigene Darstellung)

Das fertige Produkt wird in ein Lager (Hochlager, Magazin) gefahren. Der Prozess in Kronach/ Lichtenfels ist nach diesem Schritt beendet. Zur Vollständigkeit wird aber noch die Auslieferung des Produktes zum Kunden in das Prozessmodell aufgenommen, um das befriedigte Kundenbedürfnis als Endereignis festsetzen zu können. Zudem soll ein realer Wertschöpfungsprozess für die Schülerinnen und Schüler abgebildet werden. Die fehlende Verknüpfung von Lagerung und Auslieferung würde zu Einbußen in der realen Umsetzung der *smart factory* führen. Zudem besitzen die Prozessschritte des Lieferns und Rücklieferns kaufmännische

Komponenten, die nicht außer Acht gelassen werden sollten. Inwiefern eine reale Auslieferung in Kronach abgebildet werden kann, muss noch geklärt werden.

Eine Erweiterung für das Lernen mit der Fabrik bietet das Projekt SAP4school. Dabei wird eine CPS-i40 Lernfabrik der Firma ETS DIDACTIC GmbH mit der Integrierten Unternehmens-Software (IUS) von SAP verknüpft. Hierzu wird eine SAP-Software genutzt, die speziell für Schulen didaktisch aufbereitet ist. Durch das Zusammenspiel von Lernfabrik und SAP können „alle betriebswirtschaftlichen als auch alle technischen Prozesse, vom Auftragseingang mittels Webshop über die Produktion bis zur Auslieferung des Produktes an den Kunden, innerhalb eines Unternehmens“ (ETS DIDACTIC GMBH, n. d.) abgebildet werden. Zur Umsetzung liegt den Berufsschulen in Kronach und Lichtenfels die Handreichung des Moduls D5 Industrie 4.0 mit der CPS-i4.0 vor. Dieses Modul beinhaltet die fünf Teile vom Kunden- zum Fertigungsauftrag, Produktion mit SAP ME, Auftragsabschluss im SAP ERP-System, Reporting mit SAP ME und Arbeitspläne an eine neue Produktionslinie anpassen. Dies bildet derzeit auch das einzige Material, das das Lernen und Lehren in Kooperation mit einer Lernfabrik ermöglicht. Daher richtet sich diese Handreichung speziell an Schülerinnen und Schüler ohne Vorkenntnisse in Produktionsprozessen und leistet somit eine Einführung in Indutrie 4.0 mit SAP. Es ist derzeit zu erwarten, dass Erweiterungen der Handreichung folgen werden.

Ausgehend von diesem didaktischen Konzept ergeben sich einige Änderungen im Durchlauf der Lernfabrik, die im Folgenden dargestellt werden. Der bereits dargestellte Prozess aus Abbildung 2 dient nun als Stütze für die folgenden Ausführungen. Die Arbeit mit und in der Lernfabrik erfolgt nun im Namen der Global Bike Group. Diese stellt Dosen mit Energiedragees für Radsportler her und verschickt diese. Entsprechend der SAP4school-Handreichungen werden die Dosenböden jedoch nicht mit Kugeln befüllt, sondern bleiben leer. Außerdem stehen nur rote und blaue Dosendeckel zur Verfügung. Diese Farben stehen stellvertretend für die Geschmacksrichtungen *intense red* und *chilled blue*. Die Abbildung 5 zeigt die Teilschritte des SAP4School-Prozesses auf. Die Durchführung einer Bestellung wird nun von SAP unterstützt. Hieraus ergibt sich auch eine neue Benutzeroberfläche, die nur noch die Auswahl von blauen oder roten Dosen sowie die Bestimmung der Anzahl zulässt. Zusätzlich kann der Produktpreis eingesehen werden (siehe Abbildung 4).

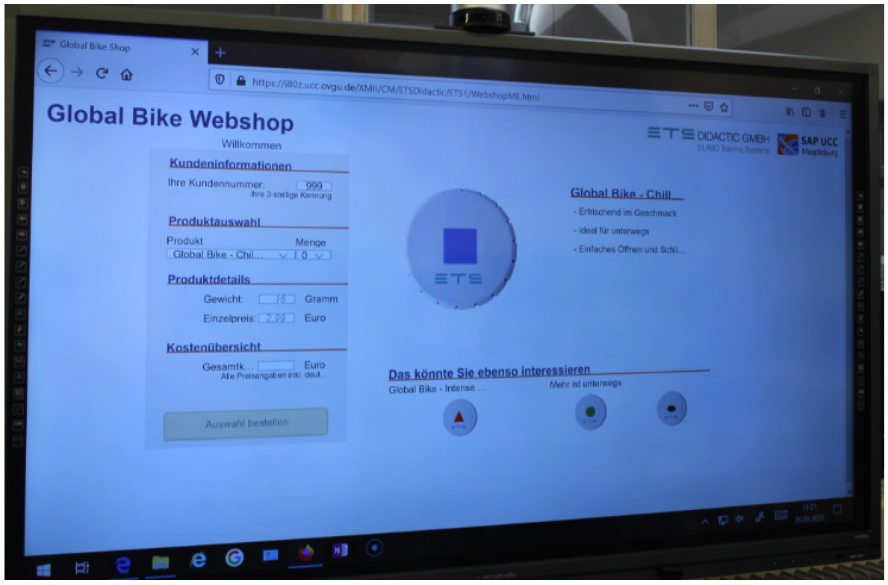


Abbildung 4: Der SAP4school Webshop (Eigene Darstellung)

Nachdem eine Bestellung über den Webshop der Global Bike Group erfasst wurde, wird in SAP ein Kundenauftrag generiert. Der Wille des Kunden wird hierdurch systemtechnisch auf Unternehmensebene greifbar, indem er in einem SAP ERP-System hinterlegt wird. Mit Hilfe dessen wird anschließend auch die Produktion geplant. Hierzu wird überprüft, ob das Produkt vorrätig ist oder ob eine Produktion erfolgen und unter Umständen Material angefordert werden muss. Es entsteht ein Fertigungsauftrag, der im SAP ME-System hinterlegt wird. Während mit Hilfe des ERP-Systems die Produktion auf betriebswirtschaftlicher Ebene geplant wird, ermöglicht und unterstützt das ME-System die technische Echtzeitüberwachung der Produktion. Zum Produktionsstart erfolgt ein Signal des ME-Systems über die Software *SAP Plant Connectivity* (SAP PCo) an die SPS der Anlage. Die Kommunikation während der Produktion erfolgt über eine Produktionssteuerungsnummer (PSN). Diese verknüpft die Anlage über SAP PCo mit dem ME-System. Sobald das Produkt auf der Anlage produziert wird, laufen die Produktionsschritte sowie die Lagerung analog zu den vorab beschriebenen Schritten. Einzig die Befüllung mit Kugeln entfällt. Eine Änderung ergibt sich auch im Abschluss des Prozesses. So findet nun ein Anstoß der Auslieferung bzw. ein Ausbuchen des Produktes mit der Erstellung eines Materialbelegs sowie Lieferscheines statt. Der Kundenauftrag wird durch diesen Vorgang abgeschlossen. Die Auslieferung des Produktes wäre möglich, müsste aber auch hier manuell erfolgen.

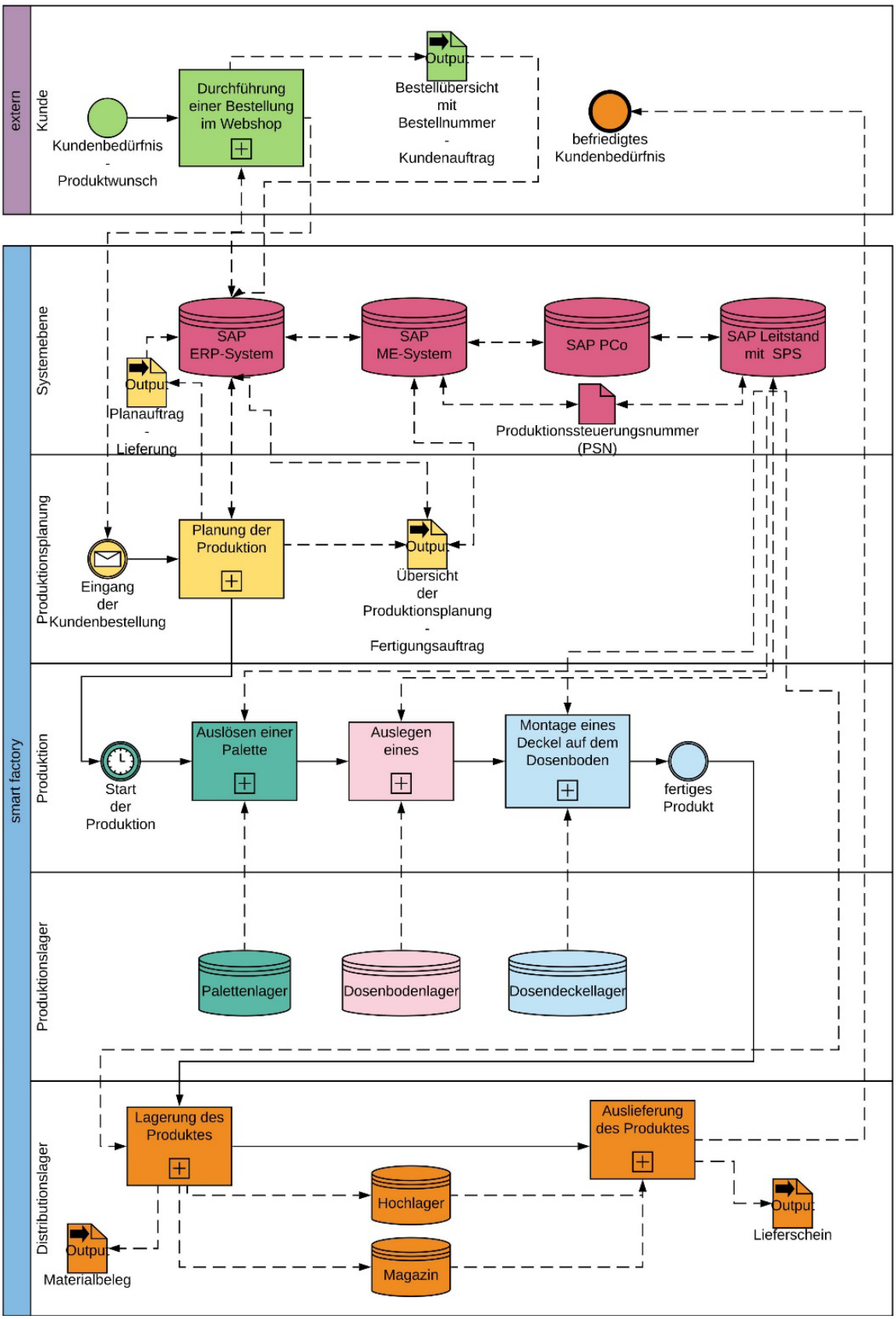


Abbildung 5: Der SAP4school-Prozess (Eigene Darstellung)

Neben der reinen Produktionssteuerung stehen den Schülerinnen und Schülern im Bereich Reporting noch ein Produktionsbericht, ein Fertigungsauftragsbericht, die durchschnittliche Vorgabezeit für eine PSN nach Vorgangsbericht und nach Fertigungsauftragsbericht zur Verfügung. Diese Daten eignen sich für anschließende Analysen des Produktionsprozesses.
Die Berufsschule Kronach nutzt derzeit diese Handreichungen, um Schülerinnen und Schüler Schritt für Schritt an die Arbeit in Lernfabriken heranzuführen. Dennoch bringt das Lernen in und mit der smart factory einige Besonderheiten und Neuerungen in der pädagogischen Arbeit mit sich, welche im Folgenden aufgegriffen und mit didaktischen Schlussfolgerungen angereichert werden.

3 Folgerungen für die didaktische Arbeit

Durch die Festlegung verschiedener Kriterien für die Arbeit in und mit der Lernfabrik soll es gelingen, das interdisziplinäre - fach- und schulübergreifende - Lernen schrittweise zu ermöglichen.
Allerdings muss sich vor Augen geführt werden, dass die Schülerinnen und Schüler neben bisherigen fachlichen Inhalten nun einerseits das prozessorientiere Denken und Handeln verinnerlichen und anderseits auch den Umgang mit neuen Systemen wie SAP erlernen müssen. Aufgrund der Komplexität der Thematik Industrie 4.0 und der schulischen Gegebenheiten ergeben sich folgende Kriterien für interdisziplinäre Kooperationsfelder in der Lernfabrik Kronach/ Lichtenfels:

- **Aufbau eines Grundverständnisses*:*** Die Schülerinnen und Schüler sollen ein Grundverständnis dafür entwickeln, was in der *smart factory* abläuft. Neben dem Kennenlernen der Situation, des Produktes und des Prozesses geht es auch um eine persönliche Einordnung des eigenen Berufes. Es soll ein Bewusstsein dafür entstehen, welche Tätigkeiten selbst übernommen werden können und welche hingehen von anderen Berufsgruppen erledigt werden. Es folgt auch eine Anknüpfung an den „Denkstil“ (Lerch, 2019, S.2) für die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Die Schülerinnen und Schüler sollen durch das Grundverständnis nach und nach dazu befähigt werden, über den eigenen Fachbereich hinaus zu blicken und fachübergreifend zu agieren.

- **Leichte Umsetzbarkeit*:*** Im Schulalltag zeigt sich, dass speziell die Rüstzeit – das Einschalten aller Geräte und PCs im Raum der Lernfabrik – zeitaufwendig ist. Die Unterrichtseinheiten sollen schnell und einfach durchgeführt werden können. Dies soll vermeiden, dass die Schülerinnen und Schüler aufgrund langer Warte- oder Rüstzeiten die Motivation verlieren. Nach Möglichkeit soll das selbstständige Schülerhandeln leicht erreicht werden.

- **Anpassung der Komplexität:** Dem Aufbau der Lernfabrik liegen hochwissenschaftliche technische Standards zu Grunde. Für das Lernen und Lehren müsse diese Gegebenheiten an das Niveau und Vorwissen der Schülerinnen und Schüler angepasst werden. Dies soll sicherstellen, dass die Inhalte aufeinander aufbauend erfahren und erlebt werden können, ohne die systemische Betrachtungsweise aus dem Auge zu verlieren. So sollen die Lernenden speziell zu Beginn des Lernens nicht überfordert werden, sondern vielmehr über kleine Erfolgserlebnisse für komplexere Inhalte motiviert werden. Das individuelle, selbstgesteuerte und selbstverantwortete Lernen soll eine größere Bedeutung einnehmen. Die Tatsache, dass die gesamte Lernfabrik als reales Abbild in Form eines digitalen Zwillings dargestellt ist, eröffnet neue Möglichkeiten der didaktischen Reduktion. Über VR (Virtual Reality) und AG (Augmented Reality) können die Handlungen realitätsgetreu wie im späteren Arbeitsprozess durchgeführt werden. So können mehr Sinne gefordert und die Erinnerungsrate gesteigert werden. Hierbei können die virtuellen Objekte des digitalen Zwillings in die Hand genommen, verändert und manipuliert werden – wie in der „echten“ Welt, an der realen Lernfabrik. Der Lerner bzw. die Lernerin ist Teil der Lernwelt, kann mit dieser interaktiv interagieren, deren Objekte manipulieren und erhält dabei individualisiertes Feedback. Das Ganze kann mit anderen gemeinsam, lernfeldübergreifend durchgeführt werden und ermöglicht ebenso kollaborative Lern- und Lehrformen.

- **Geringer Zeitaufwand*:*** Der Fokus an beruflichen Schulen liegt nach wie vor auf der Vermittlung des Lehrplanes, um ein Bestehen der Abschlussprüfung zu ermöglichen. Dem derzeitigen Stand entsprechend finden sich Themen der Industrie 4.0 und der Lernfabrik nicht in einer Abschlussprüfung. Interdisziplinäre Kooperationen sollen den derzeitigen Gegebenheiten entsprechend zeitsparend geplant werden. Es wird ein Zeitpensum von maximal vier Unterrichtsstunden angestrebt.

- **Differenzierter Unterricht in interdisziplinären Kleingruppen*:*** Die Anlage befindet sich in einem Klassenzimmer in den technischen Räumen des Schulgebäudes. Aufgrund dieser räumlichen Gegebenheiten ist es schwer, den Unterricht für zwei Schulklassen zu organisieren. Für die Arbeit soll das Lernen in interdisziplinären Kleingruppen stattfinden – beispielsweise bestehend aus jeweils zwei Personen mehrerer Berufsgruppen. Das Unterrichtsgeschehen soll demnach differenziert geplant werden.

- **Ausnutzung der Potentiale der Lernfabrik*:*** Die Bildung von Kleingruppen soll sicherstellen, dass jedem Schüler / jeder Schülerin eigene Aktivitäten ermöglicht werden. Die Lernfabrik zeichnet sich durch die Realität und ein Live-Erlebnis aus. In der Arbeit mit den Auszubildenden sollen die Potentiale der Lernfabrik umfänglich ausgenutzt werden. Das Erleben, Erfahren und eigene Handeln wird für diese Arbeit als besonders erwähnenswert erachtet und soll in der Ausgestaltung der Kooperationsfelder eine besondere Bedeutung erfahren (Lödding, Tietze, Czumanski, & Braasch, 2013, S. 246). Zudem soll der Anteil praktischer Tätigkeiten hoch gehalten werden (bayme vbm, 2016, S. 99).

Um ein genaueres Verständnis für die Arbeit in der *smart factory* zu vermitteln, wird in folgendem Kapitel 4 die didaktische Umsetzung einer Auftaktveranstaltung aufgezeigt.

4 Didaktische Umsetzung einer Auftaktveranstaltung in der Lernfabrik

Die Auszubildenden kommen von allgemeinbildenden Schulen und verfügen demnach nur über geringe Kenntnisse im Bereich der unternehmerischen Prozessorientierung. Meist ist das Denken in Disziplinen in den Köpfen verankert, sodass fachübergreifende Zusammenhänge, wie sie Abbildung 6 dargestellt, nur selten hergestellt werden.

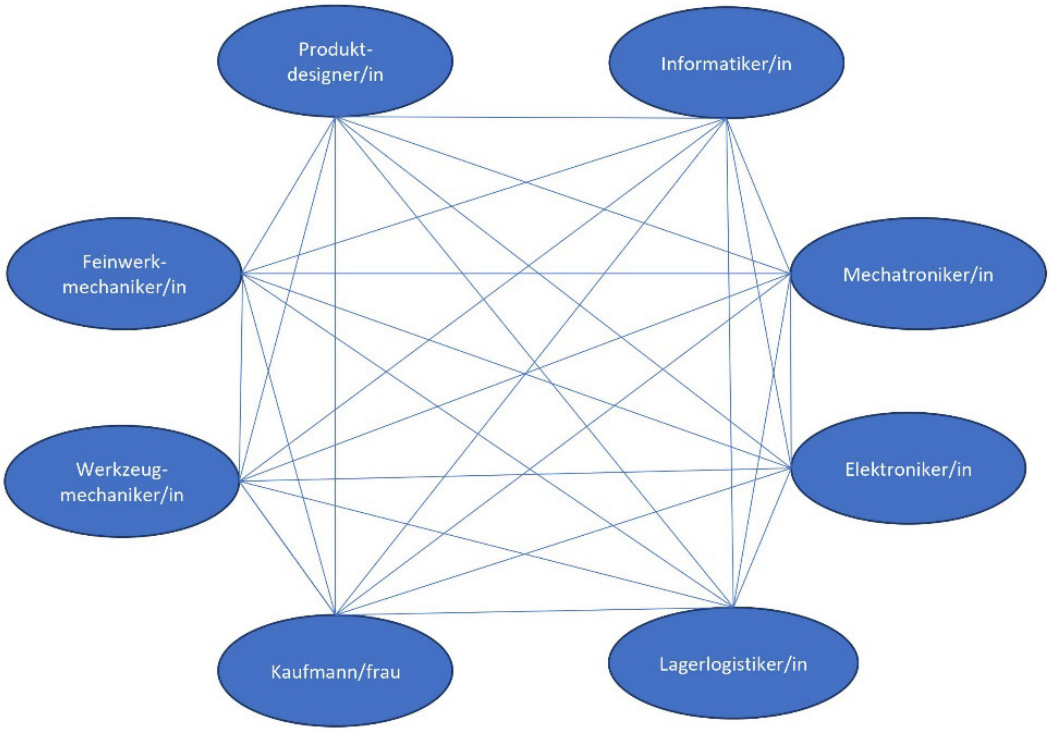


Abbildung 6: Fachübergreifendes Netz in der Lernfabrik (Eigene Darstellung)

Im Rahmen einer „Auftaktveranstaltung *smart factory* – interdisziplinär“ soll ein Startschuss in das berufsübergreifende Lernen und Arbeiten in der Lernfabrik erfolgen. Die Schnittstelle der Berufe befindet sich demnach nicht nur auf einer fachlichen Ebene. Vielmehr geht es darum, ein Bewusstsein für das kooperative Arbeiten zu entwickeln. Die Schülerinnen und Schüler sollen einerseits erkennen, dass eine Kooperation verschiedener Berufsgruppen eine erfolgreiche Prozessgestaltung und -durchführung ermöglicht. Andererseits sollen die Lernenden auch ein Gefühl dafür entwickeln, welchen Beitrag sie im Laufe des Prozesses leisten, welche Aufgaben sie übernehmen können und welche überfachlichen Ansprechpartner zu Rate gezogen werden können.

Diese praxisnahe Einführung sieht vor, alle Schülerinnen und Schüler in interdisziplinäre Teams einzuteilen. Ein Team könnte beispielsweise aus insgesamt 17 Personen bestehen, sodass eine Lehrkraft jeweils zwei Lernende eines jeden Berufsbereiches (Abbildung 6) beschult.

Zu Beginn soll das theoretische Setting umrissen werden. Zudem wird der Prozess der Bestellung, Planung, Produktion und Lagerung kurz und bündig erklärt. In anschließenden Gesprächen und Diskussionen tauschen sich die Lernenden fachübergreifend aus. Dies soll sicherstellen, dass sich die Schülerinnen und Schüler kennenlernen, das Denken in Disziplinen aufgebrochen und ein Gefühl für andere Berufsbereiche aufgebaut wird.

Folgende Abbildung 7 zeigt auf, welche Learning Outcomes in dieser Einführung erreicht werden können. Nach Abele & Cachay (2012, S. 88) wird eine handlungsorientierte Formulierung der Aus- und Weiterbildungsziele angestrebt. Aus diesem Grund wird auf der ersten Ebene eine Kompetenzerwartung formuliert, welche in der zweiten Ebene in mehrere Performanzerwartungen aufgeteilt wird (Wilbers, 2019, S. 60–62). Zudem erfolgt eine Einteilung der Lernziele anhand des DQR, indem eine Unterscheidung in Fachkompetenzen (Kürzel: FaKo), personale Kompetenzen (PeKo) sowie in die Sprachkompetenzen (SpKo) und digitale Kompetenzen (DiKo) vorgenommen wird (*Handbuch zum Deutschen Qualifikationsrahmen*, 2013). In der letzten Spalte wird außerdem das taxonomische Niveau der jeweiligen Performanzerwartung angegeben. Die „Hilfe für die Formulierung von Lernzielen“ aus der Toolbox von Wilbers (2018) dient als Grundlage für Einordnung der taxonomischen Niveaus.

Learning Outcomes		Kürzel	Taxonomie
1.	**Die Lernenden sind in der Lage, den Prozess der Lernfabrik Kronach/ Lichtenfels zu analysieren.**		
1.1	Sie nennen die einzelnen Prozessschritte.	FaKo, SpKo	Erinnern
1.2	Sie ordnen die einzelnen Prozessschritte der Reihe nach an.	FaKo, PeKo	Verstehen
1.3	Sie beschreiben die menschlichen und maschinellen Tätigkeiten in einzelnen Prozessschritten.	FaKo, SpKo	Verstehen
1.4	Sie schildern Tätigkeiten anderer Berufe im Zusammenhang mit der Lernfabrik.	FaKo, SpKo	Verstehen
1.5	Sie beschreiben ihre eigene Rolle und Tätigkeiten im Prozessablauf.	FaKo, SpKo, PeKo	Anwenden
1.6	Sie erläutern den Gesamtprozess unter Nutzung verschiedener Fachbegriffe.	FaKo, SpKo	Anwenden
1.7	Sie beobachten den Produktionsprozess.	FaKo, PeKo	Anwenden
1.8	Sie interpretieren den Produktionsdurchlauf.	FaKo, SpKo	Anwenden
1.9	Sie ermitteln für einzelne Prozessschritte teilnehmende Berufsgruppen.	FaKo, SpKo, PeKo	Analyse

Abbildung 7: Learning Outcomes der Schnittstelle "Auftaktveranstaltung smart factory - interdisziplinär" (Eigene Darstellung)

Auf eine Vertiefung oder gar Einführung der Thematik Industrie 4.0 wird in diesem Zusammenhang verzichtet, da die Lernfabrik selbst im Vordergrund stehen soll. Das Wissen wird für eine Teilnahme somit schon vorausgesetzt und kann während der Veranstaltungseröffnung aktiviert werden.

Für die geplante Veranstaltung sollen die Teams klein gehalten werden, sodass jedes Mitglied die Gelegenheit hat, eine eigene Bestellung (SAP oder nuveon) abzugeben und die Produktion zu erleben. Dieses Vorgehen soll die Schülerinnen und Schüler dazu anleiten, selbst aktiv zu werden, um eigene Erfahrungen zu sammeln. Außerdem soll durch das eigene Handeln die Motivation gesteigert werden. Die Lehrkraft übernimmt in diesem Szenario die Rolle eines Experten / einer Expertin, der/die Lernfabrik vorstellt. Dabei soll nicht die fachliche Tiefe im Vordergrund stehen. Vielmehr geht es darum, ein grundlegendes Prozessverständnis der Auszubildenden zu schulen. Beispielsweise müssen Kaufleute keine Details über Sensoren und technisch Lernende keine Kostenkalkulationen erlernen. Es geht lediglich um ein grundlegendes Verständnis für Prozesse in und um die Lernfabrik.

Die Vorstellung der Lernfabrik kann zusätzlich noch von einer möglichen Fachbegriffsliste angereichert werden. Diese Liste beinhaltet Begriffe, die für das Verständnis des Prozesses wichtig sind. Eine mögliche Umsetzung sähe vor, dass die Schülerinnen und Schüler diese Liste selbstständig erweitern, indem zu jedem Begriff stichpunktartig eine Definition festgehalten wird oder in Form einer „Ich-kann-Liste“ verstandene Begriffe abgehakt werden. Für die vorliegende Arbeit wurde eine solche Liste erstellt, die in Anhang 1 eingesehen werden kann.

Für die Auftaktveranstaltung sind fünf Tagesordnungspunkte (siehe Abbildung 8) geplant, die innerhalb von 135 Minuten, also drei Schulstunden besprochen werden.

Auftaktveranstaltung „smart factory – interdisziplinär“
1. Eröffnung der Veranstaltung (15 Min.)
2. Vorstellung des Prozesses (30 Min.)
3. Übungsphase (50 Min.)
3.1 Verknüpfung der Begrifflichkeiten („Ich-kann-Liste“) mit dem Prozessmodell
3.2 Schülersimulationen
4. Gruppendiskussion („Mein Beruf in der Lernfabrik“) (30 Min.)
5. Reflexion der Veranstaltung (10 Min.)

Abbildung 8: Möglicher Ablauf der Auftaktveranstaltung (Eigene Darstellung)

1. **Die Eröffnung der Veranstaltung:**
   Die Veranstaltung wird von einer betreuenden Lehrkraft eröffnet, indem das Ziel beschrieben und der geplante Ablauf aufgezeigt wird. Die Schülerinnen und Schüler erhalten die Gelegenheit, sich kurz unter Nennung des Namens, der Klasse, des Ausbildungsberufes und des Ausbildungsbetriebes vorzustellen. Hierdurch soll es gelingen, eine erste Hürde des fachübergreifenden Austausches zu überwinden und so eine Basis für die Zusammenarbeit zu entwickeln.
2. **Vorstellung des Prozesses durch eine Lehrkraft:**
   Die Lernfabrik dient hierbei als Demonstrationsmedium zur Unterstützung der Präsentation. Die Lernenden schlüpfen dabei in die Rolle des Beobachters. Um die Erklärungen authentischer erscheinen zu lassen, bietet sich in diesem Schritt auch an, den Prozess von älteren Lernenden vorstellen zu lassen. Jedoch kann durch eine Lehrkraft als Experte/in sichergestellt werden, dass an bestimmten Stellen didaktische Reduktionen vorgenommen werden können und der Fokus auf den vorab festgelegten Fachbegriffen liegt.
3. **Übungsphase anhand des Prozesses:**
   Im Anschluss an die Präsentation haben die Schülerinnen und Schüler die Gelegenheit, das Erlernte zu vertiefen, indem die Fachbegriffe auf das papierhafte Prozessmodell (siehe Anhang 2) übertragen werden. Es bietet sich auch hier an, wieder kleinere Gruppen bestehend aus zwei bis vier Lernenden zu bilden. Im Zuge dieser Übungsphase ist es zudem denkbar, einzelnen Gruppen die praktische Umsetzung des Prozesses zu ermöglichen. Es geht im Speziellen um das Erlebnis, selbst am Touch-Bildschirm eine Bestellung durchzuführen und dann den Produktionsablauf zu starten. Zudem stellen kleinere Gruppen sicher, dass jeder Lernende den Prozess detailliert betrachten kann.
4. **Gruppendiskussion:**
   Zur Besprechung der Übungsaufgabe finden sich alle Teilnehmenden zusammen. Außerdem findet eine Reflexion innerhalb der Situation statt, indem jeder Lernende ein Statement zu seiner Rolle in der Lernfabrik abgibt. Es geht darum herauszufinden, wo man sich selbst einordnet und welche Verflechtungen es zwischen den einzelnen Berufen gibt.
5. **Reflexion der Veranstaltung:**
   Den Abschluss der Veranstaltung bildet noch eine Reflexion außerhalb der Situation. Hierbei steht die Veranstaltung selbst im Mittelpunkt. Mittels einer Evaluation sollen sowohl das Verbesserungspotential als auch positive Aspekte offengelegt werden.

Während der einzelnen Schritte steht die Kompetenzerweiterung der Schülerinnen und Schüler im Mittelpunkt. Diese Veranstaltung kann zu Beginn der Ausbildung angeboten werden,

sodass Schülerinnen und Schüler schon früh mit der Lernfabrik und dem interdisziplinären Austausch in Kontakt treten. Außerdem können auch Lernende, die bereits kurz vor dem Ausbildungsabschluss stehen, diese Veranstaltung in Form eines Praktikums („Praktikum *smart factory* – interdisziplinär“) besuchen. Auch hier können die Schülerinnen und Schüler nochmal einen wichtigen Input für das anstehende Berufsleben erfahren. Es bleibt festzuhalten, dass diese Ausführungen eine erste Grundlage für die Ausgestaltung bilden. Die endgültige Umsetzung bedarf noch einer detaillierten Planung, die auf Schulebene erfolgen wird. An das erworbene Grundverständnis können sich verschiedene, weitere Module anschließen, die derzeit in Planung sind.

5 Ausblick auf die weitere Lernfabrikarbeit

Wesentliches Merkmal der Lernfabrik ist das Vorhandensein der kompletten Anlage als digitalen Zwilling. D. h. das reale Abbild einschließlich aller Funktionsabläufe, mechanisch und digital sind über eine Cloud-Lösung abrufbar. D. h. durch/über den digitalen Zwilling lassen sich die unterschiedlichen Lernorte: Ausbildungsbetrieb, Berufsschulen und das Zuhause miteinander verbinden, um so die Voraussetzung für ein lernortunabhängiges Arbeiten zu ermöglichen. So können Projekte konzipiert werden, an denen gemeinsam unterschiedliche Ausbildungsberufe, an unterschiedlichen Orten zusammenarbeiten und kommunizieren.

In einem ersten Projekt geschah dies durch neue Anforderungen an das Greifersystem des Roboters. Als Vorlage diente ein Pflichtenheft, das es den Produktdesignern in Lichtenfels ermöglichte, erste Entwürfe zu konstruieren. Industriekaufläute in Lichtenfels und Kronach erstellten dazu die realistischen Kalkulationsmodelle. Die 3-D Daten konnten im digitalen Zwilling durch Simulation von Mechatroniker/innen und Industriemechaniker/innen überprüft und verbessert werden. Diese Informationen gingen wieder an die Produktdesigner/innen in Lichtenfels und setzten dies um. Ein 3-D Modell aus dem 3-D Druck wurde erzeugt und eine erste Montage und Funktionsprüfung durchgeführt werden. Das Modell wurde hinsichtlich Volumen, Masse, mechanischer Beanspruchung, Festigkeit und Material optimiert unter Begleitung einer Kosten-Nutzen-Analyse der Industriemechaniker. Die fertigen Produktionszeichnungen des Greifers gingen schließlich an die Werkzeugmechaniker/innen in Kronach und Feinwerkmechaniker/innen in Lichtenfels, um das neue Greifwerkzeug zu produzieren. Zeitgleich erzeugte auf Grundlage der technischen Vorgaben und der kaufmännischen Kalkulation unser Projekt-

partner (Fa. Hofmann GmbH) in Lichtenfels mittels 3-D Druck die optimierte Greiferkomponente. Die beteiligten Auszubildenden konnten dann aus ihrem jeweiligen beruflichen Blickwinkel beide Lösungen vergleichen und sich für eine zu entscheiden. Die neue Greiferkomponente wurde real an der Anlage in Kronach montiert von, das SPS-Programm von Mechatroniker/innen modifiziert und der digitale Zwilling aktualisiert.

Das Beispiel ist ein erster Ansatz, der gezeigt hat, dass es möglich ist unterschiedliche Ausbildungsberufe an unterschiedlichen Orten über ein gemeinsames Projekt zu verbinden. Es hat aber auch gezeigt, wie wichtig es in der Berufsausbildung ist, dass alle am Projekt beteiligten darauf angewiesen sind, auf Augenhöhe zu kommunizieren. D. h. es ist notwendig, sogenannte Querschnittskompetenzen zu definieren, die dies ermöglichen. Die Vermittlung dieser Querschnittskompetenzen wird in Zukunft sehr wichtig sein und weiter ausgebaut werden müssen. So kommen in diesem Schuljahr Projekte hinzu, die dies noch mehr fordern werden. Ungewollt durch die Corona-Krise und den Distanzunterricht hat unser Projekt im Jahre 2020 große Schritte gemacht. So wurden erste Beispiele für gemeinsame Unterrichtssequenzen von Informatiker/innen und Mechatroniker/innen und von Industriekaufläuten und Kaufläute im E-Commerce durchgeführt. Die unterschiedlichen Lernorte waren über den digitalen Zwilling und per Videokonferenz miteinander verbunden. Zwischenzeitlich steht auch das Web-Interface zur Verfügung und reale Bestellungen können über das Internet an die Anlage gesandt werden. Im nächsten Schritt wird von den Auszubildenden der Kaufmann/-frau im E-Commerce Klassen in Lichtenfels die Vermarktung des Produktes über das Internet geplant und realisiert.

Seit Beginn des Schuljahres 2020/2021 ist auch die Anpassung von SAP realisiert, so dass alle Prozessdaten der Anlage für kaufmännische Betrachtungen in den Unterricht mit verwendet werden können.
Die Anlage ist modular aufgebaut, so dass sie in weiteren Schritten modifiziert und erweitert werden kann, was wiederum durch die Auszubildenden selbst geschieht, denn das dafür notwendige Knowhow ist durch das Berufsportfolio an der Berufsschule in Kronach und Lichtenfels vorhanden. Mit diesem Modell gelingt es uns, alle Beteiligte an einem industriellen Produktionsprozess zusammenzuführen. Gemeinsames Handeln entlang der gesamten Wertschöpfungskette real darzustellen und so die betriebliche Wirklichkeit in die Berufsschulen in Kronach und Lichtenfels zu holen. Nicht vergessen werden darf, dass es möglich ist, so zu

einer optimalen Ausnutzung alle Ressourcen zu kommen, auf technischer Seite, aber vor allem auch auf eine neue Qualität des Unterrichts, da die verschiedensten Fachläute (Lehrkräfte und Ausbilder/innen) von unterschiedlichen Orten aus zusammenarbeiten und Synergien optimal genutzt werden können.

Literaturverzeichnis

Abele, E., & Cachay, J. (2012). Kompetenzentwicklung durch Lernfabriken. *Wt Werkstattstechnik Online*, *3*, 88–93.

bayme vbm. (2016). *Industrie 4.0 – Auswirkungen auf Aus-und Weiterbildung in der M+E Industrie*.

ETS DIDACTIC GMBH. (n.d.). ERP/ MES mit SAP4SCHOOL Digitale Lernfabrik interdisziplinär - connectedFACTORY CPS-i40®. Retrieved May 27, 2020, from https://ets-didactic.de/de-de/produkte/1-loesungen-fuer-elektroberufe/industrie-4-0-cps-i40-reg/erp-mes-mit-sap4school-mit-cps-i40-reg/

Handbuch zum Deutschen Qualifikationsrahmen. (2013). Bund-Länder-Koordinierungsstelle für den Deutschen Qualifikationsrahmen für lebenslanges Lernen.

Lerch, S. (2019). *Interdisziplinäre Kompetenzbildung*. Berlin: Hochschulrektorenkonferenz.

Lödding, H., Tietze, F., Czumanski, T., & Braasch, M. (2013). Problembasiertes Lernen in Lernfabriken. *Wt Werkstattstechnik Online*, *3*.

Wilbers, K. (2018). *Wirtschaftsunterricht gestalten.Toolbox* (3. Auflage). Berlin: epubli.

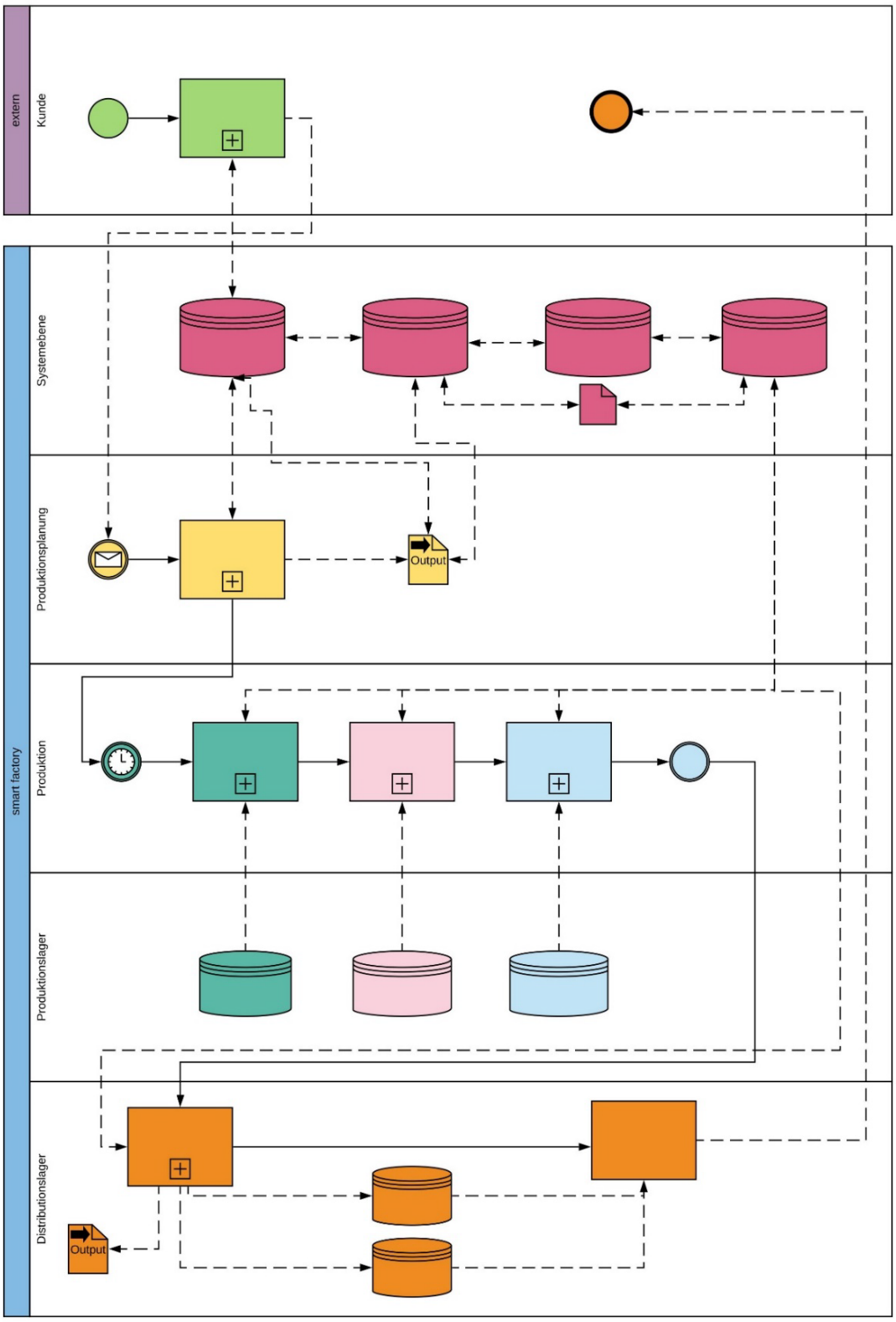
Wilbers, K. (2019). *Wirtschaftsunterricht gestalten* (4. Auflage). Berlin: epubli.

Anhang

Anhang 1: „*Ich-kann-Liste*“ für die Auftaktveranstaltung

Fachwort	Erklärung / Definition	Kann ich das?
Kundenwunsch / -bedürfnis		
Webshop		
SAP		
Kundenauftrag		
ERP-System		
Produktionsplanung		
Fertigungsauftrag		
Materialverfügbarkeit		
Dashboard		
ME-System		
Produktionssteuerungsnummer (PSN)		
SAP Plant Connectivity (PCo)		
Leitstand mit Speicherprogrammier-barer Steuerung (SPS)		
RFID-Chip		
Werkstückträger		
Dosenboden		
Dosenbefüllung mit Kugeln		
Qualitätskontrolle		
Dosendeckel		
Magazinlager		
Hochlager		
Wareneingang		
Auslieferung		
Reporting		

Anhang 2: Vorlage für das leere Prozessmodell zur Ausgestaltung einer möglichen Übungsaufgabe



Jürgen Klose, Martin Siegert, Markus Simon & Lorenz Wagner

Gewerblich-kaufmännische Lernfabrik zweier beruflicher Schulen in Nürnberg

In diesem Artikel geht es um die Betrachtung der Lernfabrik an der Berufsschule 2 in Nürnberg, die in Kooperation mit der Berufsschule 4 betrieben wird.
Nach Vorstellung der beiden Schulen und der örtlichen Gegebenheiten, werden die didaktischen Überlegungen zum Konzept der Lernfabrik dargelegt. In diesem Konzept wird die Lernfabrik als Kristallisationspunkt von vielen Neuerungen, bedingt durch die digitale Transformation, verstanden. Bestehende Anlagen und Technologien werden integriert und mit aktuellen und zukunftsweisenden Techniken verbunden. Die miteinander verwobenen kaufmännischen und technischen Bereiche werden grafisch in der Spezifikationssprache BPMN dargestellt.
Produziert werden reale Produkte (Geduldspiele), die je nach Auftrag und Kundenwunsch unterschiedlich gestaltet sind. Dabei wird in der Lernfabrik, ausgehend vom Kundenauftrag bis zur Übergabe der Produkte, der komplette Geschäftsprozess abgebildet.
Abschließend erfolgt ein Ausblick mit den zukünftigen Perspektiven der Lernfabrik.

Inhaltsverzeichnis

1 Beschreibung der Schulen 270

2 Fundierung der Lernfabrik 272

2.1 Didaktische und methodische Anforderungen an das Konzept der Lernfabrik 272

2.2 Das Wahlpflichtmodulkonzept 272

2.3 Grundlagenschulung der Einzeltechnologien 273

3 Lernfabrik in der B2 275

3.1 Aufbau der Lernfabrik 275

3.2 Produkt der Lernfabrik 277

3.3 Geschäftsprozess 278

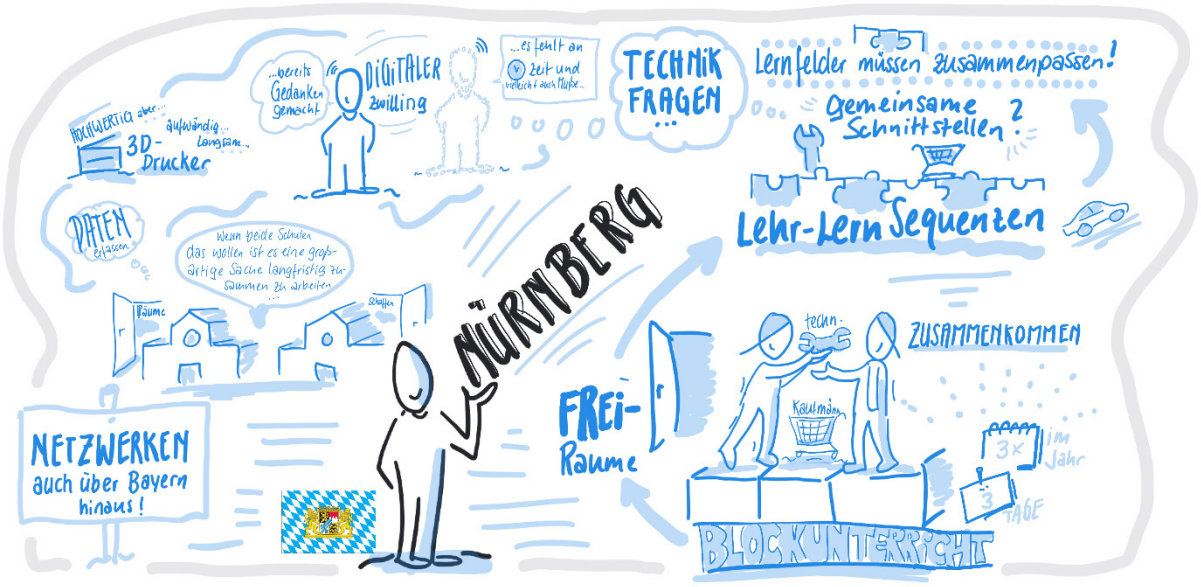
3.3.1 Kaufmännischer Bereich 281

3.3.2 Gewerblicher Bereich 282

4 Anlage der Kooperation und Kompetenzförderung 284

5 Perspektiven 286

Literaturverzeichnis 288



Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording des Austausches im virtuellen Raum „Nürnberg“

1 Beschreibung der Schulen

Unter dem Dach der beruflichen Schule Direktorat 2 der Stadt Nürnberg (B2) sind die Berufsschule 2 das Kompetenzzentrum für Fertigungstechnik mit Berufsfachschule für Fertigungstechnik und die Fachschule (RDF) für Maschinenbau-, Bau-, Mechatronik-, Informatik- und Elektrotechnik zusammengefasst.

Die „Industrie 4.0"-relevanten Ausbildungsberufe an der Berufsschule/Berufsfachschule der B2 sind Industriemechaniker/-innen, Fertigungsmechaniker/-innen, Werkzeugmechaniker, Technische Produktdesigner/-innen und Maschinen- und Anlagenführer/-innen.

Unsere Fachschule ist vom Standort der Berufsschule räumlich getrennt und besitzt keine eigene fertigungstechnische Werkstattausstattung. Auch bisher nutzen Klassen der Fachschule, v. a. in der CNC-Technik die Ausstattung der Berufsschule. Die Lernfabrik und das Roboterlabor werden von der Fachschule mitgenutzt und eignen sich hervorragend zur Umsetzung von Abschlussprojektaufgaben in den Bereichen: Vernetzte Anlagen, CNC-Fertigung und Robotik.

Didaktische Grundstruktur im Kontext von Industrie 4.0

Die gravierenden Veränderungen im wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Leben, die unter den Begriff „Industrie 4.0" zusammengefasst werden, haben für den beruflichen Bildungsbereich erhebliche Auswirkungen. An der Berufsschule 2 haben wir einen Modernisierungsansatz mit unseren Ausbildungsbetrieben entwickelt, der auf zwei Säulen fußt. Zum einen wird der Unterricht in den Industrie 4.0-affinen Lernfeldern neu konzipiert und mit zusätzlichen Inhalten, die sich aus den Auswirkungen der Veränderungen durch Industrie 4.0 ergeben, verknüpft, zum anderen eine von den Betrieben gewünschte Spezialisierung in einem Wahlpflichtprogramm umgesetzt.

An der Berufsschule 2 wird seit vielen Jahren sehr erfolgreich ein Modulkonzept umgesetzt, das als Kernelemente auf einer sequenziellen Reihung der Lernfelder und festen Teamstrukturen beruht. In der Berufsschule wird ausschließlich in der Form des Blockunterrichts beschult. Die Lernfabrik bietet für Modul- und Projektwochen zahlreiche Anknüpfungspunkte für Lehr-Lern-Arrangements aus dem umfassenden Themenbereich Industrie 4.0.

Beschreibung der Berufsschule 4

Die Berufliche Schule Direktorat 4 der Stadt Nürnberg (B4) ist eine Berufsschule für kaufmännisch-verwaltende Berufe. Im Schuljahr 2019/2020 wurden ca. 2.000 Schülerinnen und Schüler in den Berufen Kaufmann/-frau für Groß- und Außenhandel, Automobilkaufmann/-frau, Bankkaufmann/-frau, Fachangestellte/r für Markt- und Sozialforschung, Steuerfachangestellte/r, Kaufmann/-frau für Versicherungen und Finanzen, sowie Industriekaufmann/-frau ausgebildet. Dabei handelt es sich insgesamt um Berufe, die von der Digitalisierung stark oder sehr stark betroffen sind. Die B4 hat frühzeitig auf diesen Megatrend reagiert und sich dem Thema Digitalisierung aktiv zugewandt. Das Ziel, die Schülerinnen und Schüler auf „eine zunehmend digitalisierte Arbeitswelt vorzubereiten“ findet sich folglich auch im Leitbild der Schule wieder und ist integraler Bestandteil der Schulstrategie.

Im Berufsbereich Industrie werden im aktuellen Schuljahr ca. 200 Schülerinnen und Schüler in insgesamt 9 Fachklassen, verteilt über drei Jahrgangsstufen unterrichtet. Neben einigen wenigen großen Betrieben werden die Schülerinnen und Schüler zum überwiegenden Teil in kleinen und mittleren, teils hochspezialisierten Unternehmen ausgebildet. In den letzten Jahren ist der Anteil der Schülerinnen und Schüler aus kleinen und mittleren Unternehmen weiter gestiegen; bei einer insgesamt rückläufigen Schülerzahl.

Die durch Industrie 4.0 hervorgerufenen Veränderungen im betrieblichen Umfeld unserer Auszubildenden stellen den Berufsbereich Industrie vor Herausforderungen. Die fortschreitende Digitalisierung verändert das betriebliche Umfeld in gravierendem Maße: Neue Technologien wie Robotik oder 3D-Druck halten Einzug in die Fertigungen. Die interne und externe Zusammenarbeit wird zunehmend kollaborativ. Arbeiten werden vermehrt orts- und zeitunabhängig ausgeführt. Eine Produktion, die individuell nach Kundenwunsch gefertigte Produkte ermöglicht, erfordert eine verstärkte Zusammenarbeit über Abteilungsgrenzen hinweg in multiprofessionellen Teams.

Dadurch verändern sich Kompetenzanforderungen an die zukünftigen Mitarbeiter/innen. Die B4 möchte in diesem Setting weiterhin ein attraktiver Partner für die Unternehmen sein und den veränderten Bedingungen durch entsprechende Angebote gerecht werden. In Abstimmung mit unseren Ausbildungsbetrieben, entwickeln wir deshalb fortlaufend neue Angebote für unsere Schülerinnen und Schüler. So führen wir beispielsweise seit mehreren Jahren in allen Eingangsklassen des Berufsbereichs Industrie ein 3-tägiges Kooperationsprojekt mit der B2 durch, in dem insbesondere Inhalte aus dem Kontext Industrie 4.0. behandelt werden.

2 Fundierung der Lernfabrik

2.1 Didaktische und methodische Anforderungen an das Konzept der Lernfabrik

An der B2 sollte eine Lernfabrik entstehen, die zum einen die bestehenden Anlagen und didaktischen Konzepte mit einbezieht und zum anderen einen hohen Freiheitsgrad an der Ausgestaltung der Lehr-Lernarrangements zulässt. Im Einzelnen wurden folgende Anforderungen formuliert.

- Eine Auftragsbearbeitung wird komplett abgebildet.
- Die kaufmännischen und technischen Prozesse werden abgebildet.
- Bestehende Anlagen werden integriert.
- Die Konzeption lässt eine flexible Nutzung zu (Wahlpflichtmodule, versch. Projekte).
- Die Einzeltechnologien können getrennt geschult werden.
- Anlagenteile sind als digitale Zwillinge abbildbar, bzw. mit VR/AR integrierbar.
- Die Vernetzung findet auf einem niederschwelligen MES statt und für die komplexen Prozesse im ERP (SAP).

Grundsätzlich geht es bei unserer Umsetzung darum, den Schüler/innen die Digitalisierung der Arbeitswelt als Ganzes zu vermitteln: in ihrer technischen, wirtschaftlichen und sozialen Dimension. Deshalb werden auch Unterrichtseinheiten in den allgemeinbildenden Fächern (Deutsch, Sozialkunde, Religion/Ethik) konzipiert.

Darüber hinaus ist die Förderung der sozialen Kompetenzen (vor allem Kooperations- und Kommunikationsfähigkeit), wie bisher in unseren Sockeltrainings, ein fundamentaler Baustein unseres Ausbildungskonzepts.

2.2 Das Wahlpflichtmodulkonzept

An der B2 findet in der Regel die Beschulung in Blockunterricht statt. In der Jahrgangsstufe 12 bei den Industrie- und Werkzeugmechaniker/-innen wird in den letzten zwei Blockwochen der Klassenverband aufgelöst und die Schüler/-innen können aus einem Katalog von Wahlpflichtangeboten, nach Abstimmung mit ihren Ausbildungsbetrieben, auswählen.

Das Angebot der Wahlpflichtmodule richtet sich nach den Bedarfen der Ausbildungsbetriebe und den Wünschen und Angeboten von Schüler/-innen und den Lehrkräften.

Die Lernfabrik mit Roboterlabor bietet viele Möglichkeiten interessante Angebote und neue Ansätze auch berufsübergreifend im Bereich der Wahlpflichtmodule umzusetzen. Im Folgenden ist das Wahlpflichtprogramm vom letzten Schuljahr abgebildet.

Wahlpflichtmodule (12. Klasse) IM/WM/TPD im Schuljahr 2019/20
W1: SPS-Programmierung (FUP) von vernetzten Laufbändern
W2: Grundlagen der Proportionalhydraulik
W3: Wälzlagermontage (hydraulisch, thermisch, mechanisch)
W4: Netzwerktechnik (Topologien, Adressierung, Routing)
W5: Konstruktions- und Fertigungsprojekt mit Tech. Produktdesignern/-innen
W6: Arbeiten mit kollaborierenden Industrierobotern
W7-W8: Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten
W9: Förderkurs zur Wiederholung von Grundlagenwissen
W10: CAD/CAM für Fortgeschrittene (HSM Inventor)
W11: Vertiefung der Kenntnisse im Zeichnen / Konstruieren mit INVENTOR

Tabelle 1: Wahlpflichtmodule

2.3 Grundlagenschulung der Einzeltechnologien

Die sich hier bietenden Lehr-Lern-Arrangements sind meist von komplexer Natur und gut geeignet in Wahlpflichtmodulen (siehe oben) bearbeitet zu werden. Um den Komplexitätsgrad zu reduzieren war es uns wichtig, die Technologien (CNC-Technik, Robotik) auch einzeln beschulen zu können.

Ein wichtiges Unterrichtsprinzip, das wir an der B2 seit langem bearbeiten ist die Schülerselbsttätigkeit. Das zeigt sich z. B. in der CNC-Fertigung durch die Schulung an vier baugleichen Maschinen, die, nach der Planung und Simulation, von allen Schülerinnen und Schülern bedient werden. Auch in der Grundlagenbildung in der Robotik findet dieses Prinzip Anwendung. Da in der Lernfabrik für vier Gruppenarbeitsplätze mit Robotern der Arbeitsplatz nicht ausreichte, wurde die Grundlagenbeschulung zur Robotertechnik in das im Folgenden dargestellte Labor ausgelagert.

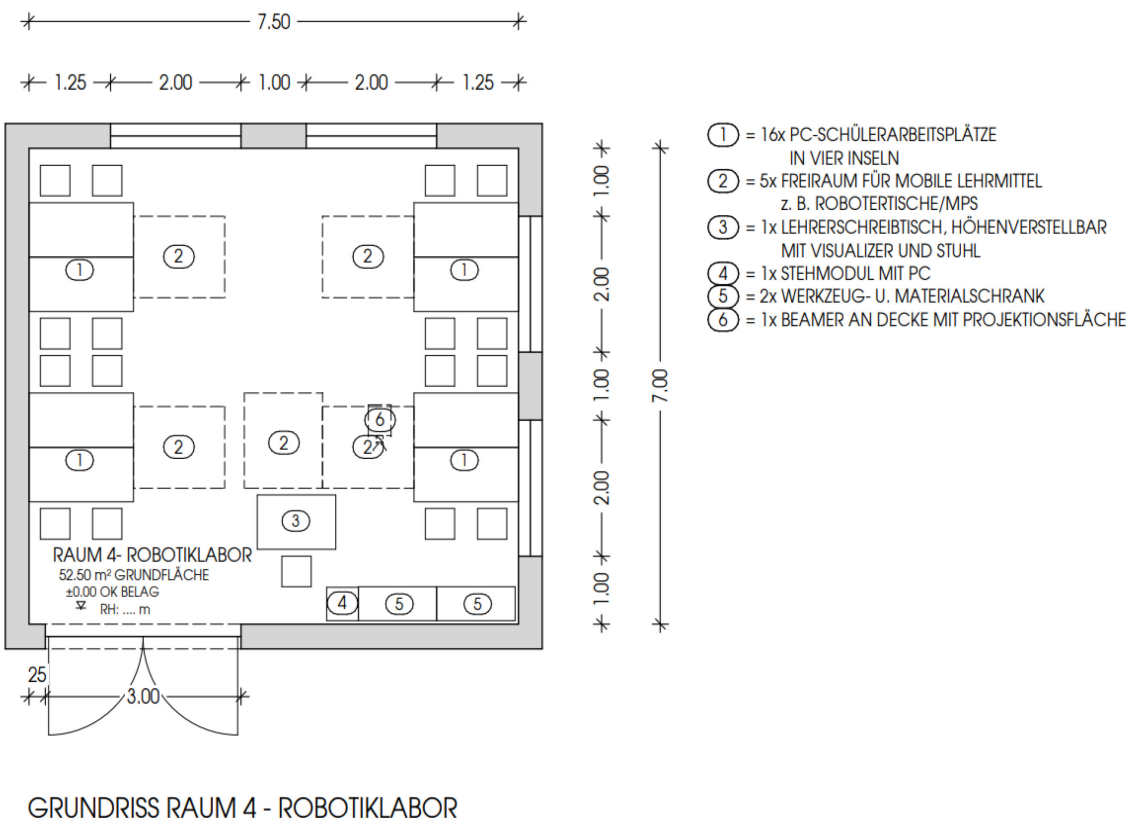


Abbildung 1: Entwurf Robotiklabor

Bauliche Umsetzung der Lernfabrik

Im Zentrum der Lernfabrik steht die CNC Fertigung. Diese besteht aus 4 CNC-Fräsmaschinen Pos. 1 (Bestand: Emco Mill 105) und einer CNC-Drehmaschine Pos. 2A (Neubeschaffung). Be- und Entladen werden die Maschinen mit kollaborierenden Robotern (Universal Robots UR 5). Alternativ kann in der Fertigung auch ein 3-D Drucker Pos. 21 (Bestand: ProJet MJP 2500) zum Einsatz kommen. Im Nebenraum ist neben der Lagerlogistik (Werkzeuge, Halbzeuge und Produkte) auch eine Messmaschine und ein 3-D Scanner (Bestand: Atos Core 200) für den Bereich Qualitätsmanagement untergebracht.

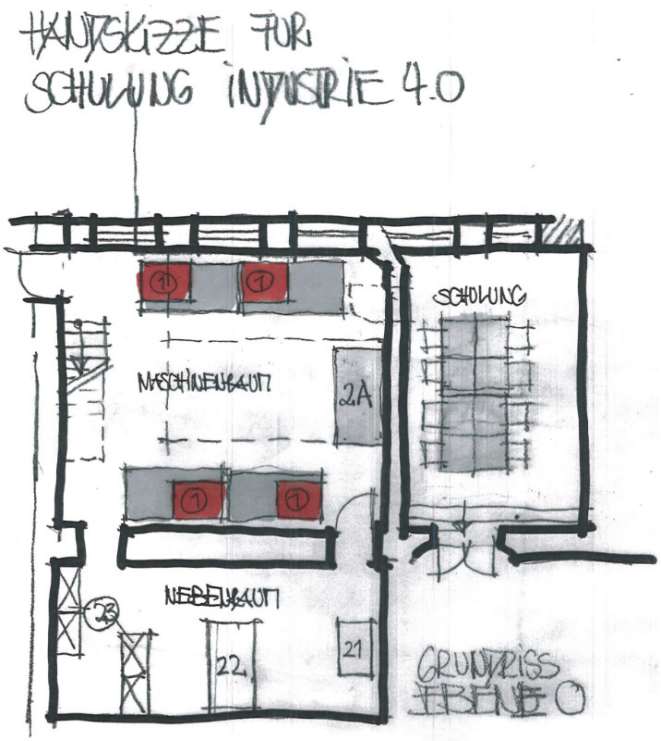


Abbildung 2: Planung Ebene 0

3 Lernfabrik in der B2

3.1 Aufbau der Lernfabrik

Die Idee der Lernfabrik ist es, einen gesamten Geschäftsprozess abzubilden, bzw. ihn zu simulieren. Aus diesem Grund gehört neben der Herstellung eines Produktes auch noch der Bereich vor und nach der Herstellung dazu. Deshalb befindet sich neben der vernetzten Fabrik an der B2 auch noch die berufliche Schule B4 mit ihren kaufmännischen Tätigkeiten im Geschäftsprozess. Die B4 ist nur rund 1 km weit entfernt von der B2 und somit schnell zu erreichen, was jedoch nicht unbedingt relevant ist. Denn gerade hier spielen Entfernungen keine Rolle, weil alles miteinander vernetzt ist. Somit kann theoretisch ein Produkt, vom Auftragseingang bis zum Zahlungseingang, bestellt, gefertigt und ausgeliefert werden, ohne dass die Mitarbeiter/-innen des Unternehmens miteinander sprechen. Dennoch wird die Aktion der Lernfabrik gemeinsam an der B2 stattfinden, denn Ziel ist es auch, dass die beiden Ausbildungsberufe miteinander und voneinander lernen.

Zwischen den verschiedenen Abteilungen, die im Kapitel 3.3 genauer betrachtet werden, wird über ein sogenanntes ERP-System kommuniziert. Dies steht für Enterprise-Resource-Planning und wurde von der Firma SAP entwickelt. Das ERP-System ist kompatibel mit zahlreichen Betriebssystemen und Programmiersprachen. Damit das ERP-System mit den produzierenden Maschinen auch kommunizieren kann, wird noch eine digitale Schnittstelle dazwischen benötigt. In dieser Betriebsleiterebene wird ein MES-System verwendet, welches den Kommunikationsstandard OPC UA nutzt.

Somit befinden sich alle Daten global im MES System, während die lokale Datenstruktur sich nur auf das Auslesen der Identifikation des Bauteiles mittels des RFID Chips beschränkt. Damit dient der RFID Chip nur zur Identifizierung des Produktes, alle Daten sind in der Cloud gespeichert.

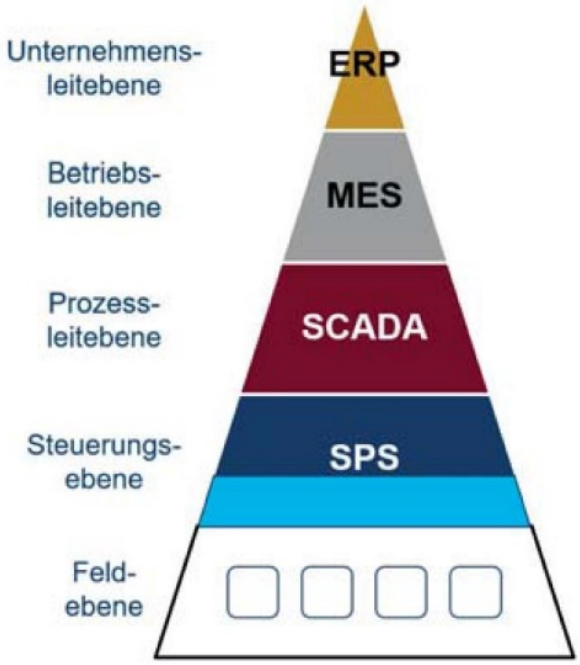


Abbildung 3: Automatisierungspyramide, modifiziert nach (Wilbers, 2017)

Nachdem nun alle Bereiche miteinander vernetzt sind, kommen wir zum Herzstück der Lernfabrik, der räumlichen und maschinellen Ausstattung an der B2. Beginnend mit den maschinellen Gegebenheiten, kann hier gesagt werden, dass sich erst einmal Gedanken gemacht wurden, welche Produkte hergestellt werden sollen und wie man den Anforderungen für Industrie 4.0 nachkommen kann. Außerdem wurde analysiert, welche derzeit zur Verfügung ste-

henden Maschinen direkt oder mittels Umrüstung in den Prozess der Lernfabrik mit eingebunden werden können. Bei der Anschaffung wurde auch intensiv in die Robotik investiert. Somit wurden zur fast kompletten Automatisierung des Prozesses 6-Achs Roboter zum Bestücken der Fräs- und Drehmaschine, sowie ein autonomer Transportroboter angeschafft.

3.2 Produkt der Lernfabrik

Das herzustellende Produkt, ein Geduldsspiel, wurde schon länger in der B2 gefertigt, dies erfolgte aber bisher ausschließlich auf eine mehr oder weniger traditionelle Art und Weise. Das heißt, es wurde nach dem klassischen Ablauf in einer Werkstatt hergestellt.

Das Geduldsspiel wird aus drei Bauteilen zusammen montiert. Als Grundkörper dient ein gefräster Aluminiumblock, welcher individuell mit einem Logo versehen werden kann, in der Zeichnung handelt es sich um das Logo der B2, siehe Abbildung 4. Abgeschlossen wird der Aluminiumblock von zwei Deckeln aus Polymethylmethacrylat, besser bekannt als Plexiglas. Hierbei kann der obere Deckel mit einem Namen versehen werden. Außerdem gehören zum Produkt auch noch zugekaufte Normteile wie die drei Stahlkugeln.

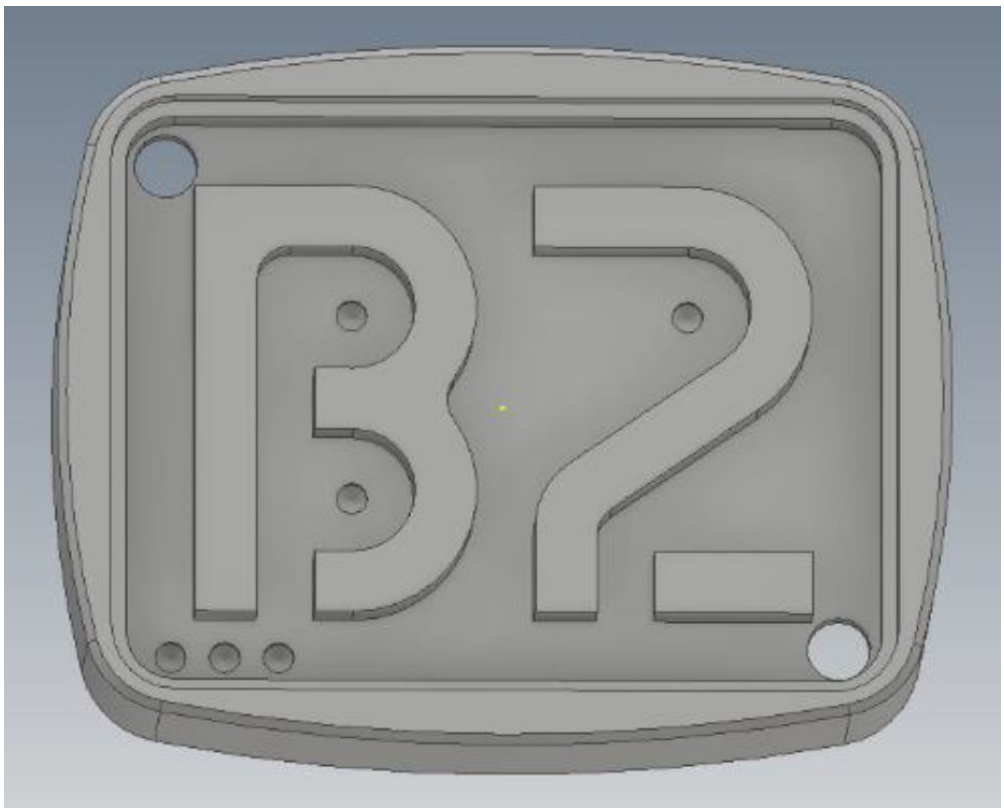


Abbildung 4: Geduldsspiel 3D

3.3 Geschäftsprozess

Da innerhalb der Lernfabrik nicht nur ein Produkt erstellt werden soll, sondern ein ganzer Geschäftsprozess abgebildet wird, ist die B2 eine Kooperation mit der beruflichen Schule B4 eingegangen. Hierbei übernimmt die B4 den kaufmännischen Part des Prozesses. Außerdem soll die Kooperation dazu dienen, Einblicke in den jeweils anderen Ausbildungsberuf zu bekommen. Hierzu werden in den nächsten beiden Unterkapiteln der kaufmännische und der gewerbliche Bereich anhand eines BPMN-Prozesses dargestellt, gemeinsame Schnittstellen aufgezeigt und der Ablauf erörtert. In der Abbildung 6 ist der Gesamtprozess mit allen Bereichen zu sehen. In der Abbildung 7 ist speziell der Fertigungsprozess dargestellt. Als Grundlage für die Ausarbeitung des Prozesses diente das vom ISB entworfene Modell Abbildung 5.

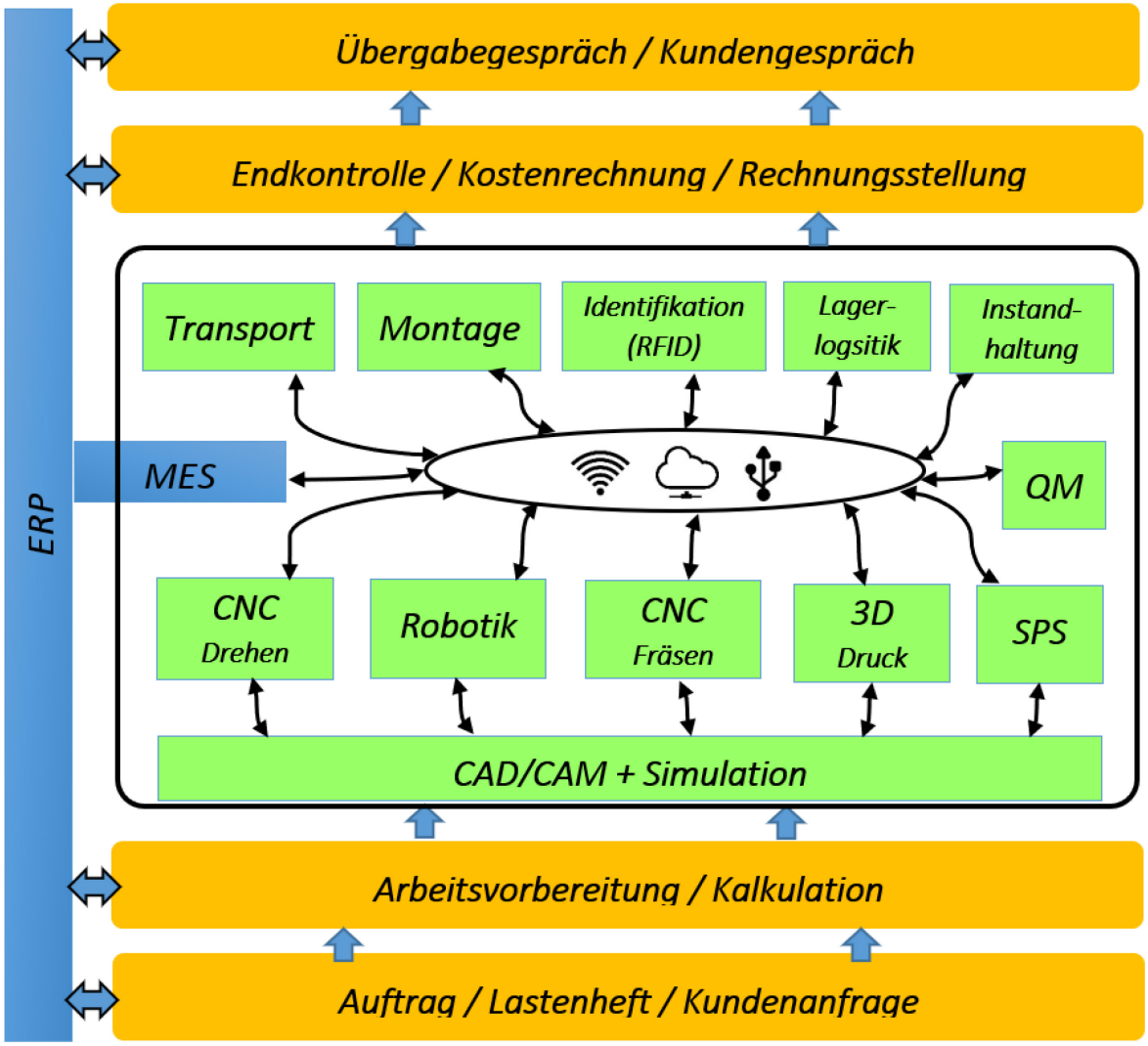


Abbildung 5: Modell Wirtschaft 4.0 Labors in der Fertigungstechnik (ISB-Bayern, 2018)

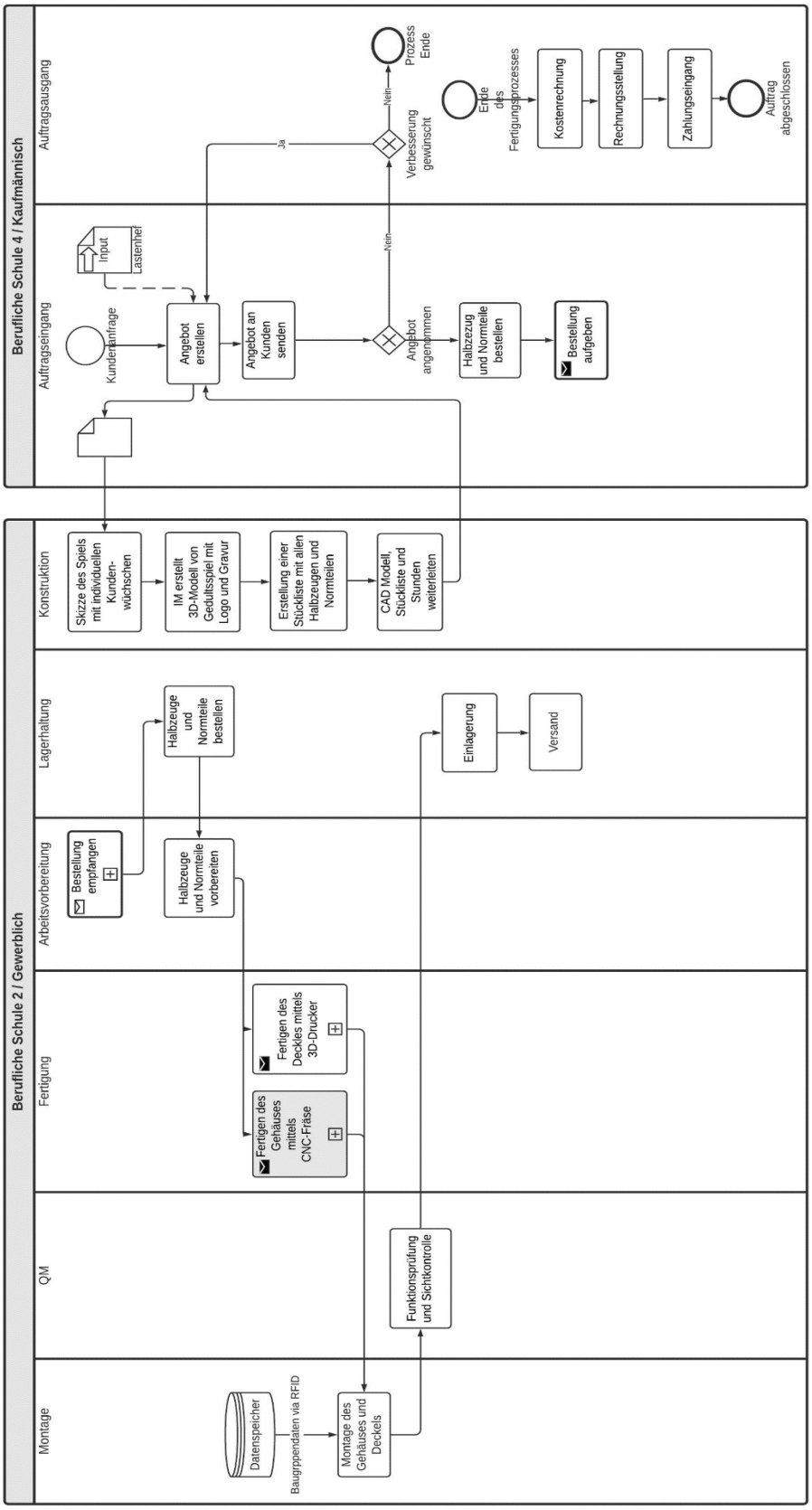


Abbildung 6: BPMN-Prozess / Gesamtansicht

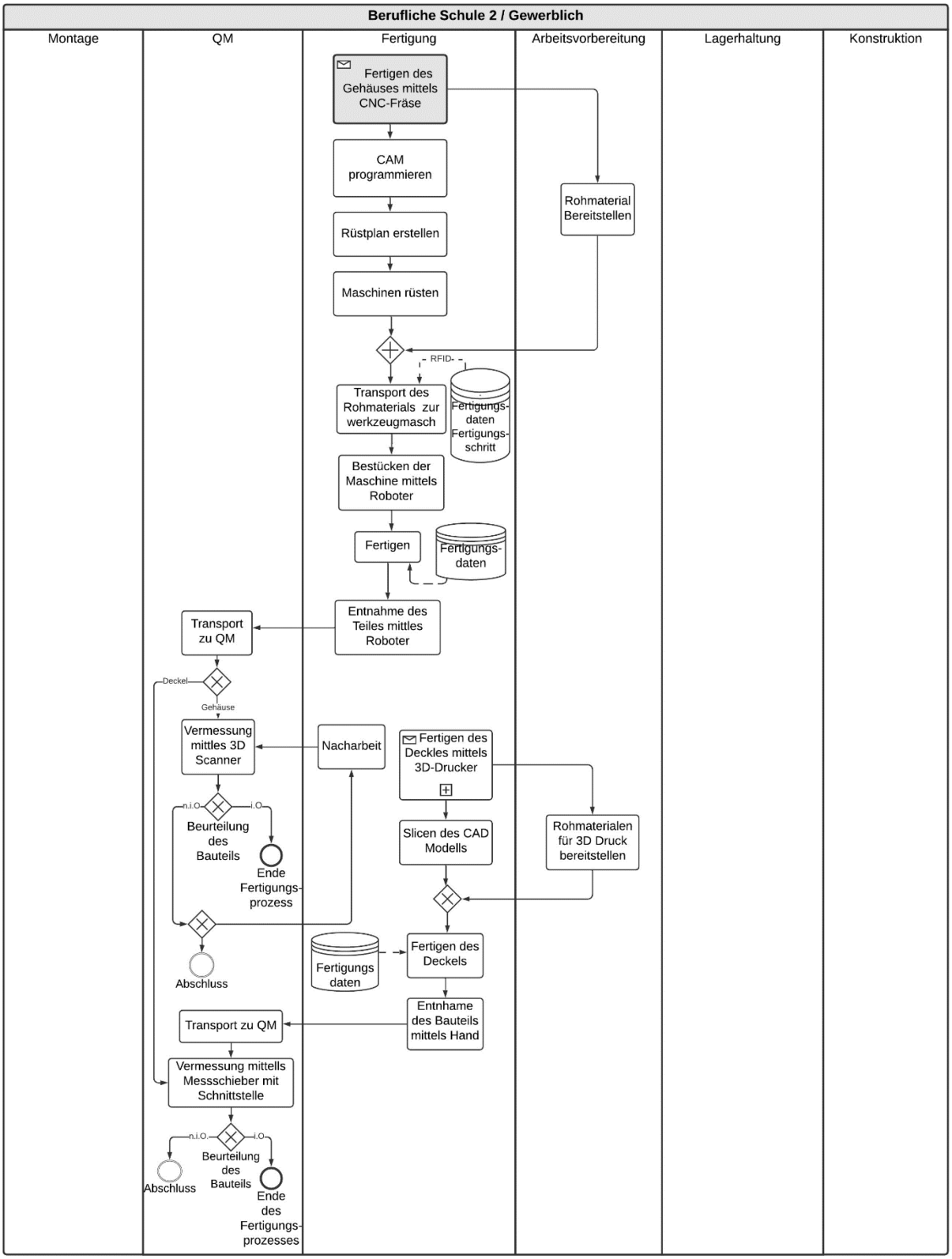


Abbildung 7: BPMN-Prozess / Fertigungsprozess

3.3.1 Kaufmännischer Bereich

Im Folgenden wird der Teil des Geschäftsprozesses, der an der B4 im kaufmännischen Bereich durchgeführt wird, dargestellt.

Innerhalb des BPMN-Prozesses bildet die Berufliche Schule B4 einen sogenannten eigenen Pool, mit den zwei Lanes Auftragseingang und Auftragsausgang. Diese Aufteilung der Lanes ist für die Industriemechaniker/-innen besonders verständlich, weil sie daran genau erkennen können, ob es sich um den Bereich vor oder nach der Fertigstellung handelt. Der Geschäftsprozess startet in der Lane Auftragseingang mit dem Startpunkt Kundenanfrage. Dazu wird im SAP-System ein Terminauftrag mit allen notwendigen Daten angelegt. In der Lernfabrik wird ein Grundprodukt produziert, das aber individuell gestaltet werden kann. Dies ist möglich, da nach dem Baukastenprinzip gefertigt wird. Es wurde bewusst die Komplexität niedrig gehalten, damit sich die Lernfabrik erst einmal einspielen kann.

Nachdem die Kundenanfrage eingegangen und das Lastenheft mit allen kundenspezifischen Wünschen erstellt ist, kann ein Angebot erstellt werden. Zu diesem Zeitpunkt kann der Kunde noch Skizzen oder Vorschläge für sein individuelles Logo einreichen und aus einem Spektrum von Schriftarten die Druckart für die Namen wählen. Danach werden die Auftragsdaten über die erste Schnittstelle zum Pool der Beruflichen Schule B2 übertragen. Es werden ein individuelles Logo angefertigt und Beispiele für den Namen erarbeitet. Der Kunde erhält mehrere 3D-Modelle zur Ansicht.

Im Anschluss erfolgt die Sendung des Angebotes an den Kunden. Nimmt der Kunde das Angebot an, können die entsprechenden Halbzeuge und Normteile bestellt werden. Lehnt der Kunde das Angebot ab, gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder er verzichtet auf ein verbessertes Angebot und der ganze Geschäftsprozess ist an dieser Stelle zu Ende. Oder das Angebot kann im Sinne des Kunden so nachgebessert werden, dass er es annimmt. Somit würde der Prozess zurück geführt zum Punkt „Angebot erstellen“.

Nachdem alle benötigten Teile bestellt worden sind, tritt nun der Punkt „Bestellung aufgeben“ in Kraft. Dies ist ~~nun~~ die nächste Schnittstelle zwischen den beiden Schulen. Die Bestellung findet im innergeschäftlichen Bereich statt und wird zwischen den beiden Pools, unter den Abteilungen, getätigt. Hierbei sind keine externen Akteure zugange. Nun befindet sich der Prozess fortlaufend im Pool der B2 und wird erst wieder mit dem Ereignis „Ende des Fertigungs-

prozesses“ auf die B4 überspringen. Natürlich kann es aber innerhalb des Fertigungsprozesses zu Komplikationen und Verzögerungen kommen. Wenn dies der Fall sein sollte, werden ad hoc Schnittstellen geschaffen, um die aufgetretenen Probleme gemeinsam zu lösen.

Das Ende des Fertigungsprozesses befindet sich in der Lane Auftragsausgang. Wenn dieser Punkt erreicht ist, muss das Produkt nur noch vom Kunden abgenommen und die Rechnung beglichen werden. Hierzu durchläuft es folgende Punkte:

Zunächst einmal erfolgt die Kostenrechnung, hier werden alle Kostenarten des Unternehmens erfasst und festgestellt, wofür diese Kosten angefallen sind. Dadurch werden wichtige Informationen zur Planung und Kontrolle von Kosten gewonnen, die wiederum in die betriebliche Entscheidungsfindung mit einfließen können. Somit kann die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens bzw. des Produkts ermittelt werden.

Bevor der Auftrag endgültig abgeschlossen ist, muss noch der Zahlungseingang des Kunden erfolgen. Dies setzt aber voraus, dass zuvor ein wichtiges Element ausgeführt wurde, nämlich die Erstellung einer Rechnung. Diese enthält neben dem Betrag und der Anschrift, auch alle geleisteten Dienstleistungen, um die Rechnung zu legitimieren. Alle getätigten Dienstleistungen können aus dem ERP-System entnommen werden. Somit wird nun deutlich, dass sich das ERP-System durch den ganzen Auftrag zieht. Natürlich enthält die Rechnung auch noch andere wirtschaftlich relevante Anteile, auf die aber an dieser Stelle nicht eingegangen werden soll.

3.3.2 Gewerblicher Bereich

Der gewerbliche Teil des BPMN Prozesses findet sich im Pool Berufliche Schule 2 / gewerblich, welcher die Kompetenzebene der Beruflichen Schule 2 darstellt. Der Pool ist in sechs Lanes unterteilt, welche die Prozesse anhand arbeitstechnischer Gesichtspunkte gliedern.

1. Auf gewerblicher Seite beginnt der Prozess mit den übermittelten Kundenwünschen des kaufmännischen Pools. Die Kundenwünsche des personalisierten Baukastenprinzips werden mittels des ERP Systems der Firma SAP an die Lane der Beruflichen Schule 2 übermittelt.
2. Diese Kundenwünsche werden nun in ein physisches Produkt umgesetzt. Hierfür wird in einem ersten Schritt ein 3D Modell des Produktes mittels der CAD Software Autodesk Inventor erstellt und modifiziert.

3. Nachdem die Baugruppen angepasst wurden, wird die Baugruppe zusammengefügt. Ebenso werden an dieser Stelle Konstruktionszeichnungen abgeleitet. Auch können nun Stücklisten und Halbzeuglisten erzeugt werden, welche mittels einer Schnittstelle in das ERP System übermittelt werden.
4. Nun erfolgt die Auftragserteilung ebenfalls über das ERP System. Ab jetzt werden alle Werkstücke mit einer Auftragsnummer verbucht, das ist die die Grundlage der Identifikation der Bauteile mittels RFID-Tag. Er dient den involvierten Maschinen zur Identifikation der Bauteile. Durchgeführte oder durchzuführende Prozessschritte werden also anhand der Identität von der MES Software gesteuert.
5. Der Fertigungsprozess beginnt immer auf die gleiche Art und Weise. Zuerst muss das 3D-Modell, beziehungsweise die Bearbeitung des Halbzeuges, in eine für die Maschine verständliche Sprache gebracht werden. Beim Fräsen dient für die Übersetzung der Anweisung in diesem Fall eine CAM Schnittstelle, welche es ermöglicht, anhand des 3D-Modelles einen maschinenlesbaren Code zu generieren. Hierfür wird die bereits in Autodesk Inventor integrierte CAM Schnittstelle genutzt. Dazu müssen zuerst die in der Maschine vorhandenen Werkzeuge samt Werkzeugdaten, wie Schnittgeschwindigkeit, Ausspannlänge u. a., angegeben werde. Nachdem die Frässtrategie und die Aufspannungen gewählt wurden, kann der Code generiert und simuliert werden. Der generierte Code wird dem MES System übermittelt und mit der ID des Bauteiles verknüpft. Parallel dazu können bereits Halbzeuge und Normteile vorbereitet werden. Die Halbzeuge werden von einem Lernenden anhand der im ERP System hinterlegten Stückliste ausgelagert.
6. Die Werkstückaufnahme wird im nächsten Schritt dem autonomen Fahrsystem übergeben und zur Fräsmaschine gebracht, wo das Halbzeug vom Robotergreifer aufgenommen und in der Maschine in der Spannvorrichtung aufgespannt wird. Hier fragt der Roboter wiederum die Identität des Werkstückes ab und übermittelt diese der CNC-Fräsmaschine, damit diese vom MES System das entsprechende Programm empfangen kann. Ist die Bearbeitung beendet, entnimmt der Roboter der Maschine das Werkstück und legt es in seine Aufnahme. Hierbei wird der Fertigungsstand des Teiles gespeichert.
7. Das Werkstück wird nun vom autonomen Fahrsystem zur Messmaschine gebracht, die sich in der Qualitätssicherung befindet. Die Identität des Werkstücks wird anhand der RFID Kennung festgestellt. Anschließend werden die ermittelten Qualitätsmerkmale an das MES übermittelt. Danach werden alle Bauteile zur Montagestation transportiert.

8. Sind an der Montagestation alle erforderlichen Teile angekommen, wird dort die Baugruppe gemäß einer bereits abgeleiteten Montagezeichnung zusammengesetzt. Dies erfolgt manuell. Die hierfür etwaig benötigten Normteile sind in der Montagestation vorrätig. Ist die Baugruppe montiert und wurde einer Sicht- und Funktionskontrolle unterzogen, wird dieser Prozess dem System an einem Rechner mitgeteilt und der Transportroboter kann das Teil dem Lager übergeben. Hier kann dieses wiederum mittels seiner RFID Kennung identifiziert und zugeordnet werden, und wird vom automatisierten Lager eingelagert.
9. Wird der Artikel im Versand benötigt, wird dieser wiederum automatisch auf Weisung des MES Systems ausgelagert, transportiert und so dem Versand zugeliefert.

4 Anlage der Kooperation und Kompetenzförderung

Die Kooperation ist grundsätzlich derart angelegt, dass Phasen des gemeinsamen Arbeitens abgelöst werden von Phasen, in denen die Schülerinnen und Schülern getrennt nach Ausbildungsberufen an ihren Schulen arbeiten. Dies spiegelt auch die betriebliche Praxis vieler Auszubildender wider, die in Unternehmen ausgebildet werden, deren Fertigungsstandort getrennt vom Verwaltungsstandort liegt. Zur Kommunikation und als Plattform für die gemeinsame Arbeit wird MS Teams eingesetzt.

Den Startpunkt des Projektes markiert eine eintägige gemeinsame Kennenlernveranstaltung aller Schülerinnen und Schüler an der Berufsschule 2. Hier wird nach einem ersten Kennenlernen die Einteilung der Gruppen vorgenommen und der Arbeitsauftrag, sowie die grundsätzliche Anlage des Projektes vorgestellt. Um von Beginn an ein gegenseitiges Verständnis füreinander aufzubauen, stellen die Auszubildenden verschiedene typische Einsatzgebiete Ihres Ausbildungsberufes vor - die Industriekaufleute beispielsweise betriebswirtschaftliche Prozesse, wie Beschaffung und Absatz, die Industriemechaniker/-innen beispielsweise typische Fertigungsverfahren in der Ausbildungswerkstatt.

Zur Durchführung des Projektauftrages arbeiten die Schülerinnen und Schüler in gemischten Teams aus Industriekaufleuten und Industriemechaniker/-innen von insgesamt 10-12 Schülerinnen und Schülern. Das bedeutet, dass in Abhängigkeit von den Klassenstärken insgesamt

4 oder 5 solcher Projektgruppen gebildet werden. Die Organisation und Aufgabenverteilung innerhalb der Gruppen obliegen der Gruppe selbst, wobei die Aufgabenstellung bewusst so angelegt ist, dass eine Bearbeitung durch gemischte Teams am erfolgversprechendsten ist. Beispielsweise dann, wenn ein/e Kaufmann/frau und ein Industriemechaniker/in gemeinsam mit dem Kunden den Auftrag und das gewünschte Produkt und dessen konkrete Ausgestaltung besprechen. Dadurch kann ein optimal auf die Bedürfnisse des Kunden abgestimmtes Angebot erstellt werden. Derzeit handelt es sich bei den Produkten um nach Kundenwunsch gefertigte Spielzeugautos (Fischertechnik), die in mehreren Spielrunden gebaut werden. Die Organisation und Durchführung der Produktion der Autos und die Optimierung des Fertigungsprozesses sind dabei wesentliche Aufgabenstellungen. Zukünftig wird das Produkt Fischertechnik-Auto abgelöst durch das beschriebene reale Produkt Geduldsspiel. Konkret könnte beispielsweise der Förderverein der Schule der Kunde sein, der als Geschenk für Schülerinnen und Schüler, die einen Abschluss mit sehr guten Ergebnissen erzielt haben, Geduldsspiele mit einer Glückwunsch-Gravur beziehen möchte. Zur Kundengewinnung wird neben dem Preis ein ansprechendes Design ausschlaggebend sein. Es kann dadurch leichter ein, einerseits technisch gut realisierbares und gleichzeitig den Preisvorstellungen des Kunden entsprechendes Produkt designed und angeboten werden. Gleichzeitig erfahren Industriekaufleute technische Restriktionen und Industriemechaniker/innen kaufmännische, wie beispielsweise Grenzen in der Produktion oder ausufernde Kosten. Dadurch soll ein gegenseitiges Verständnis für die verschiedenen Funktionsbereiche geschaffen werden.

Grundsätzlich verfügen die Projektgruppen über große Freiheitsgrade hinsichtlich der Organisation und Durchführung des Projektauftrages. Es werden nur dann Rollen und Aufgabenpakete seitens der Lehrkräfte vorgeschlagen, wenn es die Gruppe nicht selbstständig schafft, sich zu organisieren. Diese Vorgehensweise dient dazu, dass sich die Teammitglieder zunächst über die Gesamtaufgabe verständigen und diese auf Teilaufgaben herunterbrechen. Die Aufgabenpakete gilt es dann, einzelnen oder mehreren Gruppenmitgliedern zuzuordnen.

Phasen in den die Gruppen für sich arbeiten werden immer wieder abgelöst durch Plenumsphasen, an denen alle Projektgruppen teilnehmen. In Kurzpräsentationen wird das bisherige Vorgehen erläutert und ein Zwischenfazit gegeben. Diese Phasen dienen dazu die eigene Vorgehensweise zu überprüfen, zu reflektieren und gegebenenfalls anpassen.

In der nachfolgenden Tabelle sind Kompetenzen aufgeführt, die in der Lernfabrik an der B2 in Nürnberg erlangt werden.

Fachkompetenzen	
Faktenwissen:	Digitale Systeme, wie ERP & MES
	Einführung in die Lagerhaltung
	Kaufmännische Prozesse kennenlernen
	Identifikation von Baugruppen via RFID
Konzeptwissen:	Automatisierungspyramide
	Vernetzung der Abteilungen
Fertigkeiten:	Kenntnisse zur Robotertechnik vertiefen
	Kommunikation via ERP-System
Personale Kompetenzen	
Sozialkompetenzen:	Digitale Kommunikation
	Arbeiten mit Schüler/-innen aus anderen Berufsfeldern
	Förderung der Teamarbeit
Selbstständigkeit:	Entwicklung von Selbstreflektion
	Eigenständiges Handeln
Dimensionsübergreifende Kompetenzen	
Lernkompetenz:	Organisation mittels Selbstlernmaterial
	Kritisches Denken weiterentwickeln
	Recherchieren von Informationen
Sprachliche Kompetenz:	Förderung von Lernenden mit sprachlichen Defiziten
	Förderung berufsübergreifender Fachsprache
Digitalkompetenz:	Verwalten von Daten und Informationen
	Intelligenten und kreativen Einsatz von digitaler Technik
	Anwendung der digitalen Kommunikation

Tabelle 2: Kompetenzförderung der Lernfabrik

5 Perspektiven

Die Lernfabrik bietet Ansätze für eine Vielzahl verschiedenster Lehr-Lern-Arrangements. Durch die bewusst flexibel gestaltete Konzeption der Anlage ergeben sich große Gestaltungsspielräume bei der Realisierung von Lernangeboten, sowie der Integration neuer Technologien in die bestehende Anlage. Kürzer angelegte Projekte und Unterweisungen sind ebenso durchführbar, wie längerfristig oder dauerhaft angelegte, einer Übungsfirma vergleichbare Lernarrangements. Die Produkte, die gefertigt werden können, sind, wie beschrieben, Geduldspiele (Labyrinthe) oder Steckspiele (Solitär).

Neben der Fertigung von Standardprodukten in Serie, lassen sich in der Lernfabrik aber auch speziell auf Kundenwünsche angepasste Produkte herstellen. Dadurch lassen sich auch komplexere Lehr-Lern- Arrangements denken, wenn beispielsweise individuell nach den Bedürfnissen der Kunden designte Spiele gefertigt und vermarktet werden sollen. Der Komplexitätsgrad in einem solchen vernetzten Prozessablauf, steigt enorm, da die zeitliche Reihenfolge in

der gearbeitet wird, berücksichtigt werden muss und Rückkopplungsschleifen in den kaufmännischen Bereich erfolgen müssen.

Als konkrete Umsetzungsbeispiele sind die beschriebene sukzessive inhaltliche Vertiefung des seit mehreren Jahren durchgeführten Kooperationsprojektes „B24-Cars“ geplant. Dieses ist bereits jetzt ein integraler Bestandteil des Fachunterrichts an der B4 und fester Bestandteil des Modulangebots an der B2. Sämtliche Schülerinnen und Schüler des Berufsbereichs Industrie durchlaufen dieses in der 10. Jahrgangsstufe angesiedelte 3-tägige Projekt. Mit der Anbindung der Lernfabrik an die B4 mittels SAP ergeben sich für dieses Kooperationsprojekt in Zukunft völlig neue Perspektiven, wenn die Schülerinnen und Schüler einen vollständigen Fertigungsprozess nachvollziehen können. Die Vernetzung über SAP, aber auch die Nutzung der an beiden Schulen eingeführten Software Microsoft Office 365 ermöglicht eine zeit- und ortsunabhängige vertiefte Zusammenarbeit zwischen kaufmännischen und gewerblichen Auszubildenden, ähnlich wie sie sie in Ihren Unternehmen erleben. Dadurch lassen sich neben Fachkompetenzen auch die von Unternehmen verstärkt geforderten Personalen Kompetenzen, beispielsweise Kommunikationsfähigkeit oder Teamfähigkeit fördern. Aber auch größer angelegte Projekte zur Weiterqualifizierung oder im Rahmen des Projektunterrichts sind durch die geschaffenen technischen Voraussetzungen möglich. Auch im Rahmen der Technikerausbildung kann die Fabrik genutzt werden. Z. B. wenn für den Erwerb der Ausbildereignung Praxisanleitungen durchgeführt werden.

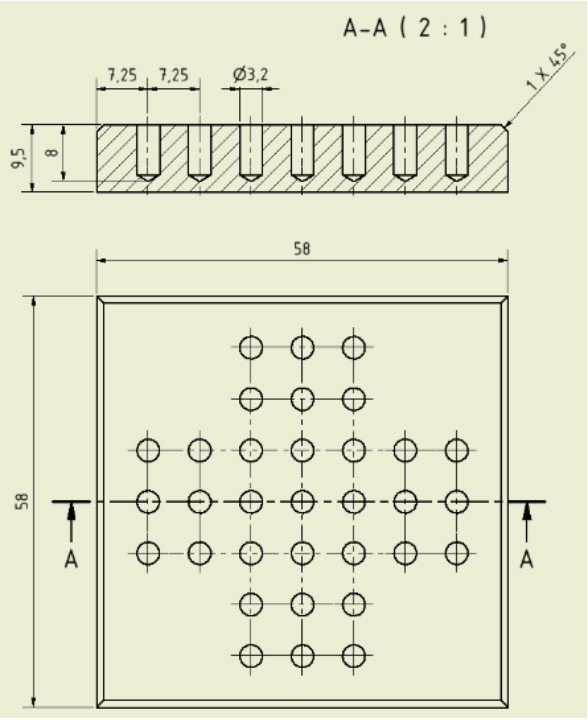


Abbildung 8: Steckspiel

Literaturverzeichnis

ISB (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München). (2018). Wirtschaft 4.0 an beruflichen Schulen. München: ISB.

Wilbers, K. (Hrsg.). (2017). Industrie 4.0. Herausforderungen für die kaufmännische Bildung. Texte zur Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung. Band 19. Nürnberg: epubli.

Stefan Sayk

Das „Smart Factory Model“ in Osnabrück

Industriekaufleute und Mechatroniker*innen arbeiten an einer gemeinsamen Lernfabrik und erleben so vernetzte Unternehmensprozesse der Industrie 4.0 im eigenen Unterricht. Wie dieser smarte Produktionsprozess von der Bestellung entlang der Produktion bis hin zur Auslieferung aussieht, welche technischen Voraussetzungen erfüllt werden müssen und wie ein Unterricht mit unterschiedlichen Berufsgruppen gelingen kann, soll dieser Artikel aufzeigen.

Inhaltsverzeichnis

1 Die Schulen 292

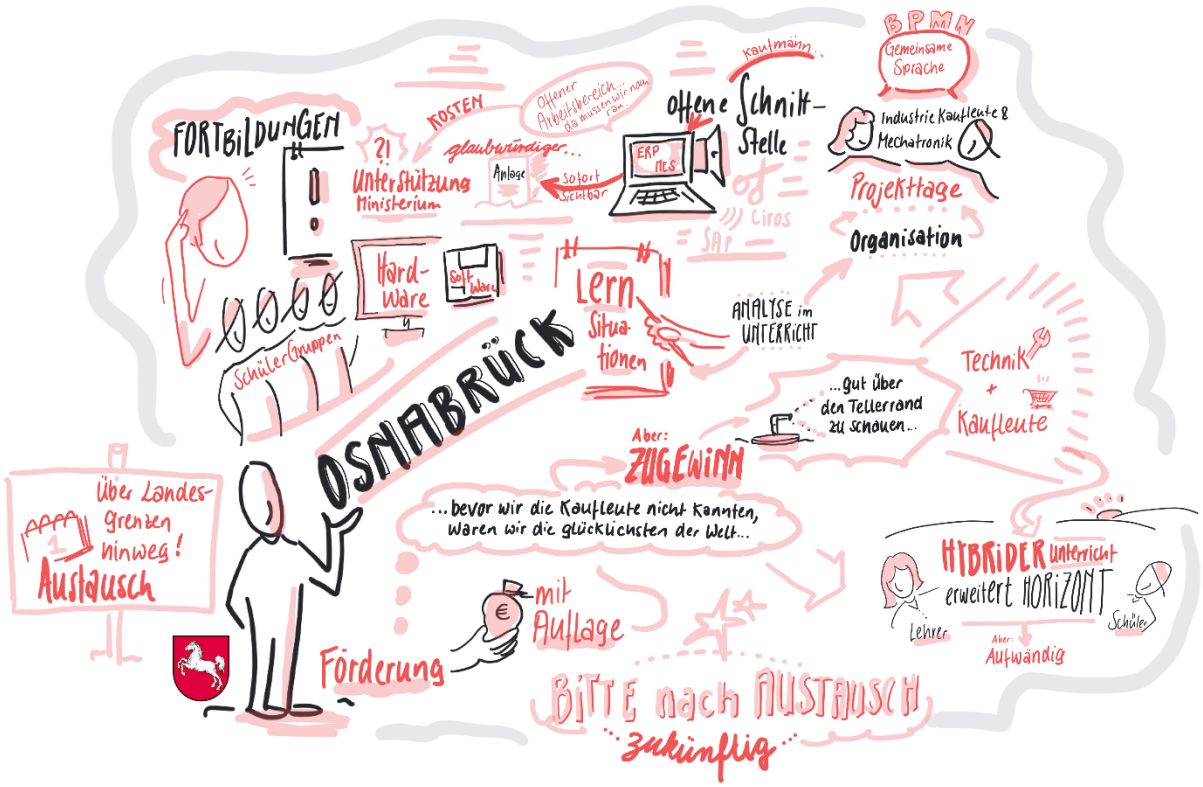
2 Das Konzept: „Smart Factory Model“ 293

3 Ein mögliches Prozessmodell: Die Produktion von Konferenztischen 294

4 Berufsübergreifender Unterricht 296

5 Beispiel Projekttage 299

6 Perspektiven 301



Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording des Austausches im virtuellen Raum „Osnabrück“

1 Die Schulen

Im Oktober 2018 startete in Niedersachen ein Projektvorhaben an 23 Schulstandorten. Je eine Smart Factory zum Thema „Digitalisierung der Arbeitswelt“, mit dem Ziel lernortübergreifende Kooperationen zwischen Industrie 4.0 und Wirtschaft 4.0 wurde gefördert. Um in Osnabrück in den Genuss der Förderung zu kommen, kooperieren zwei Berufsbildende Schulen: Die BBS am



Abbildung 1: Verknüpfung von kaufmännischer und gewerblich technischer Berufsbildung im Bereich Industrie 4.0

Schölerberg mit dem Schwerpunkt Wirtschaft und Verwaltung und die BBS an der Brinkstraße mit Schüler*innen aus dem gewerblich technischen Bereich. Beide Schulen liegen nur 2km weit entfernt in Osnabrück, es sind jedoch eigenständige Schulen mit unterschiedlichen Kollegien, anderen Stundenplänen und Pausenzeiten. Auch wenn die Zusammenarbeit in diesem Projekt hervorragend funktioniert, sind das Bedingungen, die durchaus einige zusätzliche organisatorische Herausforderungen an den übergreifenden Unterricht stellen.

2 Das Konzept: „Smart Factory Model“

Die technischen Voraussetzungen für einen Unterricht im Bereich Industrie 4.0 bildet eine Lernfabrik, die aus sechs bis zwölf Modellen, also Maschinen, die zu smarten Produktionslinien aufgebaut werden können, besteht.



Abbildung 2: Ein Modul des Smart Factory Modells

Jedes Modell ist mit 6.000 Euro Anschaffungskosten verhältnismäßig günstig, was eine großflächige Förderung in Niedersachsen erlaubt hat. 23 Schulen kamen in den Genuss der Förderung, die nun mit 200 baugleichen Smart Factory Modellen ausgestattet wurden.

Auch wenn es sich bei den Modellen um eine Mischung aus realer und virtueller Automatisierungstechnik handelt, kommen ausschließlich Industriekomponenten zum Einsatz. Das Zusammenspiel aus realen und simulierten Prozessen in der Fabrik ermöglicht eine sehr flexible Anpassung an unterschiedlichste Fertigungsprozesse und Produkte, verlangt den Schüler*innen aber auch einen gewissen Abstraktionsgrad ab.

3 Ein mögliches Prozessmodell: Die Produktion von Konferenztischen

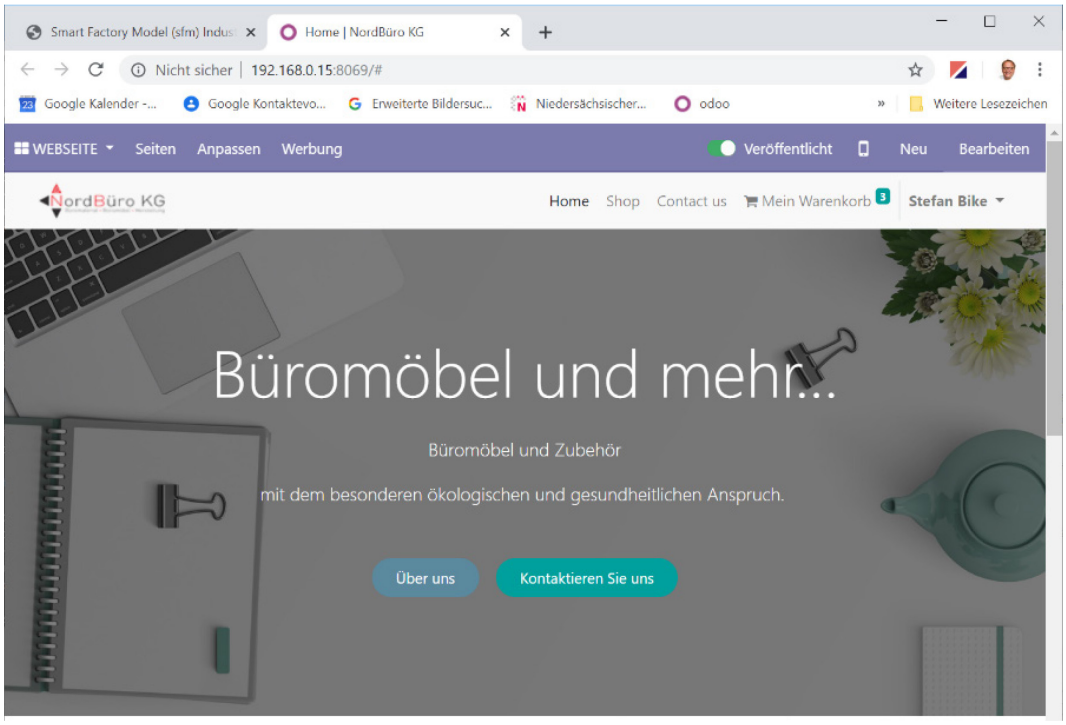


Abbildung 3: Webshop der Nordbüro KG

In dem Webshop der Nord Büro KG können Kunden einen Konferenztisch in unterschiedlichen Varianten bestellen. Sie haben die Wahl zwischen unterschiedlichen Tischplatten und Tischbeinen. Der Webshop ist als Modul einer ERP Software (odoo) realisiert, so dass die Aufträge mit allen benötigten Informationen im ERP vorliegen. Über eine bestehende Schnittstelle werden die Daten aus dem ERP System an ein MES (sfmMES) weitergegeben. Bei beiden Systemen handelt es sich um freie Open Source Lösungen.

Damit die Smart Factory, bestehend aus vier Modellen, nun vollautomatisch kundenspezifische Konferenztische produzieren kann, greifen die Maschinensteuerungen (SPS) auf die Daten des MES zu.

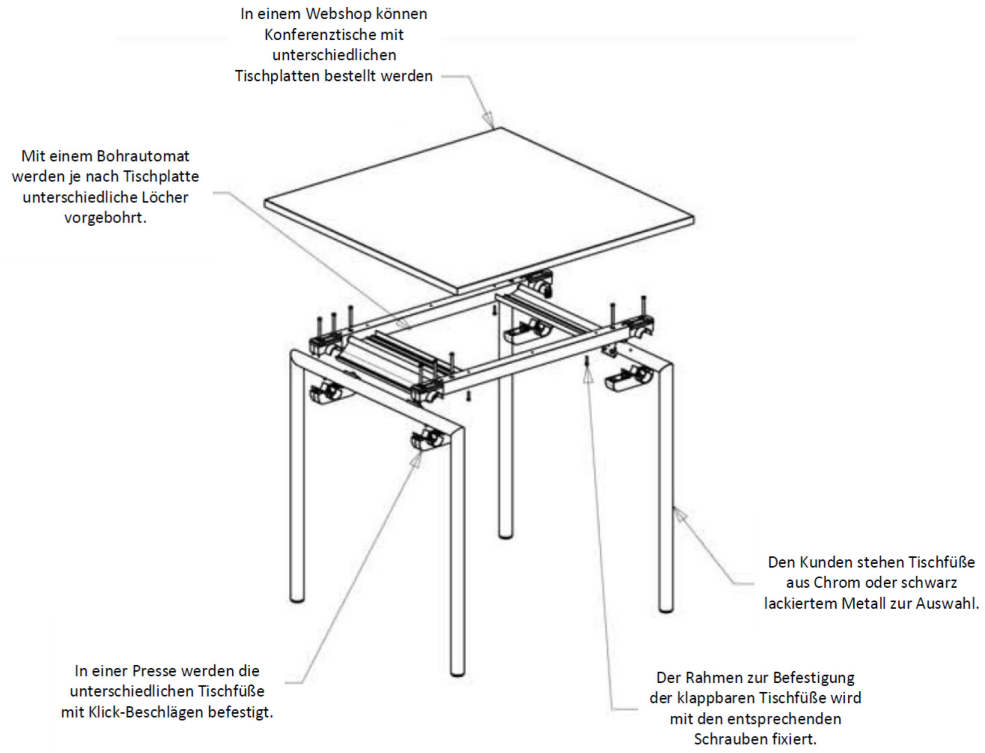


Abbildung 4: Explosionszeichnung des Konferenztisches

Die Produktionslinie mit den vier Maschinen besteht aus einem Lager, einem Bohrautomaten, einem Schraubautomaten und einer Presse. Damit das Produkt (hier der Tisch) von Maschine zu Maschine weitergegeben werden kann, werden die Module ringförmig zu einer Produktionslinie zusammengestellt.

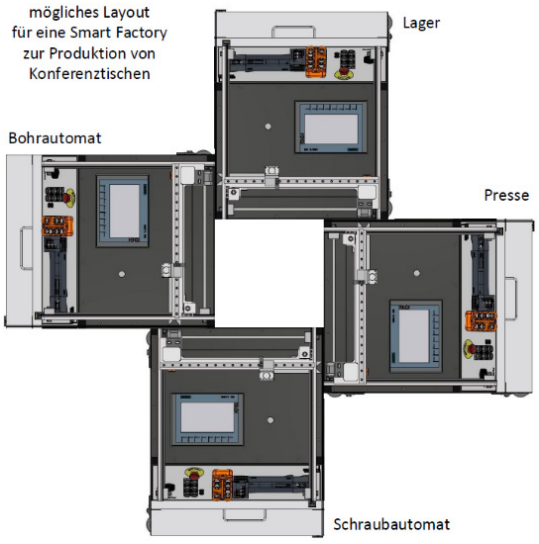


Abbildung 5: Ringförmiger Aufbau der smarten Produktionslinie.

So kann nach abschließender Fertigung der Konferenztisch aus der Presse direkt an das Lager weitergegeben werden, wo er bis zur Auslieferung wieder eingelagert wird.

Aus kaufmännischer Sicht bietet das Prozessmodell von der Bestellung bis hin zur Abrechnung alle Möglichkeiten, den gesamten Absatzprozess im Unterricht zu durchleuchten. Dazu zählt auch der Bereich der Fertigung, hier besteht jetzt z. B. die Möglichkeit die verschiedenen Varianten der Erzeugnisstrukturen für den Konferenztisch zu analysieren.

4 Berufsübergreifender Unterricht

Die Vernetzung der Unternehmen, zu smarten Fabriken in der Industrie 4.0, bedingt eine noch engere Zusammenarbeit zwischen den unterschiedlichen Abteilungen und Berufsgruppen in diesen Firmen. Durch die direkte Verbindung zwischen den ERP Systemen und den Maschinen in der Produktion, kann es vorkommen, dass Mechatroniker*innen bei der Fehlersuche an sillstehenden Anlagen mit Kollegen*innen aus den unterschiedlichsten Abteilungen zusammenarbeiten müssen. Die Störung einer Maschine kann z. B. durch eine unzureichende Konfiguration im Verkauf zurückzuführen sein. Um die Auszubildenden auf diese Herausforderungen vorzubereiten, ist ein übergreifender Berufsschulunterricht notwendig, der die Abhängigkeiten einer Industrie 4.0 Fertigung verdeutlicht. Dabei müssen die Schüler*innen nicht im Detail alle Prozesse einer Smart Factory verstehen, sondern vielmehr über systemisches, prozessorientiertes Denken verfügen, dass einen Gesamtüberblick ermöglicht.

Zudem müssen im Unterricht, wie auch in den Firmen, Grenzen zwischen Berufsbildern überwunden werden. Abteilungen, die zuvor selten Berührungspunkte hatten arbeiten nun eng zusammen. Dazu gehört die gegenseitige Wertschätzung ebenso wie eine gemeinsame Sprache. Während Kaufleute eher EPKs zur Modellierung von Geschäftsprozessen verwenden, wird in den gewerblich technischen Berufen die Planungssprache GRAFCET zur Beschreibung von Produktionsprozessen verwendet. Zur Vorbeugung von Missverständnissen sollte hier eine einheitliche, gemeinsame Sprache verwendet werden. Sehr gute Erfahrungen haben wir in Osnabrück mit BPMN (siehe Exkurs) gemacht.

Exkurs: Prozessmodellierung mit BPMN (Business Process Model and Notation)

BPMN[1] als Modellierungssprache

Mit sogenannten **Swimlanes** (rechteckige Bereiche, die sich über das gesamte Dokument waagerecht erstecken) werden die unterschiedlichen Systeme abgegrenzt. Innerhalb der Systeme werden nun von links nach rechts **Activities** (Aufgaben eines Geschäftsprozesses) abgebildet. Mit einem **Coin** (Münze) kann nun der gesamte Prozess Schritt für Schritt durchlaufen werden, in der er auf dem Blatt von links nach rechts verschoben wird. Gestartet und beendet wird ein Prozess immer mit einem **Event** (kreisförmiges Symbol). Ein Vorteil gegen über anderen Planungssprachen ist die Abgrenzung mehrerer an dem Prozess beteiligten Systeme bzw. Abteilungen und die Dokumentation der **Schnittstellen** (gestrichelte Pfeile).

Prozessmodelle zum „Smart Factory Model“

Während das obere BPMN-Modell (Abbildung 6) einen Überblick über die gesamte Produktionslinie gibt, wird im unteren BPMN-Modell (Abbildung 7) der Prozess am Bohrautomat detaillierter beschrieben. Nachdem das Werkstück in der Maschine (Bohrautomat) eingetroffen ist, wird es über den RFID Tag identifiziert. Jetzt fragt die Maschine beim MES an, ob etwas für dieses Werkstück zu tun ist. Ist das nicht der Fall wird das Werkstück einfach an die nächste Maschine weitergegeben. Soll im nächsten Produktionsschritt eine Bohrung vorgenommen werden, informiert das MES den Bohrautomaten und gibt abhängig von der bestellten Tischplatte die Bohrtiefe vor. Der Bohrautomat meldet die Bearbeitung beim MES an, bohrt in der entsprechenden Tiefe und meldet an Bearbeitungsschritt beim MES als erfolgreich beendet. Jetzt wird das Werkstück an die nächste Maschine weitergereicht und der Prozess ist für den Bohrautomaten beendet.

[1] siehe auch http://www.bpmn.org/

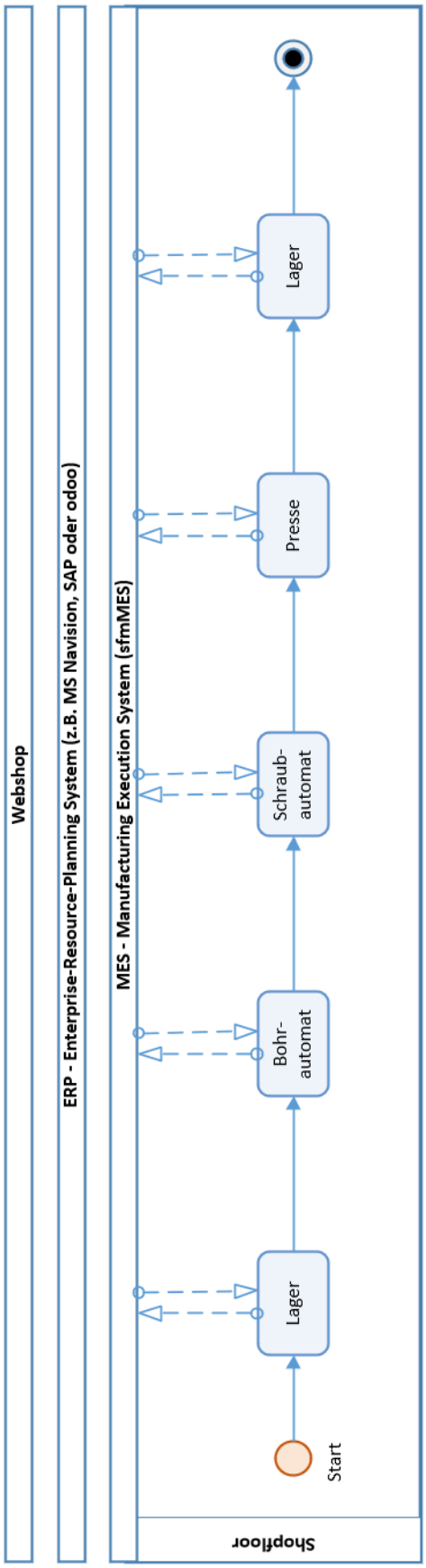


Abbildung 6: Prozessdarstellung der gesamten Produktionslinie

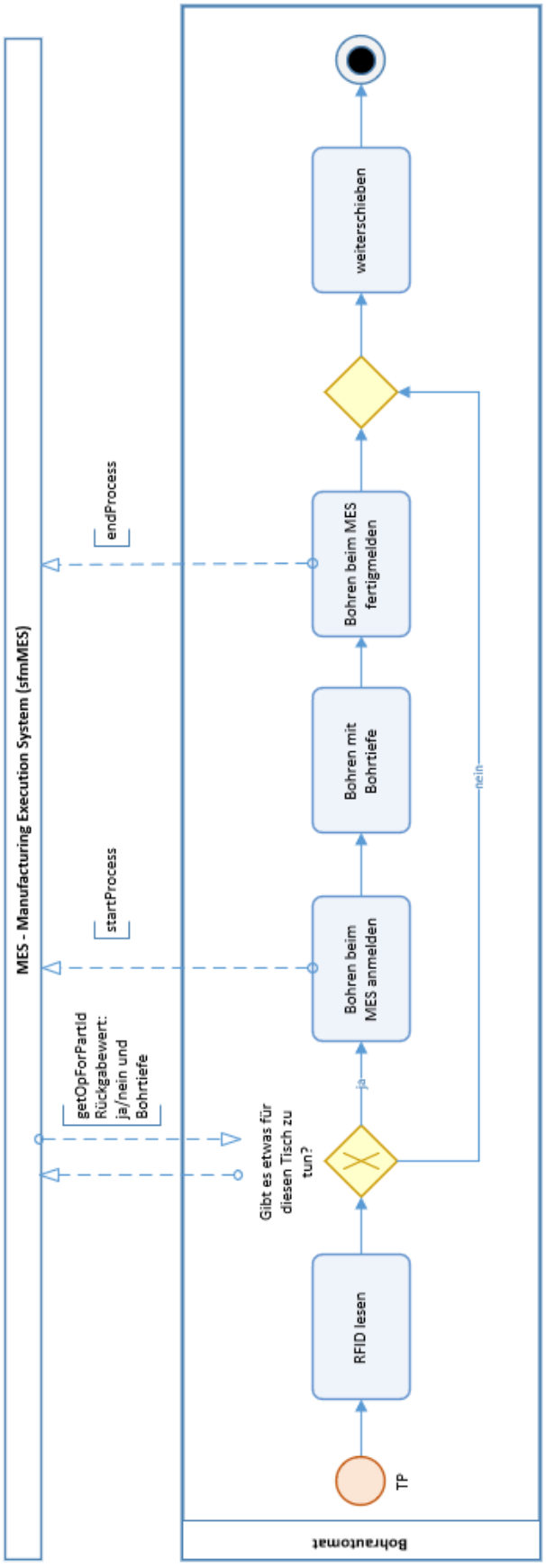


Abbildung 7: Prozessdarstellung am Bohrautomat

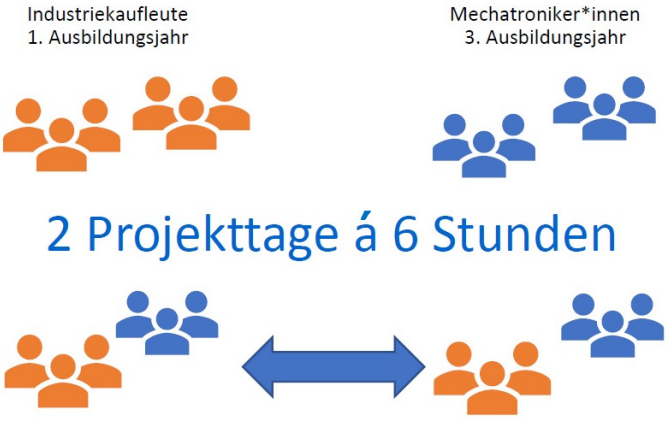
Auch, wenn diese Form der Dokumentation von Prozessen (noch) nicht in den IHK Prüfungen abgefragt wird, gibt es eine Reihe von Vorteilen, die den Einsatz im Unterricht rechtfertigen:

- Oft kennen beide Berufsgruppen diese Sprache noch nicht, so dass der Lernzuwachs in dem gemeinsamen Unterricht gleich ist.
- Die Sprache ist schnell zu erlernen, genormt und einheitlich.
- Mit dem Planungswerkzeug können Systemgrenzen und Kommunikationswege gut dargestellt werden.
- BPMN hat sich in dem noch jungen Bereich der Industrie 4.0 in vielen Firmen schon als Quasi-Standard etabliert.
- Zudem fördert die gemeinsame Sprache den Zusammenhalt in der heterogenen Lerngruppe.

5 Beispiel Projekttage

Die ersten Erfahrungen mit einem übergreifenden Unterricht in kaufmännischen und gewerblich technischen Berufen wurden in Osnabrück in Form von zwei Projekttagen im Schuljahr gesammelt. Beteiligt waren das erste Ausbildungsjahr der Industriekaufleute und das dritte Ausbildungsjahr der Mechatroniker*innen. Zwei Unterrichtstage mit je 6 Stunden geben dem komplexen Thema Smart Factory sicher einen sehr begrenzten Raum. Es gilt jedoch hier zu bedenken, dass die Rahmenrichtlinien beider Berufe die Thematik Industrie 4.0 in der regulären Ausbildungszeit nicht berücksichtigen und die Jahresplanungen der beteiligten Klassen um diese Themen erweitert werden. Zusätzlich kommt hinzu, dass die Organisation durch die beteiligten Schulen zum Teil mit der Umlegung von Berufsschultagen, Anpassungen im Stundenplan und der engen Kooperation von Kollegen*innen aus unterschiedlichen Schulen verbunden ist.

Die Abb. 6 zeigt die Struktur der Projekttage an den beiden Standorten. Die Klassen werden in zwei Gruppen aufgeteilt und dann zu zwei gemischten Berufsschulklassen zusammengesetzt. Diese berufsübergreifenden Klassen sind dann, an zwei Projekttagen jeweils einen Tag an der kaufmännischen Schule (BBS am Schölerberg) und an dem anderen Tag an der gewerblich technischen Schule (BBS Brinkstraße).



	Schölerberg	Brinkstraße
1	Vorstellung Projekt, Schüler, Lehrer, Lernsituation	Vorstellung Projekt, Schüler, Lehrer, Lernsituation
2	Infophase Geschäftsprozesse Industrie 4.0 / Wirtschaft 4.0/	Infophase Smart Factory
3	Modellierung von Geschäftsprozessen in BPMN	Modellierung von Technischen Prozessen in BPMN
4	Einführung in ein ERP System am Beispiel von SAP	Einführung in eine SPS am Beispiel von SIMATIC S7
5	Bearbeitung eines einfachen Verkaufsprozesses	Einführung in eine SPS am Beispiel von SIMATIC S7
6	Reflektion	Reflektion

Abbildung 8: Organisation der übergreifenden Projekttage.

Nach der Vorstellungsrunde der Schüler*innen, die oft zu Tage fördert, dass man sich eigentlich schon kennt, da die Auszubildenden aus dem gleichen Betrieb kommen, informieren sich die Schüler*innen über Besonderheiten der Smarten Produktion. Dabei werden übergreifende Geschäftsprozesse beleuchtet aber auch Begriffe wie RFID, Losgröße eins, ERP, MES und SPS analysiert. In der dritten Unterrichtsstunde werden die Schüler*innen mit dem neuen Thema BPMN konfrontiert. Sie planen zuerst den Geschäftsprozess „Urlaub beantragen“, der noch nicht Spezialwissen aus dem einen oder anderen Beruf erfordert. Ist die neue gemeinsame Planungssprache eingeführt, wird z. B. an der Brinkstraße der Produktionsprozess aus technischer Sicht in BPMN erläutert. Die Schüler*innen erkennen die Zusammenhänge zwischen den unterschiedlichen Systemen (ERP, MES, SPS) und verstehen typische Industrie 4.0 Paradigmen, wie die Identifizierung des Werkstücks per RFID und die Fertigung in Losgröße eins. In der folgenden Phase realisieren die gemischten Gruppen sowohl einige Recherche-Vorgänge als auch Buchungen im ERP System (SAP) bzw. programmieren Automatisie-

rungslösungen mit einer SPS (Siemens TIA-Portal). Diese Unterrichtssequenz findet in berufsübergreifenden Zweierteams statt. So kann, in den Arbeitsgruppen, auf das Expertenwissen des jeweiligen Schülers zurückgegriffen werden.
Die abschließende Reflektion der Projekttage wird in jedem Jahr durch eine Online Befragung der Schüler*innen durchgeführt. Die Ergebnisse sind bisher so positiv für diesen übergreifenden Unterricht ausgefallen, dass wir in Osnabrück schon im vierten Jahr die Projettage wiederholen. Äußerungen von Schüler*innen, wie z. B. *„Da mittlerweile in der Firma alles eng miteinander vernetzt ist, ist es nicht mehr möglich, ohne einen Gesamtüberblick, die Probleme in den eigenen Abteilungen selbstständig zu lösen.“* oder *„Auch wenn in meiner Firma Industrie 4.0 noch keine Rolle spielt, glaube ich, dass das Thema für mich und meine Berufsausbildung wichtig ist.“* zeigen wie wertvoll dieses Thema für die Auszubildenden ist.

6 Perspektiven

Oft wird bei den Lehrern*innen aus dem Bereich der Wirtschaft, die Frage nach einer Schnittstelle zu SAP oder MS Navision gestellt, die noch nicht implementiert ist und endwickelt werden könnte. Diese direkte Anbindung zwischen ERP und MES ist, nach den gemachten unterrichtlichen Erfahrungen in der Schulpraxis, eher zweitrangig. Im Vordergrund stehen die Prozesse einer smarten Produktion, die sich sehr gut ohne reale Schnittstelle abbilden lassen.

Vielmehr sollte das Augenmerk auf neuen Geschäftsprozessen liegen. Vorbeugende Instandhaltung, Shopfloor- oder Supply-Chain-Management könnten als Themen in Lernsituationen aufbereitet werden. Dazu wäre es sicher von Vorteil, die Daten der Smart Factory in Cloud-Diensten wie z. B. SAP S/4HANA oder Siemens Mindsphere abzulegen.

Die wichtigste Perspektive ist jedoch, dass durch die hohe Verbreitung und den täglichen Einsatz der Smart Factory Modelle im Unterricht, eine Vielzahl von Lernsituationen entwickelt werden. Dieses Unterrichtsmaterial hat den Vorteil, dass es sofort und direkt von vielen Kollegen*innen genutzt werden kann. Fortbildungen können gezielt zu den einheitlichen Lernträgern angeboten werden. Auf Veranstaltungen wie den Smart Factory Days treffen Kollegen*innen aufeinander tauschen sich aus und bilden Netzwerke, die wiederrum Unterstützung im täglichen Unterrichtsalltag geben.

Karl Frötschner & Klaus Heeger

Lernfabrik der Hubert-Sternberg-Schule in Wiesloch

Die Hubert-Sternberg-Schule in Wiesloch betreibt eine zweiteilige Lernfabrik. Beide Komponenten verfolgen unterschiedliche Ziele und sind entsprechend spezifisch konfiguriert. Während die Motorenfertigung den Schwerpunkt auf die Unterstützung der Fachkräfte in der Montage legt, wird in der Lernfabrik 4.0 an berufsübergreifenden Lernsituationen gearbeitet. Diese Zusammenarbeit zwischen den kaufmännischen und gewerblich-technischen Berufsbereichen hat mehrere Vorzüge. Zum einen ermöglicht eine stärkere Orientierung an den Arbeits- und Geschäftsprozessen eine umfangreichere Abbildung der Wertschöpfungskette. Zum anderen haben die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, außerhalb ihrer fachlichen Grenzen Einblicke zu sammeln, und entwickeln ein tiefgreifenderes Verständnis für unternehmerische Prozesse. Im Beitrag werden zwei Unterrichtseinheiten mit einer Fokussierung auf die Geschäftsprozesse *Make* und *Deliver* nach dem SCOR-Modell betrachtet. Es werden dabei schwerpunktmäßig die Realgüter und deren Weg vom Bestelleingang bis zur Auslieferung in den Blick genommen. Zum einen wird mit Hilfe der Lernumgebung Betriebswirtschaftslehre für Fachinformatiker/-innen unterrichtet, zum anderen wird in einer Kooperation mit der kaufmännischen Johann-Philipp-Bronner-Schule ein kompletter Bestellzyklus abgewickelt.

Inhaltsverzeichnis

1 Die Lernfabrik der Hubert-Sternberg-Schule in Wiesloch 306

1.1 Allgemeine Informationen 306

1.2 Lerninhalte 309

1.3 Kooperationen in der Lernfabrik 311

1.3.1 Verknüpfung der Berufsbereiche 311

1.3.2 Lernsituation: Betriebswirtschaftslehre in der Lernfabrik 312

1.3.3 Lernsituation: Gelebter Digitalpakt an Schulen 312

2 Prozessmodell 313

2.1 Abläufe 313

2.2 Eingebundene Geschäftsprozesse 315

2.3 Kooperation der Auszubildenden 317

3 Perspektiven 318

Literaturverzeichnis 320



Fachtagung „Lernfabriken“ – Graphic Recording des Austausches im virtuellen Raum „Wiesloch“

1 Die Lernfabrik der Hubert-Sternberg-Schule in Wiesloch

1.1 Allgemeine Informationen

Die Hubert-Sternberg-Schule hat ihre Lernfabrik 4.0 am 20. Juni 2017 offiziell in Betrieb genommen. Die Lernfabrik wurde mit der ersten Förderinitiative des Landes Baden-Württemberg (2015) eingerichtet. Die Mittel für die Beschaffung kamen vom Wirtschaftsministerium, dem Schulträger sowie von klein- und mittelständischen Unternehmen. Das Investitionsvolumen sowie die Träger sind in Abbildung 1 zu sehen.

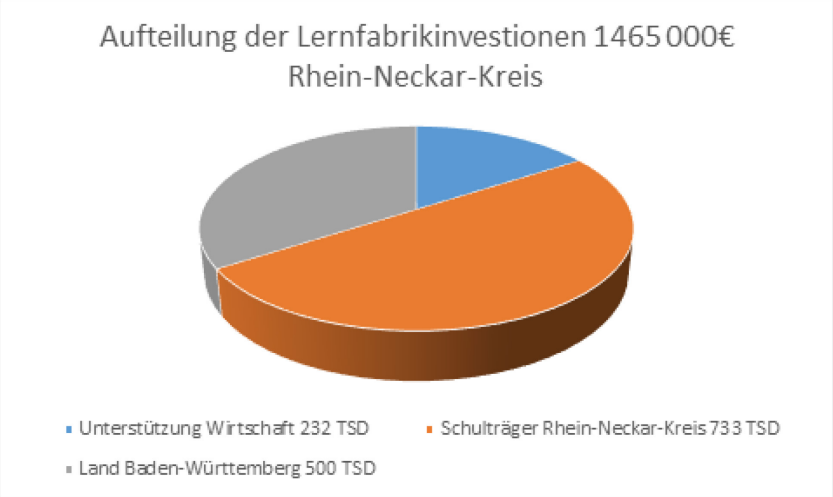


Abbildung 1: Investitionsvolumen für die Lernfabrik

Die Fabrik wird von Rhein-Neckar-Kreis getragen und von mehreren umliegenden Schulen im Landkreis für die duale Berufsausbildung eingesetzt. Hierzu wurden mehrere Kooperationen ins Leben gerufen (Hubert-Sternberg-Schule, o. D.). Die Lernfabrik des Rhein-Neckar-Kreises besitzt einige Besonderheiten:

- Verbund von sechs Schulen mit der Hubert-Sternberg-Schule in Wiesloch als Konzernzentrale.
- Verknüpfung mit der kaufmännischen Johann-Philipp-Bronner-Berufsschule, mit dem Einsatz des Enterprise-Resource-Planing-Systems (ERP) von SAP (SAP4School).
- Parallel zur Cyber Physical Factory (CPF) von Festo Didactic wird ebenso eine Fertigung von Motoren mit dem I4.0 Schwerpunkt „Unterstützung der Montagemitarbeiterin / des Montagemitarbeiters“ betrieben. Diese ist von SEW Eurodrive hergestellt.

Ziel der Lernfabrik ist es, mittels Vernetzung der Standorte eine größtmögliche Nähe der Lernumgebung zu industriellen Anlagen zu schaffen. Die beteiligten Schulen bilden dabei gemeinsam die Produktion mit und um die Lernfabrik ab. Die Standorte haben entsprechend ihrer Schularten und des Profils der dualen Partner ihre individuellen Schwerpunkte. Die Friedrich-Hecker-Schule übernimmt den Schwerpunkt CAD, CAM und CNC, hier werden die Gehäuse für den Fahrradcomputer konstruiert und auf einer vernetzten I4.0-CNC-Maschine gefertigt. Die Schule in Eberbach ist entsprechend ihres Profils für die Logistik verantwortlich. In der Hans-Freudenberg-Schule Weinheim liegt das Hauptaugenmerk auf Steuerungs- und Automatisierungstechnik. Dies ist in der Ehrhard-Schott-Schule Schwetzingen ähnlich. Hier kommt außerdem die Robotik hinzu. Da das Profil der Hubert-Sternberg-Schule in Wiesloch stark informationstechnisch geprägt ist, liegt hier der Fokus auf der Vernetzung der Standorte, SAP-Anbindung, IT-Security, Big-Data sowie der MES und ERP-Anbindung. Dies geschieht unter anderem in Kooperation mit der kaufmännischen Johann-Philipp-Bronner-Schule. Die Ortsnähe ermöglicht einen Unterricht in Kooperation mit Teamteaching. Eine Übersicht der Schulen sowie der Kooperationen ist in Abbildung 2 dargestellt.

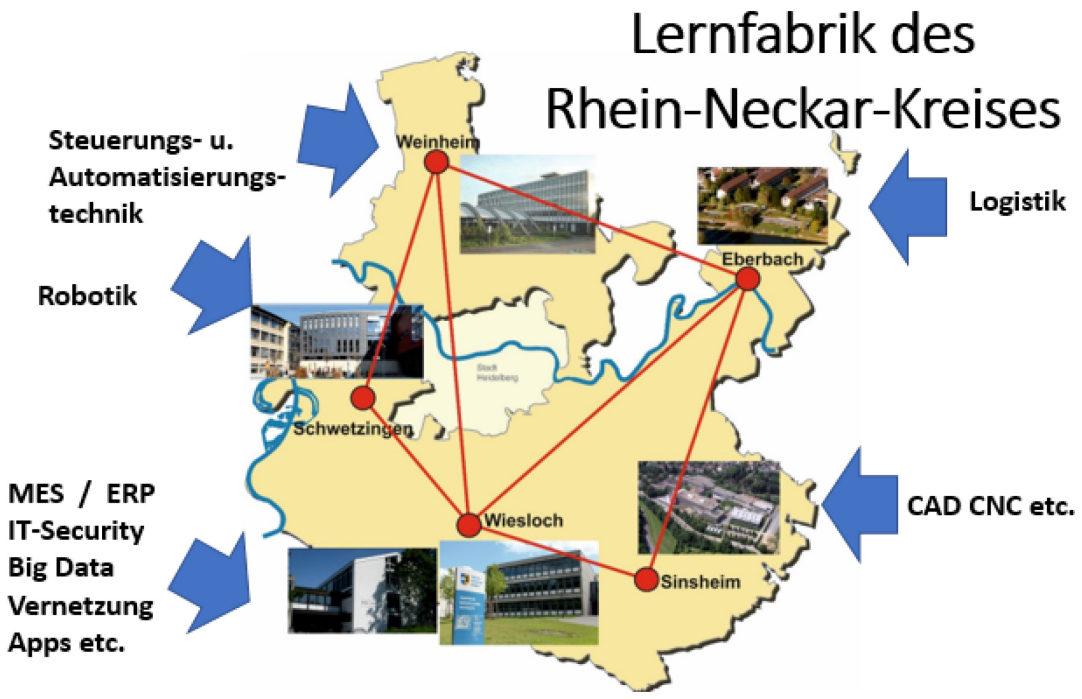


Abbildung 2: Kooperationsstandorte und Aufgaben

Neben der Produktionssteuerung und Auswertung der Produktionsdaten besteht ebenfalls die Möglichkeit, kaufmännische Inhalte mit abzudecken. Ebenso ist die Verwendung als Demonstrationszentrum für kleine und mittelständische Unternehmen vorgesehen (Hubert-Sternberg-Schule, o. D.).

Um eine Produktion 4.0 zu realisieren ist in der Lernfabrik umfangreiche Sensorik eingebaut. Diese muss entsprechend ausgewertet werden. Auswertung und Verarbeitung der im Produktionsprozess erfassten Daten ist dabei schwerpunktmäßig Aufgabe der Fachinformatiker/-innen. In Wiesloch findet dabei ein regelmäßiger Austausch mit Schülerinnen und Schülern der Johann-Philipp-Bronner-Schule statt, einer kaufmännischen Berufsschule. So können die kaufmännischen Auszubildenden die Lernfabrik ebenfalls nutzen, um Einblicke in die Funktion des Manufacturing Execution Systems zu bekommen. Dies gewährleistet einen praxisorientierten Zugang zur Thematik. Die Kooperation macht eine Vielzahl von Szenarien über die gesamte Wertschöpfungskette möglich. Dabei werden in der Lernfabrik neben dualen Auszubildenden auch Schülerinnen und Schüler des Berufskollegs und des beruflichen Gymnasiums unterrichtet (Festo Didactic, 2019, S. 26-17).

In der zweiten Hälfte der Lernfabrik in Wiesloch ist eine Montage von Getriebemotoren auf Industrie 4.0 Standard von der Firma SEW-Eurodrive implementiert. Kunden und Kundinnen können in einem Webshop individuell Motoren nach Leistung, Drehzahl, Drehmoment und Bauart konfigurieren. Der Auftrag geht von dort direkt in die Montage. Es wird somit nicht mehr auf Lager gefertigt. Bestellungen können unabhängig von Stückzahl und Konfiguration zeitnah geliefert werden. Montagemitarbeitende fertigen somit eine große Bandbreite von Motorenkonfigurationen. So wird eine Ermüdung durch dauernde Wiederholungen vermieden. Zusätzlich werden Hilfestellungen, wie beispielsweise die Bauanleitung auf einem Tablet sowie eine Leuchtanzeige bei den benötigten Montagekomponenten (Pick by Light) zur Verfügung gestellt. Diese Technologien tragen zur Vermeidung von Fehlern oder Leerlauf bei. Abbildung 3 zeigt das Teilemagazin mit Pick-by-Light-System. Benötigte Fächer werden durch eine aufleuchtende Leuchtdiode gekennzeichnet.

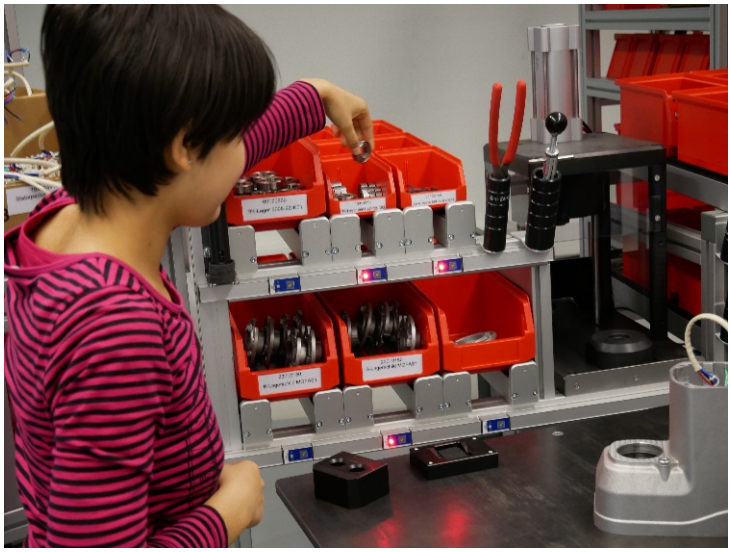


Abbildung 3: Pick-by-Light-System

Weniger komplexe Arbeitsschritte, wie das Einfüllen von Öl sowie die Überprüfung erfolgen vollautomatisiert. Die Schülerinnen und Schüler erstellen die Prüfsoftware für den produzierten Motor und erarbeiten Montagepläne. Weiterhin versuchen sie Hilfestellungen zu entwickeln, welche eine weitergehende Fehlerminimierung ermöglichen. Diese Anlage wird genauso in der realen Fertigung bei dem Elektromotorenhersteller SEW-Eurodrive eingesetzt und verdeutlicht hervorragend, dass Industrie 4.0 nicht ein „Jobkiller“ ist. Vielmehr wird hier eine Arbeitsplatzsicherung durch Steigerung der Produktivität und Qualität der Arbeit veranschaulicht. Arbeiterinnen und Arbeiter in der Montage werden durch die Technologie gezielt unterstützt. Industrie 4.0 ermöglicht dabei eine Fertigung von Losgröße 1 bis 10.000 sowie die Automatisierung von fehleranfälligen Prozessen, beispielsweise der Öleinfüllung. Bereits während der Produktion werden die Daten der Produktivität, Qualität und Auslastung erfasst und in die Produktionsplanung rückgekoppelt. Hier wird für die Schülerinnen und Schüler die Wertschöpfungskette sofort erkennbar.

1.2 Lerninhalte

Bei der Arbeit mit der Lernfabrik 4.0 lernen die Schülerinnen und Schüler den Umgang mit vollautomatischen Produktionssystemen. Sie optimieren dabei die Prozesse und überwachen die Produktion. Im Rahmen der Prozessoptimierung erstellen die Lernenden Hilfsmittel für Arbeitende in der Produktion, wie Videoclips mit Montageanleitungen. Sie entwickeln dabei Systeme um Schwachstellen im Ablauf zu finden und zu beheben. Ebenso werden Themen wie vorbeugende Wartung behandelt. Dafür können die Zykluszeiten von Ventilen und Zylindern

ausgewertet werden, was ein Hinweis auf deren Verschleiß ist. Die Fachinformatikerinnen und Fachinformatiker werten die im Produktionsprozess erhobenen Daten aus, und machen diese in einem Dashboard zugänglich. Mitarbeitende haben so via Tablet die Möglichkeit, sich über den Anlagenzustand zu informieren. Ausbildungsinhalte sind dazu unter anderem noch die IT-Sicherheit von Produktionsanlagen, was auch für die beteiligten klein- und mittelständischen Unternehmen wichtig ist.

In und um die Lernfabrik herum werden alle Aspekte eines modernen Unternehmens betrachtet. Die unterschiedlichen Lerninhalte finden dabei zwangsläufig auf unterschiedlichen Unternehmensebenen statt und betreffen die entsprechenden Berufsbereiche. Besonders im Hinblick auf Themen der Industrie 4.0 sind die Unternehmensebenen zunehmend bereits durch die verwendete Software verknüpft. Dabei verwaltet das Enterprise Resource Planning System (ERP) das gesamte Unternehmen und das Manufacturing Execution System (MES) die Produktion im engeren Sinn. Auf der Shop-Floor-Ebene kommt die entsprechende Fertigungstechnik zum Einsatz. Sie wird mit Hilfe von Steuerungen betrieben und überwacht. Die Zusammenhänge sind in Abbildung 4 dargestellt. Dabei ist zu sehen, welche Schulart die jeweiligen Themenbereiche ausbildet. Hier ist bereits zu erkennen, dass eine vollständige Abbildung unternehmerischer Prozesse nur durch die Kooperation von gewerblich-technischen und kaufmännischen Schulen möglich wird. Die den Unternehmensebenen zugeordneten Aufgaben sind dabei exemplarisch.

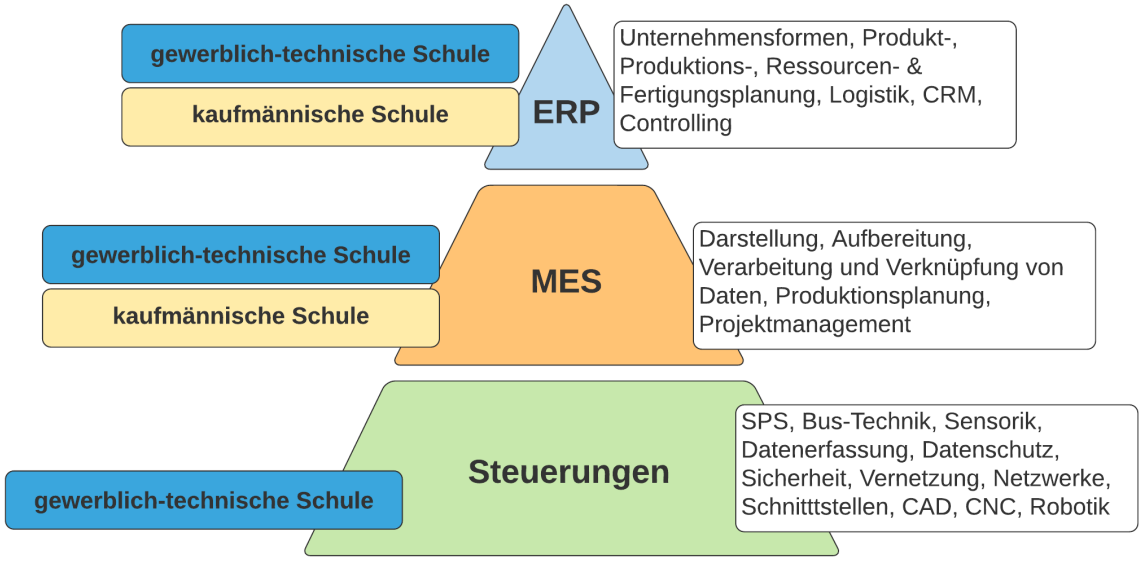


Abbildung 4: Lerninhalte und Zuordnungen

1.3 Kooperationen in der Lernfabrik

1.3.1 Verknüpfung der Berufsbereiche

Die Hubert-Sternberg-Schule hat, um möglichst vielfältig betriebliche Prozesse der Wertschöpfungskette in die Lernumgebung zu integrieren, den entscheidenden Schritt unternommen, die Lernfabrik mit einer kaufmännischen Übungsfirma zu verknüpfen. Die Einrichtung der Schnittstelle zwischen dem Manufacturing Execution System (MES) und dem Enterprise Resource Planning (ERP) macht die überfachliche Zusammenarbeit kaufmännischer und gewerblich-technischer Berufsbereiche möglich (Hilber, 2019). So kann eine stärkere Ausrichtung der Curricula an unternehmerischen Abläufen erreicht werden, und eine Ausbildung nahe an der betrieblichen Realität der Schülerinnen und Schüler erreicht werden (Wilbers, 2019, S. 38). Abbildung 5 zeigt dabei die Verknüpfung der Inhalte, Unternehmensebenen sowie von ERP und MES, wie sie in den betrachteten Lernsituationen vorgesehen sind. Hier werden auch die neuen Schnittstellen von gewerblich technischen und kaufmännischen Lerninhalten deutlich.

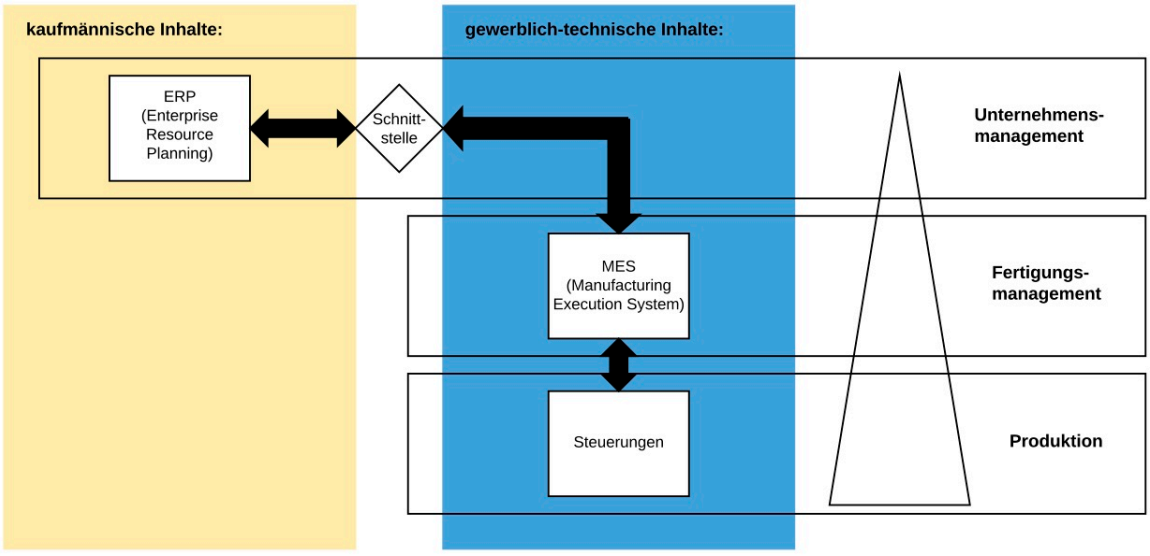


Abbildung 5: Verknüpfung von ERP und MES im Unternehmen (Übersicht)

In der Hubert-Sternberg-Schule finden dabei unterschiedliche Kooperationen zwischen den Fachbereichen statt. Im Folgenden werden zwei Lernsituationen betrachtet, die im Hinblick auf die Prozessorientierung ähnlich aufgebaut sind. Beide nutzen die Schnittstelle zwischen dem Festo MES4 und SAP4School (ERP), sowie die dem SAP zugehörige Übungsfirma „Global

Bike GmbH“. Das Produkt ist dabei ein Fahrradcomputer, der in unterschiedlichen Ausfertigungen in der Lernfabrik hergestellt wird.

1.3.2 Lernsituation: Betriebswirtschaftslehre in der Lernfabrik

Die Lernsituation „Wie ändern sich Geschäftsprozesse durch Industrie 4.0? Anpassung von Datenbanken bei Losgröße 1“ ist eine an der Hubert-Sternberg-Schule entwickelte Unterrichtseinheit. Sie ist am Szenario „Produktentwicklung und Produktionsplanung“ des Landesinstitutes für Schulentwicklung orientiert (Löhr-Zeidler et al., 2016, S. 13). Die Unterrichtseinheit bezieht sich dabei auf die Veränderung der Absatzstrukturen durch die Industrie 4.0. Produkte können im Vergleich zur Vermarktung über gewerbliche Abnehmerinnen und Abnehmer im eigenen Webshop konfiguriert und direkt von privaten Kundinnen und Kunden bezogen werden. Die Fertigung findet in der Lernfabrik statt. Der Webshop wird im Laufe der Lernsituation entwickelt.

Die Lernsituation wird mit Fachinformatiker-/innen durchgeführt und verknüpft dabei Inhalte aus der Betriebswirtschaftslehre mit der Lernfabrik. Dies hat gleich mehrere Vorteile. Zum einen werden den Schülerinnen und Schülern die Geschäftsprozesse nähergebracht, die um die rein technischen Inhalte herum zur Wertschöpfung beitragen. Diese müssen im Rahmen eines dahingehend orientierten Denkens mitberücksichtigt werden. Zum anderen werden BWL-Themen nicht losgelöst von allen anderen Ausbildungsinhalten vermittelt, sondern praxisnah und mit direktem Bezug zu den kernfachlichen Themenfeldern der Auszubildenden. Dies bringt eine insgesamt bessere Motivation mit sich. Die Auszubildenden nehmen so auch fachfremde Themen als unverzichtbar im betrieblichen Alltag wahr. Zudem wird so ein prozessorientiertes Curriculum geschaffen, in dem Sichtweisen aller beteiligten Berufsgruppen berücksichtigt werden.

1.3.3 Lernsituation: Gelebter Digitalpakt an Schulen

Die Lernsituation „Gelebter Digitalpakt an Schulen“ geht einen Schritt weiter, hier werden nicht nur die Themenbereiche verknüpft. Auszubildende beider Berufsbereiche arbeiten zusammen, um unternehmerische Abläufe realitätsnah darstellen zu können. Zu diesem Zweck wurde eine Kooperation mit der kaufmännischen Johann-Philipp-Bronner-Schule ins Leben gerufen, welche die betriebswirtschaftliche Seite abdeckt.

Für diese Unterrichtseinheit wird der komplette Ablauf vom Bestelleingang bis hin zur Auslieferung im Modellunternehmen „Global Bike Deutschland GmbH“ durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler übernehmen dabei jeweils ihre berufstypischen Aufgaben. Diese werden zudem für die anwesenden fachfremden Auszubildenden erläutert. So erfolgt die Auftragsabwicklung weitestgehend durch kaufmännische Auszubildende, während die Produktion von gewerblich-technischen Schülerinnen und Schülern betreut wird. Beide Seiten sowie die beteiligten Schulen arbeiten hier Hand in Hand, sodass eine Zusammenarbeit der Berufsbereiche möglich wird.

Hier bekommen die Schülerinnen und Schüler wertvolle Einblicke in die Arbeitswelt der anderen beteiligten Berufe. Zum einen wird auch hier eine Orientierung an Geschäftsprozessen vorangetrieben, zum anderen findet ein überfachlicher Austausch statt, von dem beide Seiten profitieren können. Die motivationalen Aspekte der Lernfabrikarbeit können so auch in andere Berufsbereiche getragen werden, und es wird ein deutlich realitätsnäherer Unterricht möglich.

2 Prozessmodell

2.1 Abläufe

Zentrales Element beider Lernsituationen ist die direkte Datenübermittlung vom Enterprise Resource Planning (ERP) zum Manufacturing Execution System (MES). So kann eine gesamte Auftragsabwicklung, von der Bestellung über die Produktion bis hin zur Auslieferung durchgeführt werden. Dabei wird in beiden Fällen die Abwicklung von Bestellvorgängen inklusive der tatsächlichen Produktion der Ware durchgeführt. Den Rahmen für die Handlung setzen dabei die Übungsfirma sowie die Lernfabrik.

Die Lernfabrik, und damit der technische Teil der Lernsituationen, ist an die verwendete Technologie geknüpft. Die möglichen Produktionsprozesse sind abhängig von den vorhandenen Modulen und deren Funktion. In beiden Unterrichten wird ein Fahrradcomputer hergestellt. Die Lernfabrik an der HSS kann dabei neun Fertigungsschritte durchführen. Je nach Produktvariante können einzelne Schritte unterschiedlich ausgeführt werden oder ganz wegfallen. Das Werkstück wird in diesem Fall einfach weitergeleitet. Die Abfolge ist in Abbildung 6 dargestellt.

Der Fertigungsprozess beginnt mit dem ersten Schritt **Auslagern**. Ist ein Auftrag im MES erfasst, so wird eine Frontschale in einen Werkstückträger gelegt und entsprechend aus dem Lager entnommen. Die Werkstückträger sind kontaktlos identifizierbar, und werden mit dem zugeordneten Auftrag verknüpft. Die Station **Heizen** kann, je nach Auftragsvorgabe, die Frontschale erhitzen. Anschließend folgt das **Bohren**, dabei sind mehrere Bohrlochmuster möglich. Falls fertigungstechnisch keine Bohrlöcher notwendig sind, wird das Werkstück unbehandelt weiter transportiert. Zentraler Schritt für die Komplettierung der Fahrradcomputer ist die **Robotermontage**. Sie beinhaltet das Einsetzen der passenden Platine. Es sind mehrere Varianten, von 16 bis 64 Gigabyte, möglich. Die Leiterplatte wird in die Frontschale eingesetzt, und mit Sicherungen bestückt. Die Anzahl der Sicherungen hängt wiederum vom hergestellten Typ ab. Der Folgeschritt, die **Qualitätskontrolle**, prüft das erfolgreiche einlegen der Schmelzsicherungen. Ist die Kontrolle erfolgreich, so wird es in Folge notwendig, einen **Deckel auszulagern** und aufzulegen. Bei einer negativen Qualitätskontrolle wird kein Deckel aufgebracht und das Produkt ins Lager zurückbefördert. Die reale Situation wird dadurch abgebildet, dass das Fehlerprodukt ausgeschleust, von einem Transportroboter abgeholt und an einen Handbearbeitungsplatz geliefert wird. Dort wird der Fehler, wenn möglich beseitigt oder als Ausschuss gekennzeichnet (Beschreibung des RFIDs) und in die Produktionslinie mit dem Transportroboter wieder eingeschleust. Nun werden Vorder- und Rückseite im Schritt **Pressen** miteinander verbunden. Pressdruck und Dauer sind ebenfalls von der Modellvariante abhängig. Zuletzt wird das Werkstück, falls notwendig, gewendet. Dies geschieht im Prozessschritt **Wenden**. Der fertige Fahrradcomputer wird anschließend auf einem freien Lagerplatz eingelagert. Die Fertigstellung wird durch das MES an das ERP-System zurückgemeldet, und so der Fertigungsprozess beendet.

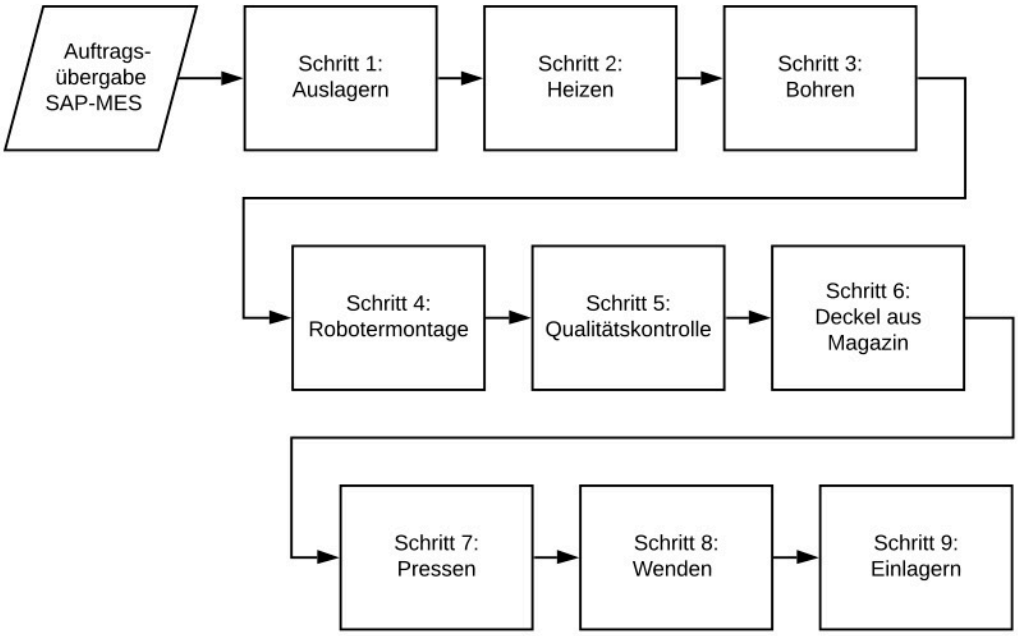


Abbildung 6: Prozessschritte in der Lernfabrik

Die vor- und nachgelagerten kaufmännischen Prozesse unterscheiden sich je nach Lernsituation. Im gelebten Digitalpakt werden die entsprechenden Aufträge manuell von kaufmännischen Auszubildenden aufgenommen, erfasst und in das ERP-System eingepflegt. Von dort aus werden sie in das MES übertragen und die Produktion gestartet. Ist dies abgeschlossen, kann die Auslieferung erfolgen.

Die Lernsituation zu den veränderten Geschäftsprozessen durch die Industrie 4.0 legt den Schwerpunkt etwas anders, hier sollen individuelle Kundenaufträge aus dem Webshop in das ERP-System übernommen werden. Dies geschieht automatisch, durch eine von den Schülerinnen und Schülern erarbeitete Software. Endverbraucher können ihren Fahrradcomputer so im Webshop nach ihren Bedürfnissen konfigurieren und direkt beim Hersteller kaufen, die manuelle Erfassung der Bestellungen entfällt.

2.2 Eingebundene Geschäftsprozesse

Beiden Lernsituationen liegt ein Bestellzyklus zu Grunde. Dieser verfolgt den Weg des Produktes von der Bestellung bis hin zur Auslieferung (Abele et. al., 2019, S. 109). Dabei werden

nach dem Supply Chain Operations Reference Modell (SCOR) zwei Geschäftsprozesse herangezogen. Diese sind *Make* (herstellen) und *Deliver* (liefern) (Wilbers, 2019, S. 41). Die Zusammenhänge und Schnittstellen sind in Abbildung 7 dargestellt.

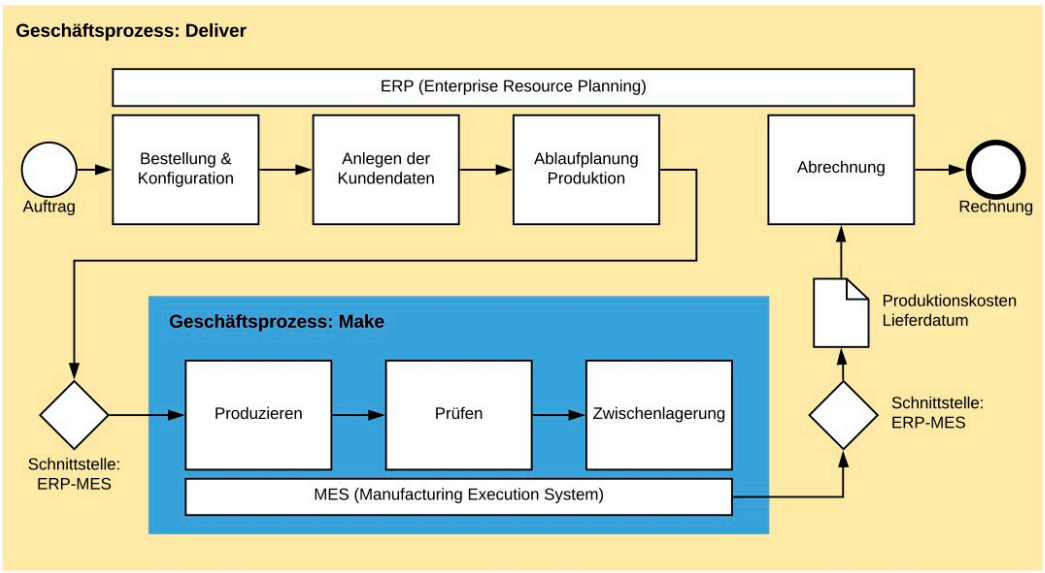


Abbildung 7: Geschäftsprozesse im gelebten Digitalpakt

Basis für die Unterrichtseinheiten ist der Geschäftsprozess *Deliver*. Dieser Geschäftsprozess beinhaltet sämtliche Tätigkeiten um die Bearbeitung von Kundenaufträgen, von der Annahme bis hin zur Auslieferung (Wilbers, 2019, S. 41). Hier werden die Veränderungen durch die Industrie 4.0 bereits erkennbar. So erfolgen diese Schritte bereits zum Teil oder vollständig durch Unternehmenssoftware beziehungsweise durch die Verknüpfung mit dem Webshop. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind dabei für die Überwachung der Prozesse sowie deren reibungslosen Ablauf zuständig. Im Vergleich dazu wird im gelebten Digitalpakt eine konventionelle Auftragserfassung verwendet.

Eingebettet in den Lieferprozess ist die eigentliche Herstellung des Fahrradcomputers. Die Produktion ist im Geschäftsprozess *Make* (herstellen) integriert (Wilbers, 2019, S. 41). Hier können besonders eindrucksvoll die Veränderungen durch die Industrie 4.0 beobachtet werden. Lager- und Fertigungsprozesse finden vollautomatisiert statt, ebenso die Qualitätskontrolle. Die Auszubildenden im gewerblich-technischen Bereich haben hierbei die Aufgabe Prozesse kontinuierlich zu überwachen, Daten zu erheben und auszuwerten. Dadurch werden

Prozesse kontinuierlich Optimiert. Stillstand sowie Fehler in der Produktion sollen weitestgehend vermieden werden. Der komplette Prozess wird durch das MES gesteuert und überwacht. Auch die Schnittstellen zum umschließenden Geschäftsprozess sind durch die Software automatisch eingebunden. Durch die vielfältige Sensortechnik kann das MES ebenso Maschinensätze und Verschleiß für jedes einzelne Produkt berechnen, was in die Kalkulation mit einbezogen werden kann. Zudem müssen nur durchgeführte Prozessschritte berechnet werden.

Im Hinblick auf das SCOR-Modell sind dabei zwei von fünf Geschäftsprozessen in den Ablauf eingebunden. Weiterhin im Modell vorgesehen sind Planen, Beschaffen und Rückliefern (Wilbers, 2019, S. 41). Diese Kategorien bleiben hier unberücksichtigt. Hauptsächlich wird der Weg der Realgüter betrachtet, sowie Prozesse, welche direkt an der Wertschöpfung beteiligt sind. Weiterführende Themen, wie die Beschaffung von Rohstoffen sowie Absatzmöglichkeiten werden nicht thematisiert. Ebenso erfolgt nach der Zwischenlagerung im Anschluss an die Produktion keine weitere Betrachtung.

Grundsätzlich zeigt sich, dass in der gewerblich-technischen Berufsausbildung und vor allem bei überfachlicher Zusammenarbeit eine Orientierung an Geschäftsprozessen sinnvoll ist. So werden möglichst realitätsnah Schnittstellen zwischen den Unternehmensbereichen, wie sie ebenso in der Arbeitswelt vorkommen, simuliert und entsprechend genutzt. Diese Schnittstellen sind zum einen technischer Natur, was die Kommunikation des ERP-Systems mit der Produktion (MES) meint. Auf der anderen Seite werden durch die Lernsituation direkt Kontakte zwischen den Schülerinnen und Schülern der Berufsbereiche hergestellt. Dieses Kennenlernen baut Vorurteile ab und wirkt sich positiv auf die Motivation aus. Eine für die Lernenden nachvollziehbare, realitätsnahe und sinnvolle Zusammenarbeit der Fachbereiche in der Lernsituation ist so Fundament für ein erfolgreiches Lehren und Lernen.

2.3 Kooperation der Auszubildenden

Eine tatsächliche Kooperation von Auszubildenden aus unterschiedlichen Fachbereichen findet lediglich in der Unterrichtseinheit „gelebter Digitalpakt an Schulen“ statt. Obwohl hier, besonders was die Tätigkeiten angeht fachliche Grenzen klar gezogen werden können. Kaufmännische Auszubildende sind primär mit dem Geschäftsprozess *Deliver* beschäftigt, sie erfassen Aufträge, kalkulieren Kosten und treten mit Kunden in Kontakt. Die Herstellung (*Make*)

der Produkte fällt in den Bereich der gewerblich-technischen Auszubildenden. Trotz der Grenzen haben beide Seiten Einblick in die Arbeitswelt der anderen Berufsbereiche. Ein gemeinsames Arbeiten findet allerdings nicht direkt statt. Je nach Lernort arbeiten die fachlich zugehörigen Schülerinnen und Schüler, während die Anderen hospitieren. Dazu werden im Einstieg explizit die Zusammenhänge auf betrieblicher Ebene angesprochen und visualisiert. Diese Einblicke sind sinnvoll, häufig fehlen beispielsweise kaufmännischen Auszubildenden der Zugang zu technischen Aspekten (Wilbers, 2017, S. 104). So haben die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, durch den Besuch und die Erklärung der Lernfabrik eine Produktion didaktisch reduziert kennenzulernen. Der Ablauf der Prozesse wird so greifbar, und leicht nachvollziehbar. Mit dieser Maßnahme kann auf beiden Seiten ein T-förmiges Kompetenzprofil geschärft werden. Dies meint ein vertikal vertieftes Fachwissen, sowie zusätzliche Kompetenz für die Zusammenarbeit mit den umschließenden Berufsbereichen (horizontal). Das Modell, sowie das Metawissen dazu tragen zu einer besser funktionierenden Verzahnung im Unternehmen bei (Wilbers, 2017, S. 31).

3 Perspektiven

Übergreifende Lernsituationen sind insgesamt nur dann möglich, wenn technische und organisatorische Voraussetzungen gegeben sind. Für eine Umsetzung eines Projektes wie in Wiesloch ist beispielsweise eine umfangreiche und funktionale IT-Infrastruktur maßgebend. Diese ist an der Hubert-Sternberg-Schule teils durch die dualen Partner und auch in Eigenleistung ergänzt worden. Um eine erfolgreiche Ausbildung im Bereich der Industrie 4.0 zu gestalten ist nicht nur die Hardware entscheidend, auch eine sinnvolle Systembetreuung ist unerlässlich. Aktuelle Systeme der Netzwerkbetreuung in der beruflichen Bildung stoßen nicht nur hier an ihre Grenzen. Nicht zuletzt ist ein entsprechend dimensionierter Breitbandanschluss zu nennen. Nur eine solide funktionierende Anlage, die mit zeitgemäßen Systemen arbeitet erfüllt den Anspruch einer Ausbildung 4.0.

Insgesamt ist die überfachliche Zusammenarbeit in Lernfabriken im Rahmen prozessorientierter Curricula vielversprechend. Die bisherigen Ansätze sind ein Anfang, die machbares zeigen und somit neue Unterrichtskonzepte eröffnen. Durch die nachvollziehbare und sinnvolle Verbindung der Berufsbereiche in realitätsnahem Kontext werden Schülerinnen und Schülern beider Seiten auch abseits der fachlichen Themen ausgebildet. Dies ist, besonders im Hinblick auf die zukünftige Arbeitswelt, wünschenswert. Um Wertschöpfungsprozesse als solche zu

verstehen müssen Auszubildende mehr als ihren Fachbereich im Blick haben, eine Betrachtung der gesamten Prozesskette ist notwendig. Dieses Prozessdenken kann so hergestellt werden.

Somit müssen zukünftig die Lernsituationen erweitert werden, sodass nicht nur rein das technisch machbare demonstriert wird, sondern Schülerinnen und Schüler wie in einem Unternehmen zusammenarbeiten, optimieren und Probleme lösen. Um dieses Konzept so universell verwenden zu können, sind jedoch noch einige Schritte notwendig. Bisher sind die Anlagen immer noch sehr vielfältig. Nicht immer ist eine Einbindung von kaufmännischen Prozessen im Blick. Hier ist insbesondere die technische Umsetzung aufwändig, was einen flächendeckenden Einsatz von Kooperationsprojekten wie dem in Wiesloch erschwert.

Literaturverzeichnis

Abele, E., Metternich, J. & Tisch, M. (2019). *Learning Factories.* Cham: Springer Nature Switzerland

Festo Didactic. (2019). *Impulse für die Qualifizierung.* Verfügbar unter: https://festo-didactic.de/fileadmin/data/learn/FDID_Magazin-Impulse-No2_WEB.pdf Zuletzt eingesehen: 07.09.2020, 18:34 Uhr.

Hilber, B. (2919). *„Gelebter Digitalpakt an Schulen" live erleben: Am 3. Juli 2019 an der Hubert-Sternberg-Schule in Wiesloch.* Verfügbar unter: https://www.hss-wiesloch.de/2019/07/gelebter-digitalpakt-an-schulen-live-erleben-am-3-juli-2019-an-der-hubert-sternberg-schule-in-wiesloch/ Zuletzt eingesehen: 13.07.2020, 11:58 Uhr.

Hubert-Sternberg-Schule. (o.D.) *Lernfabrik 4.0.* Verfügbar unter: https://www.hss-wiesloch.de/qualifikation/lernfabrik-4-0/. Zuletzt eingesehen: 06.07.2020, 18:16 Uhr.

Löhr-Zeidler, Hörner, Wiedmann, Schmitt, Heer, Weber & Mußler. (2016). Industrie 4.0 Umsetzung im Unterricht, Stuttgart: Landesinstitut für Schulentwicklung (LS).

Wilbers, K. (Hrsg.). (2017). *Industrie 4.0 Herausforderungen für die kaufmännische Bildung*. Berlin: epubli.

Wilbers, K. (2019). *Wirtschaftsunterricht gestalten.* Berlin: epubli.

Autorenverzeichnis

Barthruff, Tobias

Referat Berufsschulen im Ministerium für Kultus, Jugend und Sport in Baden-Württemberg.

Bianchi-Weinand, Andrea

Wissenschaftliche Koordinatorin, Gemeinsame Arbeitsstelle RUB/IGM der Ruhr-Universität Bochum, Nordrhein-Westfalen.

Dorner, Thomas

Referat Berufsschulen im Ministerium für Kultus, Jugend und Sport in Baden-Württemberg.

Eldracher, Thomas

Berufsschule II Kempten; Kaufmännische Abteilung, Bayern.

Fasshauer Uwe Prof. Dr.

Lehrstuhlinhaber, Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Institut für Bildung, Beruf und Technik, Abteilung Berufspädagogik, Baden-Württemberg.

Ferdinand, Andreas

Systembetreuer Industrie 4.0, Berufsschule I Kempten; Mechatronikabteilung, Bayern.

Frerichs, Cornelia, Ministerialrätin

Referatsleiterin; Kultusministerium des Bundeslandes Niedersachsen, Abteilung 4 Berufliche Bildung, Referat 43 Schulische Berufsbildung Wirtschaft, Gesundheit und Soziales, berufsübergreifender Lernbereich sowie Digitalisierung BBS, Niedersachsen.

Frötschner, Karl

Studienreferendar, vormals Student Berufspädagogik Technik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Bayern.

Greiner, Andreas

Studienreferendar; vormals Student Wirtschaftspädagogik; Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Bayern.

Heeger, Klaus

Schulleiter, Hubert-Sternberg-Schule Wiesloch, Baden-Württemberg.

Hehberger, Stefanie

Studentin der Wirtschaftswissenschaften mit Schwerpunkt Wirtschaftspädagogik; Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Bayern.

Hörner, Raphael

Fachberater für Automatisierungstechnik und Informationstechnik am Regierungspräsidium Stuttgart, Baden-Württemberg.

Jalowski, Max

Wissenschaftlicher Mitarbeiter; Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insbesondere Innovation und Wertschöpfung, Bayern.

Klose, Jürgen

Mitarbeiter der Schulleitung; Berufliche Schule Direktorat 4 der Stadt Nürnberg; Berufsbereich Industrie, Bayern.

Leppert, Stephan

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung, Bayern.

Lichy, Hans Jürgen

Schulleiter der Staatlichen Berufsschule Lichtenfels, Bayern.

Link, Nico, Jun.-Prof. Dr.

Juniorprofessur für Mechatronik/berufliche Didaktik, Technische Universität Dresden, Institut für Berufspädagogik und berufliche Didaktiken, Sachsen.

Lucha, Werner

Leitender Ministerialrat im Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Abteilung VI Berufliche Schulen, Referat VI.3 Gewerbliche berufliche Schulen, Digitale Bildung im Bereich der beruflichen Schulen, Bayern.

Meisinger, Rainer

Studienreferendar; vormals Student Wirtschaftspädagogik; Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Bayern.

Möslein, Kathrin M. Prof. Dr.

Lehrstuhlinhaberin und Vizepräsidentin Outreach; Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insbesondere Innovation und Wertschöpfung, Bayern.

Oks, Sascha Julian

Wissenschaftlicher Mitarbeiter; Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insbesondere Innovation und Wertschöpfung, Bayern.

Pongratz, Horst Dr.

Fachmitarbeiter für Informatik; MB-Dienststelle für FOSBOS in Ostbayern; Abteilung Wirtschaft und Verwaltung, Berufliches Schulzentraum, Bayern.

Sayk, Stefan

Lehrer für Automatisierungstechnik an der Brinkstraße in Osnabrück, Fachberater für Industrie 4.0 in Niedersachen. Berufsbildende Schulen des Landkreises Osnabrück, Niedersachsen.

Schirmer, Rudolf

Schulleiter der Lorenz-Kaim-Schule Kronach, Bayern.

Siegert, Martin

Stellvertretender Schulleiter, Beruflichen Schule Direktorat 2 der Stadt Nürnberg, Bayern.

Simon, Markus

Studienreferendar, vormals Student Berufspädagogik Technik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Bayern.

Wagner, Lorenz

Studienreferendar, vormals Student Berufspädagogik Technik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Bayern.

Walker, Felix Prof. Dr.

Fachdidaktik in der Technik, Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Rheinland-Pfalz.

Wannöffel, Manfred Prof. Dr.

Hochschullehrer an den Fakultäten für Maschinenbau und Sozialwissenschaft und Geschäftsführer der Gemeinsamen Arbeitsstelle RUB/IGM der Ruhr-Universität Bochum, Nordrhein-Westfalen.

Weis, Andreas

Studiendirektor im Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Abteilung VI Berufliche Schulen, Referat VI.3 Gewerbliche berufliche Schulen, Digitale Bildung im Bereich der beruflichen Schulen, Bayern.

Wiedmann, Bernd

Fachberater für Mechatronik am Regierungspräsidium Stuttgart Landesgruppe, Baden-Württemberg.

Wilbers, Karl Prof. Dr.

Lehrstuhlinhaber, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Wirtschaftspädagogik und Personalentwicklung, Bayern.

Windelband, Lars Prof. Dr.

Lehrstuhlinhaber, Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Institut für Bildung, Beruf und Technik, Abteilung Technik und ihre Didaktik, Baden-Württemberg.

Zansinger, Nina

Studentin der Wirtschaftspädagogik; Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Bayern.