
19. Hochschultage Berufliche Bildung an der Universität zu Köln

**Ein Beitrag zur Fachtagung FT 03 „Bau, Holz,
Farbe und Raumgestaltung“
zum Thema „Trends beruflicher Arbeit - Digitalisierung,
Nachhaltigkeit, Heterogenität“**

Industrie 4.0 in der Bauwirtschaft - Ein- fluss der automatisierten Gebäudeer- stellung auf die gewerbliche Berufsbil- dung

Christian K. Karl

Arnim J. Spengler

Tobias Bruckmann

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Methodik der Studie.....	4
3	Veränderungen auf der Baustelle am Beispiel eines Seilroboters	4
4	Auswirkungen auf das gewerblich-technische Personal	8
4.1	Zwischenfazit	12
5	Konsequenzen für die Bauausbildung	13
6	Vermittlungsoptionen	16
7	Zusammenfassung.....	17
	Literatur	19
	Tabellenverzeichnis.....	20

Industrie 4.0 in der Bauwirtschaft – Einfluss der automatisierten Gebäudeerstellung auf die gewerbliche Berufsbildung

In vielen Bereichen der Produktion haben Roboter bereits die Produktivität und Qualität steigern können. Im Zusammenhang mit der Industrie 4.0 werden Robotersysteme zunehmend ein relevanter Faktor für sogenannte „Made to order“ Produktion wie sie in der Bauwirtschaft vorliegt. Auf Grundlage einer Fallstudie stellen die Autoren die klassische Gebäudeerstellung einem automatisierten Gebäudeerstellungssystem gegenüber. Dabei fokussieren sie sich auf die Rohbauerstellung im Bereich des Mauerwerkbaus durch die Verwendung eines Seilroboters, welcher es erlaubt ein komplettes Gebäude auf der Baustelle autonom zu erstellen. Konsequenzen für die gewerbliche Berufsbildung werden in diesem Beitrag anhand der Aspekte Technologie, Arbeitsorganisation, Aufgaben und Verantwortlichkeiten, Arbeitsumfeld und Sicherheit, Materialwirtschaft und Baustellenlogistik abgeleitet.

Ziel des Beitrags ist es, eine erste Grundlage zu schaffen für eine disziplinübergreifende Diskussion zum Thema Industrie 4.0 in der Bauwirtschaft, in welcher sowohl fachliche (Was sind die technischen Herausforderungen der Industrie 4.0 in der Bauwirtschaft?), berufspädagogisch-didaktische (Warum und wie kann Industrie 4.0 praktisch in der Vermittlungstätigkeit umgesetzt werden?) und bildungspolitische Fragen (Was bedeutet Industrie 4.0 für die aktuellen Ausbildungsberufe?) angesprochen werden können.

1 Einleitung

Durch die zunehmende Digitalisierung im Kontext von Industrie 4.0 und der aktuell steigenden Verbreitung des Building Information Modeling (BIM) in der Bauwirtschaft sowie den stetig wachsenden technischen Möglichkeiten und der steigenden Rechenleistung wird die Anwendung und Nutzung von automatisierten Gebäudeerstellungssystemen aktuell weiter vorangetrieben. Solche Systeme können schließlich sowohl die digitale Planung wie auch die autonome Erstellung eines Gebäudes einbeziehen.

Im Zusammenhang dieses Beitrags ist die Studie von Dengler und Matthes betrachtenswert. Hier wird sich der Frage angenommen, welche Berufszweige heute, auf Grund des derzeitigen Stands der Digitalisierung, (teilweise) ersetzt werden könnten.¹ Hervorzuheben ist die Feststellung, dass Helferberufe und Fachkraftberufe einem ähnlich hohen Substituierbarkeitspotenzial durch den aktuellen Stand der Digitalisierung ausgesetzt sind.² Im Schluss der Studie wird gefordert, dass bei der Ausbildung von Fachkräften die fortschreitende Digitalisierung stärker berücksichtigt werden sollte, um den Wegfall dieser Berufsgruppen entgegenzu-

¹ Dengler & Matthes sprechen von Substituierbarkeitspotenzialen. Um diese herauszufinden wird auf verschiedene Quellen zurückgegriffen und eine Systematik entwickelt, um den Grad der Substituierbarkeit qualitativ zu bewerten. Die Bewertung erfolgt in den Stufen gering, mittel und hoch.

² Laut Dengler & Matthes verhält sich das Substituierbarkeitspotenzial bei Berufen in der Baubranche leicht unterschiedlich zu anderen Berufsgruppen. Hier sind Helfer und Experten schwerer zu substituieren als Fachkräfte und Spezialisten. Begründet wird dieses mit den heutigen Möglichkeiten durch den Einsatz von Computern bei Planung und Berechnung. (vgl. Dengler & Matthes, 2015, 13-16)

wirken (vgl. Dengler & Matthes, 2015, 13-23.). Nicht eingegangen wird auf die Fragestellung, ob lediglich eine Verschiebung der Tätigkeitsbereiche in den Berufsgruppen durch Digitalisierung stattfindet und inwieweit Möglichkeiten geschaffen werden können, mit welchen die Berufsgruppen unterstützt werden können bzw. inwiefern aktuell gültige Ausbildungsstandards angepasst werden müssten.

Der vorliegende Beitrag soll anhand eines prototypischen Beispiels einen ersten qualitativen Zugang schaffen, um im Kontext der gewerblich-technischen Ausbildung im Bauwesen diesen Fragen nachgehen zu können. Verknüpfungspunkte zu akademischen Berufsgruppen oder gar diese selbst sind ausdrücklich nicht Gegenstand dieses Beitrags. Auswirkungen der Digitalisierung, insbesondere der BIM-Methode, im Kontext der akademischen Berufszweige wurden u. a. in Karl et. al. (2015) und Karl et. al. (2016) betrachtet.

2 Methodik der Studie

Anhand eines an der Universität Duisburg-Essen existierenden Seilroboter-Prototypen führen die Autoren Analysen hinsichtlich der Arbeitsweise des Seilroboters innerhalb der Rohbauerstellung durch. Basierend darauf werden mögliche Beeinflussungen auf bisherige Material- und Arbeitsprozesse bis hin zu Veränderungen im Baustellenlayout identifiziert.

Auf Basis der somit erfassten (tw. neuen Randbedingungen) werden in einer qualitativen Analyse generelle Einflüsse auf das gewerblich-technische Personal erarbeitet und innerhalb von drei relevanten Berufsbildern (Baugeräteführer/in, Maurer/in, Bauzeichner/in) die Auswirkungen auf das Tätigkeitsfeld exemplarisch dargestellt.

Die Analyseergebnisse werden den entsprechenden Verordnungen und Rahmenlehrplänen der exemplarisch ausgewählten Berufe gegenübergestellt, um somit Anknüpfungspunkte in relevanten Lernfeldern zu identifizieren.

Schließlich werden Vermittlungsoptionen zur Umsetzung im bautechnischen Unterricht vorgeschlagen, welche bereits in der aktuellen Situation am Lernort Schule umgesetzt werden könnten.

3 Veränderungen auf der Baustelle am Beispiel eines Seilroboters

Der Einfluss der automatisierten Gebäudeerstellung auf die gewerbliche Berufsbildung soll im Folgenden anhand der aktuellen Forschung an der Universität Duisburg-Essen aufgezeigt werden. In dieser wird ein seilbasierter Roboter entwickelt, der zuerst Mauerwerksarbeiten, später weitere Gewerke, im Rohbau teilautonom ausführt. Seit Dezember 2016 existiert ein Demonstrator mit den Abmessungen L/B/H = 12,0 m/1,5 m/5,0 m welcher in der Lage ist, Steine zu einfachen Wandscheiben zusammenzustellen. Die Fähigkeiten des Prototyps sollen in den geplanten Folgeprojekten kontinuierlich erweitert werden, z. B. um das automatisierte Bemörteln.

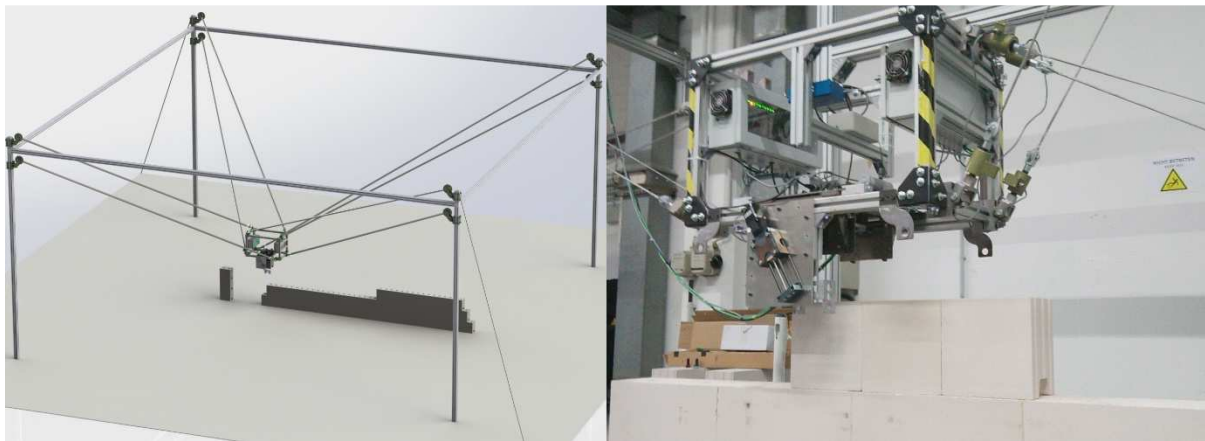


Abbildung 1: Seilroboter zur Mauerwerkserstellung (Bild links Meik (2016), Bild rechts eigene Aufnahme)

Die Abbildung 1 zeigt das angestrebte langfristige Konzept und ein Detail des Greifers des aktuellen Prototyps. Am Prototyp können bereits jetzt viele sich ergebende interdisziplinäre Fragestellungen untersucht und Rückschlüsse gezogen werden.

Bedingt durch die zunehmende Digitalisierung befindet sich das Bauwesen im Wandel. Aktuelle Schlagworte sind u. a. Industrie 4.0, Cloud-Computing und das Building Information Modeling (BIM). Um die Auswirkungen für die berufliche Bildung zu erfassen, werden im Folgenden die Veränderungen, welche sich durch die Verwendung eines Seilroboters bei der Mauerwerkserstellung ergeben, identifiziert und davon wesentliche Anpassungen an der Baustelle abgeleitet.

Grundsätzlich muss festgestellt werden, dass aus Sicht des Arbeitsprozesses ein automatisiertes Gebäudeerstellungssystem hochsensibel ist. Fehlerhafte Prozessabläufe oder falsche Materialien welche der Mensch bisher, wie selbstverständlich, ausgleichen konnte, führen bei der automatisierten Gebäudeerstellung zu sofortigen Stillstandzeiten. Der Erstellungsprozess des gesamten Rohbaus wird bei aufkommenden Störungen unterbrochen und zusätzliche (hohe) Kosten entstehen.

In Abbildung 2 ist eine beispielhafte Baustelle einerseits konventionell, d. h. ohne Seilroboter (links) und andererseits mit Seilroboter (rechts) dargestellt.

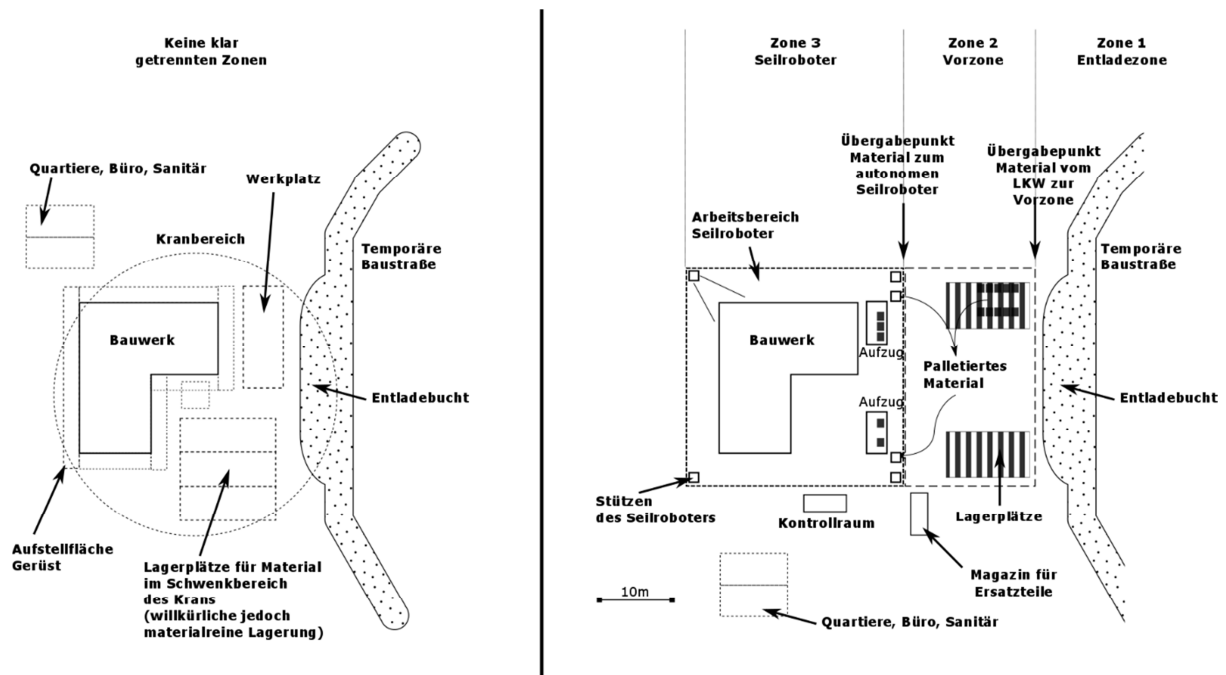


Abbildung 2: Veränderungen auf der Baustelle (in Anlehnung an Bruckmann et.al. 2017)

Ohne Seilroboter ist eine klassische Aufteilung mit Turmdrehkran, Materiallagerplätzen, Werkplatz, Gerüstflächen und Baustraße zu sehen. Die dargestellte Baustelle mit Seilroboter ist hingegen in 3 Zonen eingeteilt. Zone 1 ist die Materialanlieferungszone. Hier kommen LKW mit den benötigten Materialien an und werden durch Gabelstapler entladen. Zone 2 ist die sogenannte Vorzone. In dieser werden die Materialien gelagert und für den Roboter in verarbeitbare Einheiten vorkonfektioniert. Zone 3 ist der Arbeitsbereich des eigentlichen Roboters. Hier findet der Bauprozess weitgehend autonom statt. Der Mensch sollte diese Zone während der Laufzeit des Roboters nicht betreten da ein erhebliches Verletzungsrisiko besteht. Hohe Lasten werden mit Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde transportiert (der Prototyp transportiert 6-DF Kalksandsteine derzeit mit ca. 0,5 m/s, die derzeitige Maximalgeschwindigkeit liegt bei ca. 4,0 m/s).

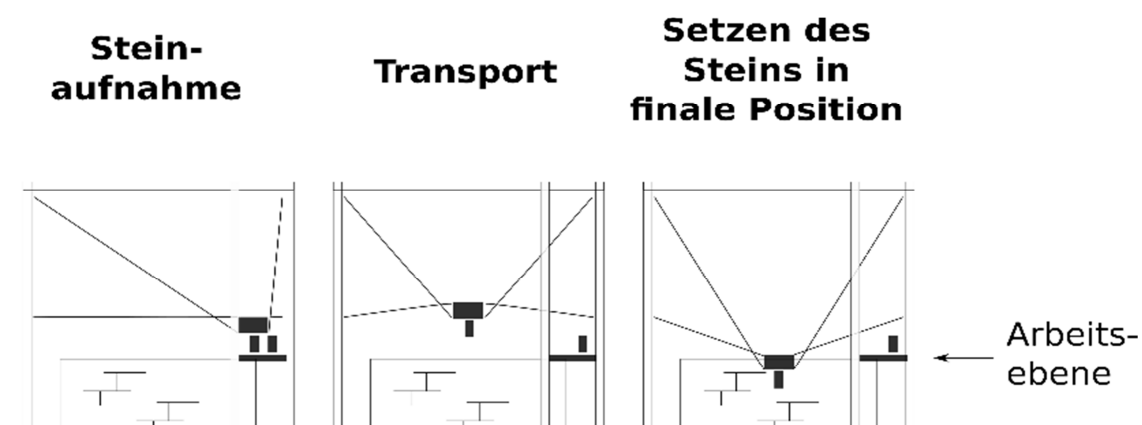


Abbildung 3: Mauerprozess des Seilroboters (übersetzt aus Bruckmann et.al. 2017)

Prozess des Materialtransports, konventionell



Prozess des Materialtransports, mit Seilroboter



Abbildung 4: Vergleich der Prozessketten des Materialflusses (übersetzt aus Bruckmann et.al. 2017)

Bei der Prozessanalyse des Materialflusses wird deutlich, dass der Einsatz eines automatisierten Gebäudeerstellungssystems eine direkte Auswirkung auf die Prozessschritte hat. Die Prozesskette verkürzt sich und die Prozesse unterscheiden sich inhaltlich stark vom bisherigen konventionellen Bauprozess. Die Erstellung des Rohbaus wird durch die hohe Arbeitsgeschwindigkeit des Gebäudeerstellungssystems zudem stark beschleunigt (Abbildung 5).

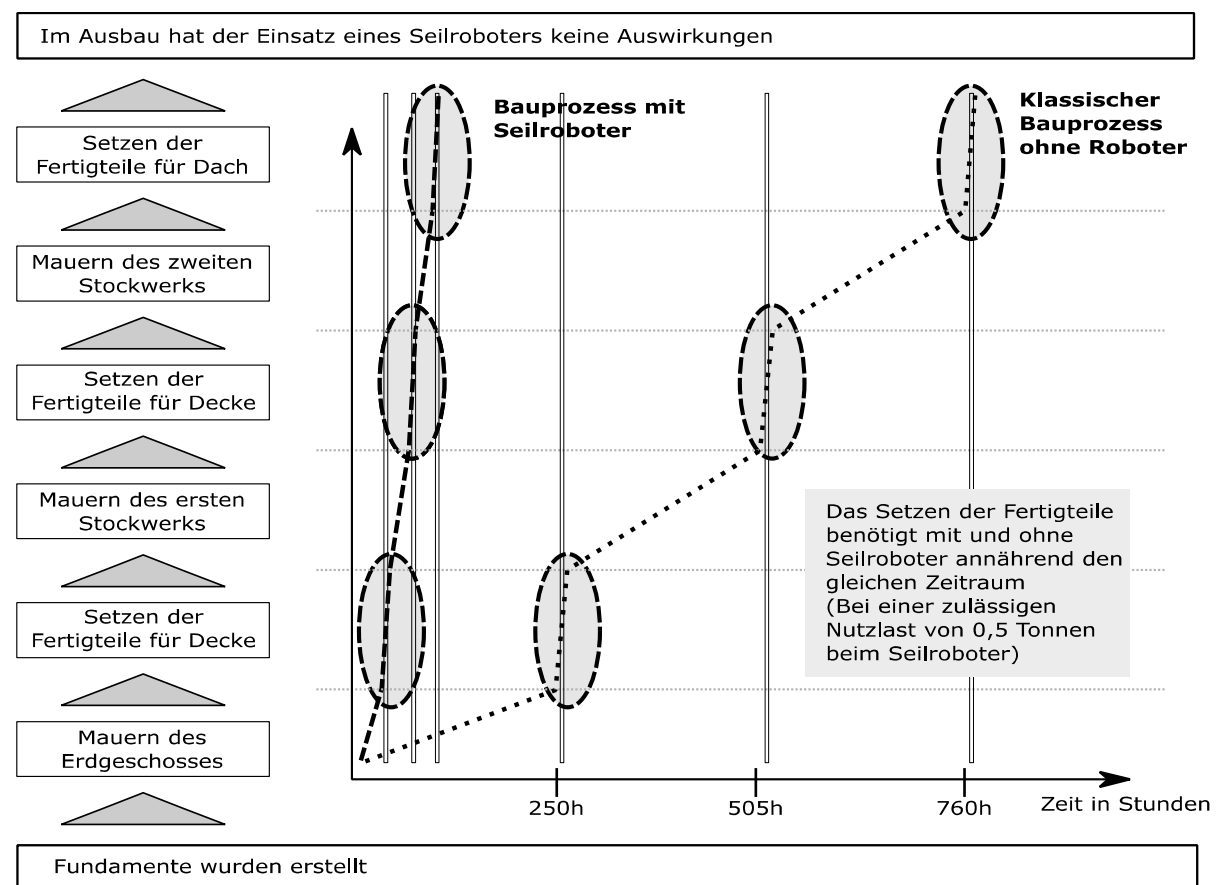


Abbildung 5: Zeitliche Veränderung der Rohbauerstellung (übersetzt aus Bruckmann et.al. 2017)

4 Auswirkungen auf das gewerblich-technische Personal

Zur Erfassung der Auswirkungen auf das gewerblich-technische Personal werden verschiedene Dimensionen betrachtet (Tabelle 1).

Dimension	Beschreibung
Vernetztes Arbeiten	Veränderung der Zusammenarbeit durch vernetztes Arbeiten hin zur Kollaboration.
Unterstützung durch Technik	Unterstützung vieler Arbeitsschritte durch (teil-) automatisierte Systeme
Veränderte Bauprozesse	Veränderungen der Prozesse und Büroabläufe, sowohl in der Planung als auch durch Einzug von IKT und Robotik insbesondere in der Ausführung auf der Baustelle.
Interaktion mit Maschinen	Zusätzliche Beschäftigung in der Mensch - Maschine und Maschine - Maschine Interaktion. Letztere muss vom Menschen überwacht werden.
Virtuelles Arbeiten	Zunehmende Visualisierung von virtuellen Objekten im realen Umfeld.
Datenflut	Steigende Datengrundlage muss gehandhabt werden, auch für handwerkliche Arbeiten.

Tabelle 1: Betrachtete Dimensionen

Tabelle 1 zeigt, dass eine Verschiebung von ursprünglich vermehrt exekutiver Arbeit in Richtung steuernder und interagierender Arbeiten stattfinden wird. Die aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeit zeigt darüber hinaus, dass sich Unternehmen derzeit verstärkt darüber Gedanken machen, wie sie Arbeiten weiter (voll-) automatisieren können, was in relativ kurzer Zeit zu weiteren signifikanten Veränderungen in allen Bereichen der Bauwirtschaft führen wird.

Um die Auswirkungen auf die gewerbliche Berufsbildung in einem ersten Schritt untersuchen zu können, werden die in Tabelle 2 exemplarisch ausgewählten Berufsbilder (Baumaschinenführer/in, Maurer/in und Bauzeichner/in) anhand der wesentlichen Tätigkeiten erfasst und Beeinflussungen im Rahmen einer automatisierten Gebäudeerstellung lokalisiert (in der Tabelle sind die Tätigkeiten mit den stärksten anzunehmenden Veränderungen hervorgehoben).

Die in Tabelle 1 dargestellten Dimensionen werden im Folgenden in ihren Auswirkungen auf die hervorgehobenen Tätigkeitsbereiche der betrachteten Berufsbilder, welche insbesondere durch die Verwendung eines automatisierten Gebäudeerstellungssystems (Seilroboter) beeinflusst werden (Tabelle 2), in Bezug gesetzt.

Berufsbild	Wesentliche Tätigkeiten
Baumaschinenführer/in	Baumaschinen (Bm) aufstellen und einrichten; Bm bedienen und fahren; Bm transportieren; Bm warten und pflegen; Reparaturarbeiten an Bm durchführen; Sicherheits- und Umweltschutzbestimmungen beachten; stationäre Anlagen bedienen.
Maurer/in	Vorbereitende Arbeiten ausführen; Gerüste, Verschalungen, Lehrgerüste bauen; Bauwerke und Bauwerksteile, Mauerwerk herstellen; Innen- und Außenputze herstellen; Dämm- und Isolierstoffe einbauen; Leichtbauwände errichten; Estriche und Bodenbeläge herstellen; Mauerwerk veredeln; Außenwandbekleidungen herstellen; Abbruch- und Stemmarbeiten ausführen; Baumaschinen und -geräte für den Hochbau bedienen, pflegen und warten; Werkzeuge säubern; Ausführungsqualität der Arbeiten prüfen; Aufmaß erstellen
Bauzeichner/in	Arbeitsabläufe auftragsbezogen planen und koordinieren; Bauzeichnungen für Bauplanung und Ausführung erstellen; Vermessungsarbeiten durchführen; Dokumentationen und Zeichnungen für Präsentationen anfertigen; bei der Erstellung von Ausschreibungsunterlagen mitwirken; Bauanträge unter Beachtung von Bauvorschriften ausarbeiten; einfache statische Nachweise berechnen; Abrechnungszeichnungen anfertigen und bei Bauabrechnungen mitwirken.
Die hervorgehobenen Tätigkeitsbereiche werden insbesondere durch das automatisierte Gebäudeerstellungssystem beeinflusst.	

Tabelle 2: Beschreibung der exemplarischen Berufsbilder (Bundesagentur für Arbeit, 2017a, 2017b, 2017c)

Wie bereits in Abbildung 2 dargestellt, wird sich vor allem das Baustellenlayout im Tätigkeitsfeld der Baumaschinenführung stark verändern (Tabelle 3). Das umfasst besonders die Veränderung der Bauprozesse und die Interaktion mit Maschinen.

Die aktuellen Entwicklungen zeigen, dass z. B. Baumaschinen mit Assistenzsystemen und Maschinensteuerungen zunehmend Anwendung finden. Im Erdbau wird z. B. mittels GPS-Daten und Neigungssensoren die Führung des Baggerlöffels entlang eines digitalen Geländemodells gesteuert. Andere Assistenzsysteme, teilweise mit 3-D-Steuerung, vereinfachen z. B. die Herstellung eines exakten Planums im Straßenbau.

Derzeitige Forschungen beschäftigen sich zudem mit der Vereinigung von realer und digitaler Welt (Augmented Reality Technologien). Um zu vermeiden, dass existierende unterirdische Rohrleitungen und Kabel während der Aushubarbeiten Beschädigungen erleiden, werden diese beispielsweise auf ein Display oder eine Datenbrille eingeblendet. Der Einsatz dieser Technologien verändert zunehmend die Bedienungsweise der Baumaschinen vor Ort wie auch die Einsatzplanung der Geräte.

	Dimension	Vernetztes Arbeiten	Unterstützung durch Technik	Veränderte Bauprozesse	Interaktion mit Maschinen	Virtuelles Arbeiten	Datenflut
Tätigkeitsfeld							
Bm aufstellen und einrichten		++	++	+++	+++	+++	-
Bm bedienen und fahren		+++	+++	+++	+++	+++	+
Bm transportieren		++	++	-	++	+	-
stationäre Anlagen bedienen		++	++	+++	+++	++	-
Ausprägung der Auswirkung: gar nicht (-), gering (+), mittel (++) und hoch (+++); Bm = Baumaschinen							

Tabelle 3: Auswirkungen auf das Tätigkeitsfeld von Baumaschinenführern

Das automatisierte Gebäudeerstellungssystem zu bedienen stellt somit eine weitere Veränderung in der Maschinensteuerung und ist somit eine der massivsten Veränderungen welche nahezu alle betrachteten Dimensionen einbezieht. Ebenso die Bedienung stationärer Anlagen. Demgegenüber unterliegt der Transport zwar auch Veränderungen. Diese sind im Vergleich zu den anderen betrachteten Tätigkeiten jedoch nicht in dem Maße anzunehmen. Insgesamt kann hier festgestellt werden, dass v. a. in den Dimensionen "veränderte Bauprozesse" und "Interaktion mit Maschinen" die stärksten Beeinflussungen zu erwarten sind.

Da innerhalb dieses Beitrags die Auswirkungen der Industrie 4.0 auf die gewerbliche Berufsbildung anhand der automatisierten Gebäudeerstellung mit Hilfe eines Seilroboters betrachtet wird, liegt es nahe, dass sich gerade im Mauerwerksbau vielfältige Effekte ergeben werden (Tabelle 4).

Das bedeutet, dass die Vorbereitung wie auch besonders die Herstellung des Bauwerks bzw. der Bauwerksteile und hier speziell die Erstellung von Mauerwerk durch nahezu alle betrachteten Dimensionen beeinflusst werden. Daneben wird der Prüfung von Ausführungsqualitäten eine besondere Rolle zukommen. Die/der Maurer/in wird zukünftig mehr die Aufgabe erhalten die vom automatisierten Gebäudeerstellungssystem erbrachte Leistung qualifiziert zu prüfen und ggf. auch handwerklich anzupassen. Mehr noch, wird es notwendig sein den Produktionsprozess zu verstehen, (mit-)planen und organisieren zu können.

	Dimension	Vernetztes Arbeiten	Unterstützung durch Technik	Veränderte Bauprozesse	Interaktion mit Maschinen	Virtuelles Arbeiten	Datenflut
Tätigkeitsfeld							
Vorbereitende Arbeiten ausführen		++	++	+++	+	+++	++
Bauwerke und Bauwerksteile herstellen		+++	+++	+++	+++	+++	+++
Mauerwerk herstellen		+++	+++	+++	+++	+++	+++
Außenwandbekleidungen herstellen		+++	+++	++	+++	+++	+++
Baumaschinen und -geräte für den Hochbau bedienen, pflegen und warten		++	+	+++	+++	++	+
Ausführungsqualität der Arbeiten prüfen		+++	++	+++	-	++	+++
Ausprägung der Auswirkung: gar nicht (-), gering (+), mittel (++) und hoch (+++)							

Tabelle 4: Auswirkungen auf das Tätigkeitsfeld von Maurern

Auf Grund der Sensibilität des automatisierten Gebäudeerstellungssystems im Bauprozess (alles hängt vom einwandfreien Betrieb des Seilroboters als Leitgerät ab) müssen Entscheidungen direkt vor Ort herbeigeführt werden. Von daher wird ersichtlich, dass es auch in diesem Tätigkeitsfeld mehr zur Umsetzung von dispositiven Arbeiten kommen wird und somit vermehrt Führungs- und Managementaufgaben diesem Feld zuzuordnen sind.

Im Tätigkeitsfeld von Bauzeichner/innen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) erscheint eine generelle Betrachtungsweise sinnvoll, da diese Berufsgruppe bereits von einem frühen Zeitpunkt an bei der Konzeption und Planung eines Bauvorhabens involviert ist.

Dimension	Vernetztes Arbeiten	Unterstützung durch Technik	Veränderte Bauprozesse	Interaktion mit Maschinen	Virtuelles Arbeiten	Datenflut
Tätigkeitsfeld						
Arbeitsabläufe auftragsbezogen planen und koordinieren	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Bauzeichnungen für Bauplanung und Ausführung erstellen	+++	+++	+++	+	+++	+
Bei der Erstellung von Ausschreibungsunterlagen mitwirken	+++	+++	+++	-	+	++
Ausprägung der Auswirkung: gar nicht (-), gering (+), mittel (++) und hoch (+++)						

Tabelle 5: Auswirkungen auf das Tätigkeitsfeld von Bauzeichnern

Bereits im Jahre 1986 wurde bei der Neuordnung der Ausbildung nach dem Berufsbildungsgesetz eine Modernisierung der Ausbildungsinhalte hinsichtlich rechnergestützten Zeichnens und Konstruierens umgesetzt. Weitere technologische Neuerungen in der EDV, z. B. die Einbeziehung moderner Informations- und Kommunikationstechniken (IKT), wurden im Jahre 2002 einbezogen.

Wenngleich die o. g.. Novellierungen weiter gehen als in den anderen beiden betrachteten Berufsgruppen, sind in den von uns einbezogenen Dimensionen weitere Veränderungen zu erwarten. Da z. B. die BIM-Methode das Projekt im Idealfall als multiprofessional und kollaborativ geplantes Bauwerk innerhalb seines Lebenszykluses betrachtet, wird die Planung und Koordinierung der Arbeitsabläufe durch alle Dimensionen beeinflusst. Durch die Verwendung von automatisierten Gebäudeerstellungssystemen müssen auch die Bauzeichnungen, insbesondere für die Ausführung, auf die Verwendung innerhalb eines solchen Systems ausgerichtet werden. Dabei wird es nicht nur um die Erstellung selbst gehen, sondern auch um die Validierung der Pläne hinsichtlich der einwandfreien Umsetzung auf der Baustelle, was voraussetzt, dass auch Kenntnisse vorliegen müssen über die veränderten Bauprozesse bei der praktischen Umsetzung der Bauwerkserstellung. Die Validierung der Planung geschieht vorteilhafter Weise in einem virtuellen Gebäudemodell. Daneben ist auch zu berücksichtigen, dass bei der Erstellung von Ausschreibungsunterlagen bereits jetzt mit technischer Unterstützung vernetzt gearbeitet wird und eine immer größer werdende Menge an Daten organisiert werden müssen.

4.1 Zwischenfazit

Anhand der durchgeführten qualitativen Analyse zeigt sich, dass insgesamt betrachtet die Dimension „veränderte Bauprozesse“ den größten Einfluss auf die betrachteten Berufsbilder hat, gefolgt von den Dimensionen „vernetztes Arbeiten“ und „Unterstützung durch Technik“.

Im Durchschnitt zeigt sich beim Vergleich der betrachteten Berufsbilder die höchste Beeinflussung durch ein automatisiertes Gebäudeerstellungssystem bei der Gruppe der Bauzeichner/innen, gefolgt von Maurer/innen und den Baumaschinenführer/innen. Nichtsdestotrotz wird v. a. das Berufsfeld der Maurer/innen einen der massivsten Umbrüche durch die Verwendung von automatisierten Gebäudeerstellungssystemen erleben.

Bei den Baumaschinenkräften könnte zwar davon ausgegangen werden, dass die Bedienung der neuen Technologie ähnlich handhabbar sein könnte, wie es aktuell beim Betrieb von z. B. GPS-gesteuerten Baugeräten der Fall ist, in welchen eine Einführung/Schulung stattfindet. Demgegenüber muss jedoch bedacht werden, dass ein automatisiertes Gebäudeerstellungssystem ein vergleichsweise komplexes System ist, für dessen Betrieb und Wartung aller Wahrscheinlichkeit weitreichendere Kompetenzen erforderlich sein werden.

5 Konsequenzen für die Bauausbildung

Um Anknüpfungspunkte in relevanten Lernfeldern zu identifizieren, werden im Folgenden die Ergebnisse der qualitativen Analyse den entsprechenden Verordnungen und Rahmenlehrplänen der exemplarisch ausgewählten Berufe gegenübergestellt.

Wie bereits zuvor dargelegt, wird zwar aktuell viel über Neuerungen in der Bauwerkserstellung hinsichtlich der Verwendung von Assistenzsystemen bei Baugeräten berichtet, jedoch sind diese neuen Trends und Entwicklungen gerade im Berufsbild der Baugeräteführer/innen bislang in keine novellierte Verordnung oder den Rahmenlehrplan eingeflossen.

Am Beispiel Baugeräteführer/in (siehe KMK, 1997) können fünf Anknüpfungspunkte in den entsprechenden Lernfeldern identifiziert werden, auf welche die Verwendung eines automatisierten Gebäudeerstellungssystems Einfluss haben würde (Tabelle 6).

LF	BEZEICHNUNG	WEITERE LERNZIELE
1	Einrichten einer Baustelle	Automatisierte Arbeitsabläufe und Prozesse kennen, Stell- und Verkehrsflächen für die automatisierte Gebäudeerstellung planen und bewerten können
2	Errichten einer Mauer	Herstellung von Mauerwerk mit Automatisierungstechnologie planen können (insb. planen und prüfen von Versetzplänen)
7	Handhaben elektrischer Anlagen	Grundzusammenhänge und Sicherheit in automatisierten elektrischen Anlagen kennen, Daten integrieren und Programmierungen im Bedarfsfall anpassen können.
8	Warten von Triebwerken	Aufgaben und Wirkungsweisen von automatisierten Technologien kennen.
9	Instandhalten der Fahrwerke	Instandhaltung und Wartung von automatisierten Technologien kennen und umsetzen können.

Tabelle 6: Anknüpfungspunkte in den Lernfeldern am Beispiel Baugeräteführer/in

Im Lernfeld 1 müssten weitere Lernziele definiert werden, welche sich mit den veränderten Arbeitsabläufen und Prozessen auseinandersetzen. Auf Grund der Tatsache, dass sich das

Baustellenlayout grundsätzlich verändert, müssen Stell- und Verkehrsflächen für die automatisierte Gebäudeerstellung geplant und auch bewertet werden können.

Die Herstellung von Mauerwerk mit Hilfe der Automatisierungstechnologie müsste im Lernfeld 2 thematisiert werden. Hier sollte insbesondere an die bereits bekannten Versetzpläne angeknüpft werden, da auch für die automatisierte Gebäudeerstellung unter Verwendung eines Seilroboters u. a. die korrekte Planung einer Versetzreihenfolge ein wesentlicher Erfolgsfaktor bei der zügigen Erstellung des Bauwerks ist. Bei der Handhabung elektrischer Anlagen im Lernfeld 7 sollten die Baugeräteführer/innen die Grundzusammenhänge und Sicherheitsaspekte in automatisierten elektrischen Anlagen kennen wie auch die entsprechenden Daten im System integrieren können.

Des Weiteren erscheint es sinnvoll, in der Lage zu sein, Programmierungen im Bedarfsfall direkt vor Ort anpassen zu können wie auch im Lernfeld 8 Aufgaben und Wirkungsweisen von automatisierten Technologien zu kennen bzw. im Lernfeld 9 Instandhaltung und Wartung von automatisierten Technologien kennen und umsetzen zu können, um längere Stillstandzeiten zu vermeiden bzw. diese möglichst zu minimieren.

Ähnlich wie bei der Baugeräteführung müssen auch bei Maurer/innen (siehe KMK, 1999) im Lernfeld 1 die veränderten Arbeitsabläufe und Prozesse, welche sich durch das veränderte Baustellenlayout ergeben, bekannt sein (Tabelle 7).

LF	BEZEICHNUNG	WEITERE LERNZIELE
1	Einrichten einer Baustelle	siehe Baugeräteführer/in (automatisierte Arbeitsabläufe und Prozesse kennen, Stell- und Verkehrsfläche für die automatisierte Gebäudeerstellung planen und bewerten können).
3	Mauern eines einschaligen Baukörpers	Kennen Grundlagen zur roboterverträglichen Ausführung von Mauerwerk: Kennen z. B. Maueranschlüsse und Mauereinbindungen und können diese ausführen (z. B. für Anpassungs- und Reparaturarbeiten).
7	Mauern einer einschaligen Wand	In der Lage, sein Mauerwerk aus Großformaten für die Automatisierung (als neue Versetztechnik) zu planen, zu prüfen und zu optimieren (Arbeiten mit digitalen Versetzplänen).
16	Mauern besonderer Bauteile	Kennen Maßnahmen zum Angleichen von unregelmäßigen Mauerwerkskonstruktionen (z. B. schiefwinkliges Mauerwerk) und können diese handwerklich umsetzen.

Tabelle 7: Anknüpfungspunkte in den Lernfeldern am Beispiel Maurer/in

In Bezug zur konkreten handwerklichen Tätigkeit sollten im Lernfeld 3 die Grundlagen zur roboterverträglichen Ausführung von Mauerwerk behandelt werden, um Kenntnisse zu erlangen bzgl. Maueranschlüsse und Mauereinbindungen welche im Rahmen von Anpassungs- und Reparaturarbeiten während des Bauprozesses umzusetzen sind.

Zudem sollten die Maurer/innen in der Lage sein, das Mauerwerk aus Großformaten für die Automatisierung (als neue Versetztechnik) zu planen, zu prüfen und zu optimieren. Aus diesem Grund empfiehlt es sich im Lernfeld 7 mit digitalen Versetzplänen zu arbeiten.

Da bei Verwendung eines automatisierten Gebäudeerstellungssystems nicht immer davon ausgegangen werden kann, dass jede Mauerwerksgeometrie erstellbar ist, sollten im Lernfeld

16 Maßnahmen zum Angleichen von unregelmäßigen Mauerwerkskonstruktionen (z. B. schiefwinkliges Mauerwerk) bekannt sein wie auch die handwerkliche Umsetzung im Kontext einer automatisierten Baustelle vermittelt werden.

Mit Bezug zur automatisierten Baustelle ergeben sich bei der Gruppe der Bauzeichner/innen (siehe KMK, 2002) sechs wesentliche Anknüpfungspunkte (Tabelle 8). Auf Grund der anzunehmenden Steigerung von digital generierten und zu verarbeitenden Daten ergeben sich bereits im Lernfeld 1 (Mitwirkung bei der Bauplanung) wichtige Aspekte, welche zu adressieren wären. Hier sollten Bauzeichner/innen als aktive (und in der Praxis zum großen Teil verantwortliche Personen) Formen der Datenorganisation und des Datenmanagements in Bezug auf Kollaborationsplattformen kennen. Hier sollten bereits grundlegende Arten des Datentransfers, Informationsflüsse und auftretende Schnittstellen adressiert werden, um in der Lage zu sein, Datenspeicherungsstrategien zu planen und auch praktisch umsetzen zu können.

In den Lernfeldern 3 und 4 bietet es sich an die digitale Modellierung auf die automatisierte Gebäudeerstellung zu erweitern und anhand von praktischen Beispielen umzusetzen. Ferner sollten Bauzeichner/innen als Ersteller/innen bzw. Bearbeiter/innen von Modellen auch in die Lage versetzt werden, fremde Modelle nachvollziehen und deren Inhalt validieren zu können.

LF	BEZEICHNUNG	WEITERE LERNZIELE
1	Mitwirkung bei der Bauplanung	Datenorganisation und Datenmanagement in Bezug auf Kollaborationsplattformen kennen, Datenspeicherungsstrategien planen und umsetzen können.
3+4	Erschließung + Planung Gründung	3D/xD Modelle für die automatisierte Ausführung erstellen können, fremde Modelle validieren können.
5	Planen eines Kellergeschosses	Kennen Grundlagen zur roboterverträglichen Ausführung von Mauerwerk, können Versetzpläne für die automatisierte Ausführung erstellen, prüfen und optimieren.
10A	Erstellen eines Bauantrages	Datenaustauschstrategien für die automatisierte Ausführung planen und umsetzen können, Daten validieren können, Schnittstellenprobleme identifizieren und Gegenmaßnahmen vorschlagen können.
11A	Außenwand entwerfen	Außenwandkonstruktionen für die automatisierte Ausführung entwerfen können.

Tabelle 8: Anknüpfungspunkte in den Lernfeldern am Beispiel Bauzeichner/in

Ähnlich wie bei den zuvor betrachteten Berufsbildern erscheint es auch in diesem Fall als zwingend, Grundlagen zur roboterverträglichen Ausführung von Mauerwerk zu kennen wie auch die Fähigkeit zu besitzen, Versetzpläne für die automatisierte Ausführung erstellen, prüfen und optimieren zu können. Dieses kann im Lernfeld 5 adressiert werden.

Anknüpfend an das Lernfeld 1 sollten bei der Erstellung eines Bauantrags (Lernfeld 10A) die Planung und Umsetzung von Datenaustauschstrategien für die automatisierte Ausführung, die technische Validierung von Daten wie auch die Identifikation und ggf. erste Schritte zur Behebung von Schnittstellenproblemen berücksichtigt werden.

Schließlich kann im Lernfeld 11A bei dem Entwurf einer Außenwandkonstruktion die automatisierte Ausführung ebenfalls als Thema berücksichtigt werden.

Aus der durchgeführten Analyse wird ersichtlich, dass die Einbeziehung der automatisierten Gebäudeerstellung in die verschiedenen Lernfelder der betrachteten Berufsbilder potentiell möglich scheint. Im Folgenden werden grundlegende Optionen vorgeschlagen, welche bereits in der aktuellen Situation am Lernort Schule umgesetzt werden könnten, um die o. g. zusätzlichen Lernziele zu adressieren.

6 Vermittlungsoptionen

Es hat sich bisher gezeigt, dass bei der Einführung von automatisierten Gebäudeerstellungssystemen v. a. die Dimensionen „veränderte Bauprozesse“, „vernetztes Arbeiten“ und „Unterstützung durch Technik“ großen Einfluss auf die betrachteten Berufsbilder haben wird.

Zur Vermittlung der für die Ausübung der beruflichen Tätigkeit notwendigen neuen fachlichen Fertigkeiten und Kenntnisse, welche im vorherigen Kapitel anhand der drei exemplarischen Berufsbilder dargestellt wurden, erscheint es sinnvoll ein im Lernort Schule wiederkehrendes lernfeldübergreifendes Projekt einzuführen, welches im Verlauf der Zeit aus verschiedenen Lernfeldern betrachtet bearbeitet wird.

Der Arbeitsauftrag „Einfamilienhaus“ (als Beispiel), welches im Rohbau mit Hilfe eines automatisierten Gebäudeerstellungssystems zu errichten ist, kann in verschiedene Arbeitsaufgaben unterteilt werden, welche von unterschiedlichen Teams innerhalb einer Klasse bearbeitet werden.

Die Bearbeitung sollte durchgehend EDV-gestützt umgesetzt werden, vorzugsweise unter Einbeziehung einer Kollaborations-/Austauschplattform. Solche Plattformen werden bereits in vielen Schulen zum Informations- und Datenaustausch eingesetzt, so dass vielerorts auf vorhandene Infrastruktur zurückgegriffen werden kann. So kann z. B. auch die Projektmappe ausschließlich elektronisch innerhalb der Plattform geführt werden, was den realen Gegebenheiten in der Bauindustrie in vielen Fällen entspricht.

Wenngleich vorhandene technische Infrastruktur vorhanden sein mag, kann eine Herausforderung indes die Auswahl, Beschaffung und der Betrieb von notwendiger geeigneter Software zur Umsetzung eines solchen kollaborativen Vermittlungsszenarios sein. Hier können Gespräche mit Ausbildungsbetrieben und anderen Partnern aus Industrie und Wissenschaft hilfreich sein, um die für den Ausbildungsgang sinnvolle Software-Konfiguration zusammenstellen zu können. Des Weiteren müssen die involvierten Lehrkräfte sowohl methodisch als auch inhaltlich-technisch vertraut sein mit der Bearbeitungsweise des Projekts. Hier ist es ggf. zwingend notwendig motivierte Lehrkräfte entsprechend zu schulen bzw. bereits versierte Lehrkräfte des Kollegiums als Multiplikatoren (und Motivatoren!) zu gewinnen. Als weitere nicht zu verachtende Herausforderung stellt sich die notwendige Offenheit der Schülerinnen und Schüler für die durchgängige Nutzung der virtuellen Kollaborationsplattform bei der Projektarbeit.

Angelehnt an die Arbeitsweise in der Praxis kann das o. g. Projektbeispiel ebenfalls als gewerkeübergreifendes Projekt innerhalb einer Schule umgesetzt werden. Das bedeutet, dass die Projektteams professionsbezogen zusammengestellt werden und Teilaufgaben entsprechend ihres eigenen Ausbildungsgangs zugeteilt bekommen. In diesem Fall würden z. B. an-

gehende Baugeräteführer/innen, Maurer/innen und Bauzeichner/innen gemeinsam das Projekt bearbeiten und Aufgaben entsprechend der o. g. zusätzlichen Lernziele bearbeiten.

Wenngleich diese Umsetzungsoption sehr praxisnah ist, bedingt sie jedoch einen weitaus höheren Koordinierungsaufwand im Kollegium. Die verschiedenen Lehrkräfte müssten in diesem Zusammenhang auch selbst bereit sein für Kollaboration und unabhängig von der gemeinsamen Planung des Projekts auch bereit sein, als Team in vereinzelter Unterrichtseinheiten zu agieren (zumindest in gemeinsamen Reflexionsphasen).

Diese Umsetzungsform könnte am Ende sogar soweit geführt werden, dass die Bearbeitungsteams des lernfeld- und gewerkeübergreifenden Projekts nicht nur aus der eigenen Schule, sondern aus einem lokalen Schulnetzwerk zusammengestellt werden. Diese Form würde zwar die Praxis in der höchsten Realitätsstufe simulieren, doch ist hier zu bedenken, dass die Bearbeitung in Schulteams den höchsten Koordinierungsaufwand über Schulgrenzen hinweg darstellt und die Lehrkräfte erst recht offen sein müssen für Kollaboration.

Hier wäre zudem zu klären, welches Verhältnis der hohe Aufwand zum Nutzen in der Kompetenzbildung der Schülerinnen und Schüler hat. Von daher erscheint aktuell die dritte Option als theoretisch möglich, doch praktisch zum aktuellen Zeitpunkt als eher unwahrscheinlich. Unabhängig von der Umsetzung im Regelbetrieb wäre es jedoch denkbar ein solches Projekt als „Testballon“ in Form eines Schülerwettbewerbs mit Praxispartnern umzusetzen, um Erfahrungen zu sammeln und zu entscheiden, ob ein solches Vorhaben für die eigene Schule oder das lokale Schulnetzwerk sinnvoll und im Regelbetrieb umsetzbar wäre.

7 Zusammenfassung

Die Untersuchung hat gezeigt, dass Industrie 4.0 in der Bauwirtschaft, insbesondere durch die Verwendung eines automatisierten Gebäudeerstellungssystems, weitreichende Veränderungen in der gesamten Arbeitsorganisation im sozio-technischen Bereich zur Folge haben wird. Zum Beispiel werden die objektbezogenen Bauarbeiten fast ausschließlich durch das automatisierte System durchgeführt, was aller Wahrscheinlichkeit zu folgenden positiven Kausalbeziehungen führen wird: Die Produktivität der Ausführungsleistung wird durch das automatisierte Gebäudeerstellungssystem erhöht. Dieses führt gleichzeitig zur Verringerung der körperlichen Arbeitsbelastung des Baustellenpersonals. Das wiederum führt zu einer Erhöhung der physiologischen Motivation in der Belegschaft. Des Weiteren führen die veränderten Arbeitsbedingungen zu mehr Sicherheit am Arbeitsplatz was wiederum die psychologische Motivation erhöhen wird.

Daneben muss die gesamte Baustellenorganisation überdacht werden; sowohl auf operativer als auch auf Managementebene. Das bedeutet z. B., dass sich Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Kompetenzen wegen geänderter Arbeitsprozesse transformieren werden.

Die Betrachtung der potenziellen Veränderungen innerhalb der operativen Produktionsfaktoren zeigt, dass eine Verschiebung von der exekutiven Arbeit am Bauwerk selbst in Richtung dispositiver Arbeit (Planung, Management und Organisation) stattfinden wird. Die veränderten Rollen und Verantwortlichkeiten haben zur Folge, dass z. B. Facharbeiter weitere Kompetenzen und Fähigkeiten erwerben müssen. Das hat zur Folge, dass die Ausbildungskonzepte und Inhalte in der beruflichen Bildung auf die neuen Gegebenheiten angepasst werden müssen. Insbesondere die Lehrpläne für die operative Baubelegschaft müssen für eine

verstärkte dispositive Arbeit umgestaltet werden. Um ein umfassendes Verständnis der Technologie und den neuen Arbeitsmethoden zu erreichen, müssen in Abhängigkeit von den Eigenschaften des spezifischen Berufs in die Curricula weitere Themen einbezogen werden. Dieses sind insbesondere Themen aus dem Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) wie auch dem Management.

Wenngleich aktuelle Verordnungen oder Rahmenlehrpläne die Auswirkungen der Industrie 4.0 inhaltlich noch nicht erfassen, sollte es bereits jetzt möglich sein weitere für die Berufsausübung notwendige Lernziele innerhalb der Lernorte inhaltlich wie auch methodisch adressieren zu können. Die Ergebnisse dieser Studie können dahingehend Hilfestellung geben.

Literatur

- BaugeräteFAusbV (1997). Verordnung über die Berufsausbildung zum Baugeräteführer/zur Baugeräteführerin vom 12.05.1997 (BGBl. I S. 1038, 1680)
- BauWiAusbV (1999). Verordnung über die Berufsausbildung in der Bauwirtschaft vom 02.06.1999 (BGBl. I S. 1102), zuletzt geändert durch die VO vom 20.02.2009 (BGBl. I S. 399)
- BauZAusbV (2002). Verordnung über die Berufsausbildung zum Bauzeichner/zur Bauzeichnerin (BauZAusbV) vom 12.07.2002 (BGBl. I S. 2622), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 31.10.2016 (BGBl. I S. 2493)
- Bruckmann, T., Spengler, A., Karl, C., Reichert, C., & König, M. (2017). Process Analysis of Cable-Driven Parallel Robots for Automated Construction. In *Mechatronics for Cultural Heritage and Civil Engineering*. Berlin: Springer Verlag. (in Veröffentlichung)
- Bundesagentur für Arbeit (2017a). Tätigkeit nach Weiterbildung: Baumaschinenführer/in. Von <https://berufenet.arbeitsagentur.de>, abgerufen am 11.03.2017
- Bundesagentur für Arbeit (2017b). Duale Ausbildung: Maurer/in. Von <https://berufenet.arbeitsagentur.de>, abgerufen am 11.03.2017
- Bundesagentur für Arbeit (2017c). Duale Ausbildung: Bauzeichner/in. Von <https://berufenet.arbeitsagentur.de>, abgerufen am 11.03.2017
- Dengler, K., & Matthes, B. (2015). Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt: Substituierbarkeitspotenziale von Berufen in Deutschland. Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit.
- Karl, C. K.; Timm, M.; Malkwitz, A. (2016). BIM in der Projektsteuerung: Synergien, Hindernisse, Lösungen. In: *UnternehmerBrief Bauwirtschaft* Jg. 39; Nr. 10, S. 14 - 17
- Karl, C. K.; Musialek, A.; Malkwitz, A. (2015). Kompetenzprofil BIM-Manager – Was muss er leisten? In: *UnternehmerBrief Bauwirtschaft* Jg. 38; Nr. 11, S. 20 - 23
- Meik, M. (2016). Entwurf eines Endeffektors und Implementierung einer Regelung für einen Seilroboter, Master Thesis, Universität Duisburg-Essen
- KMK (1997). Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Baugeräteführer/Baugeräteführerin, Beschluss der KMK vom 13.03.1997
- KMK (1999). Rahmenlehrplan für die Ausbildungsberufe in der Bauwirtschaft, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 05.02.1999
- KMK (2002). Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Bauzeichner/Bauzeichnerin, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 14.06.2002

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Seilroboter zur Mauerwerkserstellung (Bild links Meik (2016), Bild rechts eigene Aufnahme)	5
Abbildung 2: Veränderungen auf der Baustelle (in Anlehnung an Bruckmann et.al. 2017)	6
Abbildung 3: Mauerprozess des Seilroboters (übersetzt aus Bruckmann et.al. 2017)	6
Abbildung 4: Vergleich der Prozessketten des Materialflusses (übersetzt aus Bruckmann et.al. 2017)	7
Abbildung 5: Zeitliche Veränderung der Rohbauerstellung (übersetzt aus Bruckmann et.al. 2017)	7

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Betrachtete Dimensionen	8
Tabelle 2: Beschreibung der exemplarischen Berufsbilder (Bundesagentur für Arbeit, 2017a, 2017b, 2017c)	9
Tabelle 3: Auswirkungen auf das Tätigkeitsfeld von Baumaschinenführern	10
Tabelle 4: Auswirkungen auf das Tätigkeitsfeld von Maurern	11
Tabelle 5: Auswirkungen auf das Tätigkeitsfeld von Bauzeichnern	12
Tabelle 6: Anknüpfungspunkte in den Lernfeldern am Beispiel Baugeräteführer/in	13
Tabelle 7: Anknüpfungspunkte in den Lernfeldern am Beispiel Maurer/in	14

Autoren

	Christian K. Karl Universität Duisburg-Essen Fachdidaktik Bautechnik Essen E-Mail: christian.karl@uni-due.de Homepage: www.uni-due.de/bautechnik
	Arnim J. Spengler Universität Duisburg-Essen Institut für Baubetrieb und Baumanagement Essen E-Mail: postfach@arnim-spengler.de Homepage: www.arnim-spengler.de
	Tobias Bruckmann Universität Duisburg-Essen Lehrstuhl für Mechatronik Duisburg E-Mail: tobias.bruckmann@uni-due.de Homepage: www.uni-due.de/mechatronik