

Neue Technologien in berufsbildenden Lernprozessen – ein Konzept für additives und subtraktives Fertigen im bauberuflichen Lernen

Hannes Ranke & Dennis Kaufmann

Abstract

Die Entwicklung und Fertigung klassischer Holzverbindungen mittels 3D-Druck und CNC-gesteuerter Fräsen ist für Lehrkräfte berufsbildender Schulen im Bereich Bautechnik ein völlig neuer Ansatz. Ein speziell dafür entwickeltes Konzept ermöglicht es angehenden Lehrkräften, sich diese Technologien anzueignen und die Aus- und Weiterbildung zukunftsorientiert zu gestalten. Durch die Reflexion ihres eigenen Lernprozesses entwickeln sie Kompetenzen, die sie später in ihrer Berufspraxis nutzen können, um innovative Technologien weiter zu erforschen. Gleichzeitig werden sie in die Lage versetzt, technologische Kompetenzentwicklung bei anderen zu initiieren und zu begleiten.

Schlagwörter: *neue Technologien, Digitalisierung, additives Fertigen, bauberufliche Aus- und Weiterbildung, Lehrkräfte berufsbildender Schulen*

1 Digitaler Wandel im Bauwesen

Die zukünftige Arbeit im Bauwesen wird zunehmend von technologischen Innovationen beeinflusst, die vielfach dem Begriff der Digitalisierung unterzuordnen sind. Auch im Bauwesen wird darunter die Verbreitung von Computertechnologien (sog. C-Technologien) in Produktions-, Informations- und Kommunikationsprozessen verstanden, die u. a. auf Effizienzsteigerung und Qualitätssicherung abzielt. Gleichzeitig wandeln sich auch bauberufliche Arbeits- und Lernumgebungen. Dieser Wandel lässt sich nach dem bauberuflichen Kontext von digitalen Innovationen in stationäre, instationäre und virtuelle Arbeits- und Lernumgebungen unterscheiden (Mersch & Ranke 2022, S. 36ff.).

In vielen kleineren und mittleren Unternehmen der Bauwirtschaft findet oftmals noch eine eher punktuelle Diffusion von C-Technologien in zumeist instationäre Informations- und Kommunikations-Prozesse statt – etwa zur Unterstützung bei Aufmaß und Arbeitsdokumentation oder auch zur innerbetrieblichen Abstimmung. Anders als beispielsweise in Berufen der Holz- oder der Metalltechnik, in denen teilweise komplette Arbeits- und Geschäftsprozesse schon länger digital gestützten Abläufen folgen, finden sich im gewerblichen Hochbau bisher eher wenige Beispiele (breit eingeführter) digital gestützter Arbeits- und Lernumgebungen. Dies ist vor allem auf die Besonderheiten handwerklicher Baufacharbeit zurückzuführen (vgl. dazu ebd., S. 34). Dort lassen sich digital gestützte Prozesse derzeit vor allem im Kontext vorfertigungsorientierter Bauweisen feststellen, etwa bei der Herstellung von Betonfertigteilen oder im modernen Holzbau. Punktuell werden dort bisher noch selten additive (z. B. 3D-Betondrucker), aber verbreiteter subtraktive Fertigungsverfahren (z. B. beim Abbund von Holzbauteilen), eingesetzt. Solche stationären Vorfertigungsverfahren sind industriellen Fertigungsverfahren oft sehr ähnlich. Sie unterscheiden sich jedoch dadurch, dass häufig eine Montage oder individuelle Nachbearbeitung auf der Baustelle und eben nicht angeschlossen an die Fertigung stattfindet. Virtuelle Arbeits- und Lernumgebungen können dabei als Vermittler stationärer und instationärer Arbeits- und Lernumgebungen verstanden werden, wie es etwa bei Building Information Modelling (BIM) der Fall ist.



2 Hintergrund: Berufliche Qualifikationen für additives und subtraktives Fertigen im Bauwesen

Betrachtet man den digitalen Wandel im Bauwesen aus berufswissenschaftlicher Sicht, drängt sich die Frage auf, welche Veränderungen schon heute ersichtlich sind, sich aber vor allem zukünftig für die Berufsarbeit im Bauwesen ergeben werden. Auch im gewerblichen Hochbau erreichen technologische Entwicklungen berufliche Arbeits- und Geschäftsprozesse und führen dort zu veränderten Arbeitsprozessen und Qualifikationen. Überlegungen zu „Substituierbarkeitspotentialen“ von Berufen, wie sie spätestens seit dem Jahr 2013 (Frey & Osborne 2013) wiederholt angestellt werden, schließen sich an. Demnach können die in Berufen bzw. in Berufsbildern gefassten Kerntätigkeiten auch im Bauwesen daraufhin analysiert werden, inwieweit sie „durch den Einsatz moderner Technologien übernommen werden könnten“ (Dengler & Matthes 2018, S. 1). Wird in solchen Untersuchungen festgestellt, dass sich Berufsbilder durch den digitalen Wandel so verändern, dass Tätigkeiten zunehmend durch Computer und computergesteuerte Maschinen ersetzt werden könnten, „müssen Mechanismen geschaffen werden [...] die dort als notwendig identifizierten Anpassungen der Ausbildungsordnungen und anderer rechtlicher Vorschriften“ (ebd., S. 10) umzusetzen.

Eine bauberufliche Qualifizierung als ausschließliche Reaktion auf technologische Innovationen (im Sinne einer Anpassungsqualifizierung) kann jedoch nur ein Baustein sein. Berufliche Bildung soll nicht nur durch technische Innovationen getrieben sein, sondern Fachkräfte sind zur „Mitgestaltung der Arbeitswelt und Gesellschaft“ (Rauner 2017, S. 145) zu befähigen. Dabei ist eine zukunftsgerichtete berufliche Qualifizierung, die sich von konkreten Digitalisierungstendenzen in einem Beruf lösen kann, Garant für einen humanen digitalen Wandel. Erst wenn Fachkräfte im Verständnis struktureller Mechanismen des digitalen Wandels zur Mitgestaltung ihrer Arbeit befähigt sind, können sie auch ihre Interessen in diesem Prozess vertreten. Gefragt sind also einerseits prognostische Aussagen über die Digitalisierung, aus denen sich zukünftige Qualifikationsanforderungen ableiten lassen, andererseits ist die Frage nach grundlegenden zukunftsbedeutsamen Qualifikationen zu stellen.

In der Analyse des digitalen Wandels durch automatisierte Prozesse zeichnen sich zwei Entwicklungen mit unterschiedlichen Folgen für berufliche Qualifizierung ab (vgl. dazu Windelband & Spöttl 2012, S. 217). Diese sind auch für Bauberufe bedeutsam. Im sogenannten „Werkzeugszenario“ behalten Fachkräfte weitreichende Gestaltungsfreiheiten bei Ihrer Arbeit mit teilautomatisierten Systemen, die als Assistenzsysteme angelegt sind. Damit zusammenhängende Anforderungen betreffen vor allem ein arbeitsprozessuales Überblickswissen und Fähigkeiten der Prozesskontrolle (ebd.). Das „Automatisierungsszenario“ ist hingegen von einer „Einschränkung der Autonomie versierter Fachkräfte“ (ebd.) geprägt, wobei sich ein möglichst hoher Grad der Automatisierung fehlerhemmend auf Routinen im Arbeitsprozess auswirken kann. Damit einher geht allerdings das Risiko einer Dequalifizierung von Fachkräften, die in einem vollständig technisch beeinflussten Prozess weder informiert werden noch wirklich zuständig sind (ebd.). Gründe dafür werden im „Automatisierungsparadoxon“ gesehen: In einem Szenario, in dem Routine-tätigkeiten durch (Teil-)Automatisierung verdrängt werden, steigen die Anforderungen an die Problemlösekompetenz. Wenn Fachkräfte „nur noch in schwierigen Fällen eingreifen, [...] benötigen sie jedoch häufig eine höhere Qualifikation, die sie sich aber nicht mehr aufbauen können.“ (ebd., S. 218) Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich die Anforderungen an die Qualifikation von Fachkräften angesichts des digitalen Wandels verändern. In welcher Form ist jedoch noch nicht vollends absehbar.

Prognostizierte Veränderungen beruflicher Arbeit lassen sich grundsätzlich drei Tendenzen zuordnen (vgl. dazu Spöttel & Schlömer 2019, S. 128). Sind sie mit der „Zunahme komplexer und schwieriger Aufgaben, die fundierte theoretische Kenntnisse und kognitive Durchdringung erfordern“ (ebd.) verbunden, wird von einer Höherqualifizierung vor allem akademischer Bereiche ausgegangen. Im zweiten Szenario werden zusätzlich zur Höher-

qualifizierung nichtakademischer Fachkräfte einfache Arbeiten durch Automatisierung ersetzt und Arbeitsplätze Geringqualifizierter werden weniger („Polarisierungsthese“). Die „Universalthese“ besagt, dass mit dem digitalen Wandel erhöhte Anforderungen an alle Fachkräfte einhergehen (ebd.).

Für die Arbeitsprozesse im Bauwesen sind diese Überlegungen deshalb von hoher Bedeutung, weil auch sie von Veränderungen infolge zunehmend digitalisierter Arbeitsprozesse betroffen sein werden. Aufgrund der Besonderheiten bauberuflicher Facharbeit (Mersch & Ranke 2022, S. 34f.; Mersch 2024, S. 143)¹, lassen sich hier tendenziell besonders vielschichtige und wenig kategorisierbare Veränderungen beobachten. Sie betreffen bislang nur sehr selten vollständige Bauprozesse, sondern unterstützen viel häufiger einzelne bauberufliche Tätigkeiten. Das betrifft etwa die individuelle Arbeitsprozessplanung, die oft von den Fachkräften selbst situativ auf der Baustelle durchgeführt wird. Die Koordination der Arbeiten innerhalb eines Baugewerks, aber auch gewerkeübergreifend, findet meist mündlich oder über situative Absprachen statt. Damit zusammenhängende Informations- und Kommunikationsprozesse im Bauwesen werden bislang nur vereinzelt informationstechnologisch unterstützt. Eingesetzt werden etwa mobile Apps zur Zeiterfassung, elektronisch geführte Bautagebücher oder Messenger-Dienste, womit die Fachkräfte vor allem ihren Dokumentationspflichten nachkommen, aber auch planend tätig sein können.

Zukunftsgerichtete Qualifikationsanforderungen im Bauwesen lassen sich mit Blick auf den digitalen Wandel und im skizzierten Kontext sowohl auf einer technologischen als auch auf einer arbeitsprozessualen Ebene betrachten. So betreffen Qualifizierungen im Bauwesen etwa den Umgang (Bedienung, Wartung, Problemlösung) mit computergesteuerten Geräten und Maschinen, aber auch die Anwendung branchentypischer Software. Hier eröffnet bspw. die Auseinandersetzung mit CAD- und CAM-Programmen, 3D-Druckern oder CNC-Fräsmaschinen konkrete Potentiale, Digitalisierung und Informatisierung in berufsbezogenen Kontexten beruflicher Bildungsprozesse erfahrbar zu machen. Fachkräfte können hier nicht nur in die Lage versetzt werden, solche Technologien sicher zu beherrschen und deren Funktionen zu verstehen. Sie sollten ihren Einsatz möglichst auch kritisch im Kontext beruflicher Arbeit einschätzen können. Dies sind Voraussetzungen, um berufliche Arbeitsprozesse technologiebezogen weiterzuentwickeln. Hierzu gehören bspw. Überlegungen in welchen Situationen eine computergestützte Fertigung Vorteile gegenüber anderen Herstellungsverfahren hat, und in welchen man besser traditionell fertigt. Auch Szenarien für Mischformen herkömmlicher und computergestützter Fertigungen sollten beim kritischen Abwägen geeigneter Verfahrensweisen im arbeitsprozessualen Gesamtzusammenhang berücksichtigt werden. Fachkenntnisse über Technologien, über das Arbeitsprodukt und über die Arbeitsprozessgestaltung ermöglichen es, Arbeitsaufgaben effizient zu behandeln. Ein umfangreiches Fach- und Berufswissen eröffnet dabei auch größere Entscheidungsräume. Baufachkräfte müssen so etwa Tätigkeiten stationärer Präfabrikation, bauseitiger Montage sowie auch virtueller Planung und Dokumentation miteinander verknüpfen. Das steigert nicht nur die Komplexität der Arbeitsprozesse, sondern auch ihre Kompliziertheit. Anforderungen an prozessuale Fähigkeiten von Baufachkräften nehmen auf diese Weise zu.

Versteht man die Digitalisierung auch in einem bauberuflichen Zusammenhang nicht als Revolution, sondern eher als Ausdruck eines kontinuierlichen Wandels (vgl. für den Straßenbau bspw. Schreiber 2019, S. 23), liegt hier auch die Forderung eines lebenslangen Lernens nahe.

Thematisieren Lehrkräfte berufsbildender Schulen in Aus- und Weiterbildung innovative Technologien, tragen sie dazu bei, diese über ihre Lernenden in die betriebliche Praxis

¹ Zu den Besonderheiten bauberuflicher Facharbeit zählen u. a. eine hohe Heterogenität beruflicher Arbeitsaufgaben, die Unikalität der Bauwerke, die Gewerke übergreifende Kooperation oder Standortabhängigkeit häufig wechselnder Arbeitsorte (vgl. auch Mersch 2016, S. 9).

zu transferieren. Insbesondere für die vielen baubetrieblichen KMU sind solche Optionen von großer Bedeutung. Dazu sollten Lehrkräfte jedoch über Strategien verfügen, sich berufsbegleitend mit Veränderungen wie dem digitalen Wandel in unterschiedlichen Bauberufen zu befassen. Hilfreich kann dafür ein Grundverständnis berufswissenschaftlichen Vorgehens sein. Auch Technikaffinität und Offenheit für neue Entwicklungen sind dabei ebenso von Vorteil, wie eine kritisch-reflexive Einstellung.

Bereits während des Lehramtsstudiums können dazu (auch bauberufliche) Lernanlässe geschaffen werden, über die Studierende mit technologischen Innovationen im Kontext beruflicher Bildungsprozesse in Kontakt kommen. Lernen kann dabei auf mindestens zwei Ebenen stattfinden. Einerseits stellen neue Technologien und der erste Kontakt mit ihnen einen motivational starken Lernanlass dar. Dabei lassen sich inhaltliche und prozessuale Schwerpunkte bspw. im Rahmen von „Designaufgabe, Konstruktions-, Bedienungs- oder auch Fertigungsaufgabe bzw. -analyse“ (Pahl & Pahl 2021) legen. Andererseits sind systematische Reflexionen selbst erfahrener Lernprozesse und Lernformen in der Lehrkräftebildung bewährte Herangehensweisen individueller Professionalisierung. In der Verbindung von inhaltlicher, prozessualer und selbstreflexiver Schwerpunktlegungen setzt das folgende Konzept einer hochschulischen Lehrveranstaltung für angehende Lehrkräfte der Fachrichtung Bautechnik an. Das Vorgehen ist an eine Fertigungsaufgabe (Pahl & Pahl 2021, S. 204-210) angelehnt, welche durch regelmäßige Reflexionsphasen des eigenen Lernens ergänzt wird. Ziel ist es, Studierende einen Fertigungsprozess als Lernende erleben zu lassen. Ihre Erfahrungen daraus nutzen sie, um ihr eigenes Lernen aber auch potenziell mögliches Lehrhandeln zu reflektieren.

Einen gestaltungsorientierten Anspruch² berücksichtigend, wird im Folgenden ein Bildungsangebot für additives und subtraktives Fertigen im Bauwesen dargestellt. Methodisch vereint das Konzept fachlich-technische Zielsetzungen mit arbeitsorientierten und subjektbezogenen (Mersch 2024, S. 149) und gilt insoweit als berufswissenschaftlich orientiert. Kernstück ist die Verbindung beider Fertigungsverfahren in einer stationären Lern- und Arbeitsumgebung sowie zugehöriger Entwicklungs-, Planungs- und Reflexionsprozesse am Beispiel bautechnisch relevanter Handlungsprodukte. Das Bildungsangebot entstammt der universitären Lehrkräftebildung der Bautechnik und ist dort zusammen mit angehenden Lehrkräften entwickelt, erprobt sowie evaluiert³ worden. Erfahrungen und Erkenntnisse daraus lassen sich als Grundlage zur Gestaltung berufsbildender Lehr-Lernprozesse etwa auch in der bauberuflichen Grundbildung an Schulen nutzen.

3 Lehrkonzept: Additives und subtraktives Fertigen für bauberufliches Lernen

Ausgangspunkt der Veranstaltung ist die Aufgabe, zimmermannsmäßige Holzverbindungen⁴ – unterstützt durch einen 3D-Drucker und eine CNC-Fräse – herzustellen. Holzverbindungen an den Beginn der Lernhandlungen zu stellen, ist für die angehenden Lehrkräfte deutlich greifbarer, als die zunächst abstrakten Prozesse additiver und subtraktiver Fertigung zu thematisieren. Es ermöglicht ihnen eine Annäherung an das Thema aus bekannter Richtung. Dies wirkt sich positiv auf die Motivation der Lernen-

2 Einer weit verbreiteten technikdeterministischen Argumentation folgend (vgl. dazu die Kritik bei Rauner 2017, S. 148f.), wären aus dem digitalen Wandel im Bauwesen Folgen für die Qualifizierung von Fachkräften zu bestimmen und Anpassungen in der beruflichen Aus- und Weiterbildung vorzunehmen. Berufsbildung sollte jedoch „nicht reaktiv-anpassungsorientiert, sondern proaktiv-gestaltungsorientiert gedacht werden. Damit wird der Anspruch aufgenommen, dass die Berufsbildung nicht nur zur Qualifizierung für Vorgegebenes, sondern auch zur Bildung für das Mögliche beitragen soll.“ (Euler/Severing 2020, S. 12)

3 Zur methodischen Absicherung der Evaluation trägt eine systematisch geführte und ausgewertete Gruppendiskussion der Personen bei, die an der Veranstaltung teilgenommen haben.

4 Zimmermannsmäßige Holzverbindungen sind nicht nur im beruflichen Lernen von Zimmerleuten relevant, sondern werden bspw. auch in der Grundstufe Bau sowie den Fachstufen der Berufsausbildungen „Dachdecker/-in“ und „Bauzeichner/-in“ thematisiert.

den aus, da sie ihre Erfahrungen leichter in den Kontext beruflicher Bedeutung bringen können. Zudem sorgt eine gute Anschlussfähigkeit auch für eine bessere kognitive Verknüpfung des Erlernenen.

Mit der „Fertigungsaufgabe“ (Pahl & Pahl 2021, S. 204-210) erschließen sich die Lernenden dabei einen Fertigungsprozess, bei dem sie auf ein Handlungsprodukt hinarbeiten.⁵ Ergänzt durch systematische Reflexionsphasen kann dem Anspruch angehender Lehrkräfte auf individuelle Professionalisierung im Lehren und der Lernprozessgestaltung nachgekommen werden. Berücksichtigt werden dabei auch berufsfachliche Besonderheiten, wie etwa der hohe Stellenwert individueller Arbeitsplanung in Bauberufen. Berufliche Arbeit an wechselnden Orten ist situativ und muss spezifisch auf das Bauobjekt ausgerichtet werden. Anpassung oder sogar Neugestaltung der Arbeitsprozesse aufgrund wechselnder Baustellen und Bedingungen sind an der Tagesordnung. Die situative Arbeitsprozessplanung, die im Rahmen der erweiterten Fertigungsaufgabe geübt wird, ist in der bauberuflichen Facharbeit von großer Bedeutung, trägt sie doch zum Aufbau (bau-)beruflicher Handlungskompetenz bei. Planungsüberlegungen beziehen sich etwa auf Form, Beschaffenheit oder Verwendungszweck des zu fertigenden Objektes, können aber auch durch die CAD-Software, die Datenübergabe oder den Fertigungsablauf selbst angeregt werden.⁶ Nicht selten bedingen sich diese Parameter zusätzlich untereinander, weshalb es notwendig ist, die Kompliziertheit des Fertigungsprozesses methodisch geleitet handhabbar zu machen.

Die Arbeits- und Lernschritte sind so anzulegen, dass sie einen anschlussfähigen Einstieg ermöglichen und mit der Zeit an Komplexität zunehmen, während methodisch vor allem eine forschende, lösungsorientierte Vorgehensweise verfolgt wird. Wenn das gelingt, kann mit der erweiterten Fertigungsaufgabe berufliche Handlungskompetenz gefördert und zum Aufbau von Arbeitsprozesswissen beigetragen werden.⁷ Um dabei auch dem besonderen Anspruch angehender Lehrkräfte auf eine Professionalisierung des eigenen Lernens und Lehrens nachzukommen, kommt der prozessbegleitenden Reflexion besondere Bedeutung zu.⁸ Beim Reflektieren werden individuell entstehende Problemlösestrategien sichtbar. Methodisch sind die Reflexionsphasen auf die Inhalte und Prozesse der Fertigungsphasen abgestimmt und werden im Verlauf des Lernprozesses komplexer. Das Reflektieren gemachter Erfahrungen soll es den Lernenden ermöglichen, bei der Fertigung gewonnene Eindrücke auf einer übergeordneten Ebene des Problemlösens zu verarbeiten und dabei auch voneinander zu lernen. Wird neben dem Handeln auch das Denken über die Handlung selbst angeregt, können Erkenntnisse gewonnen werden, die sich in größer angelegte, allgemeingültige Denkmuster überführen lassen. Auf diese Weise wird es möglich, selbstständig Lern- und Handlungsstrategien zu entwickeln und zu verankern, die auf eigenen Erfahrungen basieren und dadurch gut anschlussfähig sind. Universelle Strategien dieser Art sind unabhängig von spezifischen Lerngegenständen wie bestimmten Programmen oder Maschinen anwendbar und insoweit exemplarisch. Wenn Lernende entsprechende Strategien selbst erarbeitet und erfolgreich angewendet haben, erweitern sie ihre berufliche Handlungskompetenz.

5 Auch ein simulativer Ansatz ist mit der Methode möglich, häufig wird dieser jedoch aus Mangel an Alternativen gewählt und nicht aufgrund gezielter didaktischer Entscheidungen (Pahl & Pahl 2021, S. 204).

6 Der Mehrwert zu einer „Arbeitsplanungsaufgabe“ besteht hier in der tatsächlichen Herstellung von Handlungsprodukten, was sich positiv auf die Motivation der Lernenden auswirkt.

7 Arbeitsprozesswissen bezeichnet „Metawissen zur Analyse, kognitiven Durchdringung, Reflexion und Begründung von praktischen Handlungen.“ (Pittich 2015, S. 49) Auch das Einarbeiten in neue Fertigungsprozesse trägt auf dem Weg der Problemlösung zu Ausbau und Festigung von beruflichem Arbeitsprozesswissen bei.

8 Grundsätzlich zielt das Reflektieren schon im Lehramtsstudium auf ein Erfahrungswissen zur Stärkung der Entscheidungsfähigkeit auch in unterrichtlichen Kontexten, was dann im Referendariat weiter vertieft wird.

Unter stetig wandelnden Bedingungen im Beruf bekommt dieses reflexive Lernen besondere Bedeutung, um auch langfristig beruflich handlungsfähig zu bleiben.

Für die Umsetzung des Veranstaltungskonzepts zum additiven und subtraktiven Fertigen zimmermannsmäßiger Holzverbindungen wird hier ein mehrphasiges mesomethodisches Artikulationsschema für handlungsorientierte Ausbildungs- und Unterrichtssequenzen nach Mersch & Pahl (2013, S. 45-95) zugrunde gelegt. Es ermöglicht – erweitert um Reflexionsphasen – eine Zielerreichung, welche über die Produkt- und Prozessoptimierung einer Fertigungsaufgabe hinausgeht. Die zentralen Phasen (Nr. 3 bis Nr. 5) werden sowohl beim additiven Fertigen als auch beim subtraktiven Fertigen durchlaufen. Die ersten beiden Phasen eröffnen die gesamte Lehr- und Lernsequenz zum additiven und subtraktiven Fertigen. Phase Nr. 6 und 7 beschließen beide Zyklen.

- 1) Einstieg mit Eröffnung und Motivation
- 2) Problemstellung und intuitive Phase
- 3) Recherche- und Informationsphase
- 4) Planungsphase
- 5) Durchführungsphase
- 6) Präsentationsphase
- 7) Transfer- und Anwendungsphase

Einstieg

In einem informierenden Einstieg werden den Lernenden u. a. Inhalte, Ziele und Prüfungsleistungen vorgestellt. Die aufgezeigten Anforderungen bieten Anlass, Fragen und Wünsche zu äußern und so eigene Interessen einzubringen. Bereits eingangs wird herausgestellt, dass der persönliche Lernprozess zum Ausbau beruflicher Handlungskompetenz zu erfassen und zu reflektieren sein wird. Fragen zu stellen und Unklarheiten offen zu äußern, ist ausdrücklich erwünscht. Dies sind wesentliche Merkmale problemlösender Arbeits- und Lernprozesse, in denen sich die Lernenden an einen Lösungsweg „herantasten“ können. Dem Fertigungsprozess kommt dabei eine exemplarische Bedeutung zu, da dieser primär den Anlass zum Ausbau von Handlungskompetenz durch Reflexion bietet.

Problemstellung und intuitive Phase

Der anfangs erteilte Fertigungsauftrag besteht darin, eine zimmermannsmäßige Holzverbindung für einen subtraktiven C-technologischen Fertigungsprozess auszulegen und herzustellen, wobei zunächst ein Prototyp additiv angefertigt werden soll.

Interessengeleitet wählen die Lernenden eine Holzverbindung aus einer Vielzahl zur Verfügung gestellter Abbildungen aus (Abb. 1).⁹

⁹ In Anlehnung an die Methode „Bildkartei“ liegen zum Unterrichtseinstieg „am runden Tisch“ Bilder verschiedenster Holzverbindungen aus.



Abb. 1: Bildkartei im Lernprozess (Quelle: eigene Aufnahme)

Anschließend begründen sie im Plenum, was sie an der gewählten Holzverbindung interessant finden und warum sie sich dafür entschieden haben. Neben ästhetischen Motiven und strategischen Überlegungen – die von Aufwandsverringerung bis Ehrgeiz reichen – werden dabei auch Gründe wie der Reiz des Unbekannten oder Neugierde über Aufbau und Funktion seltener Holzverbindungen genannt. Im Unterrichtsgespräch vertiefen die Lernenden gemeinschaftlich erste Annahmen zu Konstruktion, Einsatzbereichen und statischen Eigenschaften von zimmermannsmäßigen Holzverbindungen sowie die Eignung unterschiedlicher Holzverbindungen für verschiedene Lastfälle. Diese Kriterien werden gesammelt, allgemein zugänglich visualisiert und können – kontinuierlich ergänzt – als Orientierung für die Planung von Handlungsprodukt und Fertigungsprozess genutzt werden. Hinzu kommen in dieser Phase bereits fachlich-prozessuale Überlegungen, etwa zur Fertigung und Montage. Die unterschiedlichen Berufsausbildungen der Studierenden¹⁰ begünstigen hierbei eine facettenreiche Auseinandersetzung, die zugleich verschiedene Anknüpfungen des Themas ermöglicht.

Recherche- und Informationsphase „Additives Fertigen“

Vertieft werden diese ersten Ideen in einer Recherche- und Informationsphase. Hierbei sind verschiedene Vorgehensweisen und Quellen denkbar. Neben der klassischen Recherche in Fachbüchern und Angeboten aus dem Internet hat sich vor allem das Gespräch mit Experten für Fertigungsprozesse motivierend für die Studierenden herausgestellt. Sie nutzten die Chance, im Gespräch mit einem Werkstattleiter, Tischlermeister und geprüfem Holztechniker auf umfangreiches und vertieftes Fachwissen über c-technologische Fertigung in der Holztechnik zurückzugreifen. Im Gespräch können grundlegende Bedingungen der Fertigung (Fertigungslimitationen und andere Erfahrungswerte) erfragt und Besonderheiten der vorhandenen Maschinen und Werkzeuge in Erfahrung gebracht werden. Wurde vorab betont, dass die Fertigungsaufgabe einem forschenden Ansatz folgt, schrecken die Lernenden häufig auch nicht vor Nachfragen zurück, wodurch solche Gespräche an fachlicher Tiefe und Detaillierung gewinnen.

¹⁰ Die Studierenden haben häufig Berufsabschlüsse aus dem Bauhaupt- und Baunebengewerbe wie etwa Bauzeichner/-in, Straßenbauer/-in, Dachdecker/-in und Zimmerleute.

Planungsphase „Additives Fertigen“

Die Planung findet im Austausch innerhalb der Lerngruppe statt. Dabei wird das Vorgehen auf eingangs abgeleitete Kriterien funktionaler und fertiger Holzverbindungen abgestimmt und von den im Expertengespräch erhobenen Bedingungen additiver Fertigung anhängig gemacht. Planungsentscheidungen zur weiteren Lernprozessgestaltung und dessen zeitliche Gliederung schließen sich an. Insbesondere die zeichnerische Vorwegnahme des Handlungsergebnisses lädt zum Durchdenken von Konstruktion und Fertigung ein. Hierzu hat es sich bewährt, die Bauteile zunächst skizzenhaft in einer Drei-Tafel-Projektion zu zeichnen. Aufkommende Planungsüberlegungen – etwa zur optimalen Bauteilausrichtung im Druckraum – lassen sich dann gut prozessbegleitend anhand der zweidimensionalen technischen Zeichnung klären. Haben die Lernenden die von ihnen gewählte Holzverbindung beim Zeichnen gedanklich durchdrungen, können sie sich anschließend auf das Konstruieren am Computer konzentrieren (Abb. 2).

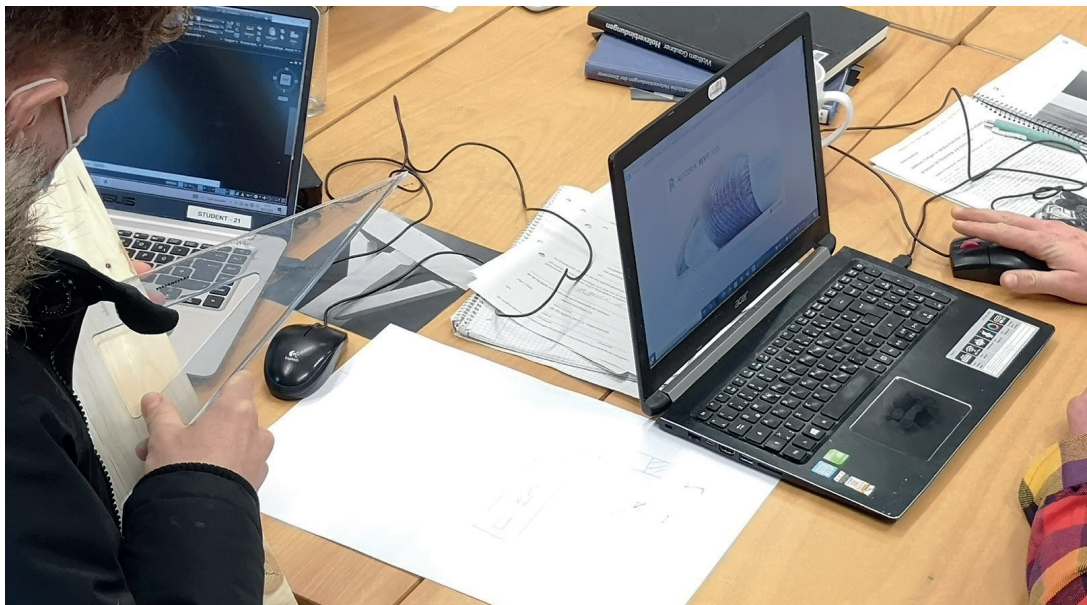


Abb. 2: 3D-Modellierung zimmermannsmäßiger Holzverbindungen (Quelle: eigene Aufnahme)

Besonders für Lerngruppen, die wenig Erfahrung mit CAD-Programmen haben, kann die Komplexität der Aufgabe durch das vorherige händische Zeichnen gut angepasst werden.

Durchführungsphase „Additives Fertigen“

Anschließend wird das fertige 3D-Modell genutzt, um einen Prototyp am 3D-Drucker herzustellen. Dazu wird das virtuelle Modell beim sogenannten „slicing“ in Bahnen unterteilt, aus denen ein Pfad errechnet wird, den der Druckkopf abfahren kann. Zudem können in dem Programm Druckparameter wie Temperaturen an Düse und Trägerplatte, Lüftergeschwindigkeit, Materialfluss, Druckdichte und -geschwindigkeit eingestellt werden. Die so generierte Datei wird dann an den 3D-Drucker gesendet. Anschließend muss der 3D-Drucker noch gemäß den vorab gewählten Einstellungen gerüstet werden, wobei etwa die Materialart oder die Düsendgröße anzupassen sind. Zeigen sich dann beim Drucken Qualitätsmängel, können relevante Druckparameter auch unproblematisch am Gerät nachjustiert werden.

Da es mithilfe von additiven Fertigungsverfahren, wie dem 3D-Druck relativ einfach ist, aus einem 3D-Modell ein physisches Objekt zu fertigen, kann dieser Schritt – genau wie auch in der Industrie – leicht als „rapid prototyping“ in einen Design- und Entwicklungsprozess integriert werden (Abb. 3 und 4).

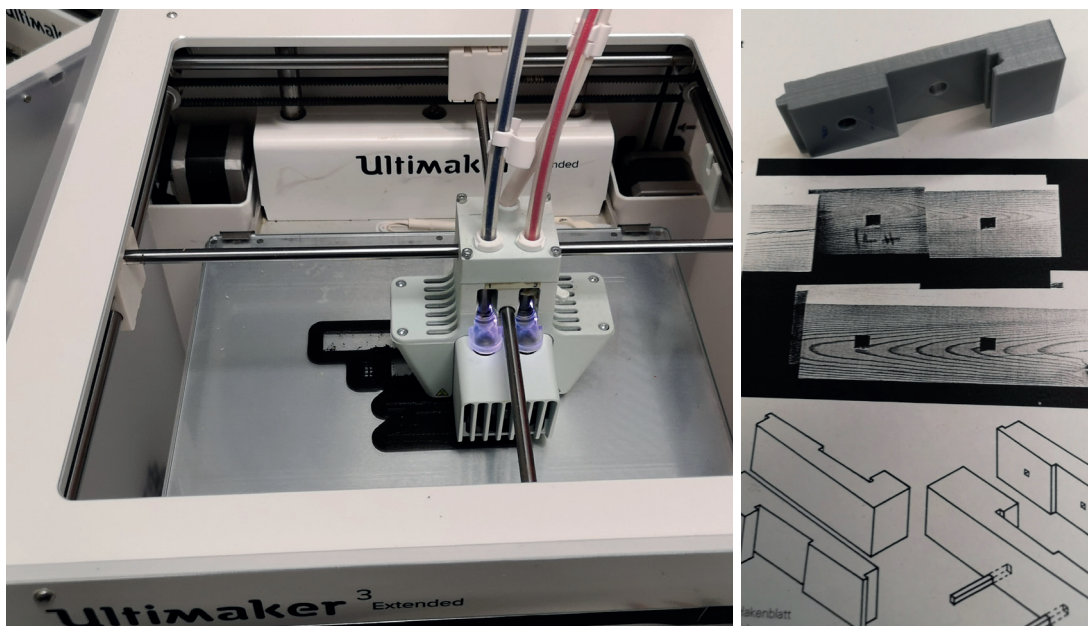


Abb. 3 (links): Additive Fertigung der Prototypen (Quelle: eigene Aufnahme)

Abb. 4 (rechts): Prototyp, Foto und Zeichnung (Quelle: eigene Aufnahme, Foto und Zeichnung aus Graubner (1986, S. 75))

An gedruckten Prototypen können Proportionen und Passungen vorab geprüft werden und die Lernenden halten früh etwas in Händen, das sie selbst gefertigt haben, was die Motivation begünstigt. Es sollte jedoch darauf geachtet werden, dass die Anforderungen an das 3D-Modell zum Drucken des Prototyps weitestgehend denen für die Fertigung an der CNC-Maschine gleichen, damit die Zeichnung für beide Fertigungsverfahren verwendet werden kann.¹¹

Präsentationsphase „Additives Fertigen“

Anhand ihrer Prototypen können die Lernenden zurückblicken, um zu erörtern, was gut lief, wo Fehler aufgetreten sind und welche Ursachen diese hatten. Dazu finden sie sich in der Gruppe zusammen und arbeiten konstruktiv an Problemlösungen, wobei Probleme Einzelner von allen zum Anlass genommen werden, um tiefer in die Thematik einzusteigen. In dieser Phase offenbart der Austausch zwischen den Lernenden oftmals auch verschiedene Vorgehensweisen und Einstellungen im Umgang mit Problemstellungen, was wiederum zum Vergleichen und Reflektieren einlädt. Im besten Fall gelingt es auf diesem Wege, durch das bewusste Entwickeln von Problemlösungsstrategien, aufkommende Hürden gemeinsam zu bewältigen.

Planungsphase „Subtraktives Fertigen“

Anschließend kann begonnen werden, die Fertigung an der CNC-Maschine zu planen. Hierzu gehören Überlegungen und Entscheidungen über den Fertigungsablauf insgesamt. Das Vorgehen ist grundsätzlich ähnlich zur Planung der additiven Fertigung, unterscheidet sich aber in Detailfragen, wie z. B. zur Auswahl geeigneter Fräser, Ausrichtung und Einspannung der Werkstücke, Verfahrswege der Maschine usw.

¹¹ Dabei ist die Wahl der Software entscheidend, weshalb bereits beim Kauf eines 3D-Druckers geprüft werden sollte, ob das beiliegende Programm, zusammen mit dem CAD-Programm, einen ziel-führenden Arbeits- und Lernprozess zulässt.

Recherche- und Informationsphase „Subtraktives Fertigen“

Da die reine Fertigung mit einer dreiachsigen CNC-Maschine¹² relativ leicht nachvollzogen werden kann, ist es Aufgabe der Lernenden in einem Expertengespräch mit dem Werkstattmeister alle für sie relevanten Informationen zum Fertigungsablauf in Erfahrung zu bringen. Dazu gehören etwa die Verfügbarkeit bestimmter Fräser, Einspannmöglichkeiten oder auch Strategien zur Bearbeitung eines Werkstückes von mehreren Seiten. Dadurch, dass die Lernenden die dafür bedeutsamen Informationen selbst erfragen müssen, sind sie angehalten den Prozess zunächst selbstständig zu durchdenken. Hierin liegt eine besondere Kernkompetenz bei der Einarbeitung in neue Technologien, die nicht zuletzt auch von einer gewissen Aufgeschlossenheit lebt, die es zu kultivieren gilt. Dieser auf einen hohen Grad der Selbstständigkeit setzende Ansatz wird zusätzlich noch dadurch vertieft, dass die Lernenden im nächsten Schritt ihre Prototypen tauschen und sich dann gegenseitig beraten sollen, worauf die jeweils anderen bei der Fertigung ihrer Holzverbindung achten sollten. Der damit angestoßene Perspektivwechsel erfordert es, Fertigungsabläufe auch außerhalb des eigenen Objektes zu durchdenken. Hierdurch lassen sich neue Aspekte erschließen aber auch bekannte Aspekte festigen.

Durchführungsphase „Subtraktives Fertigen“

Falls die Lernenden anhand der Prototypen oder bei der Fertigungsplanung Probleme bemerkt haben, können sie nun nochmal Änderungen an ihrem 3D-Modell vornehmen, bevor anschließend mithilfe einer weiteren Software – eines CAM-Programms – sogenannte NC-Pfade erstellt werden. Diese definieren, wie schon beim 3D-Drucker, den Fahrtweg der Maschine. In diesem Fall sind aber noch weitere Daten, wie der zu verwendende Fräser und dessen Maße zu hinterlegen, wodurch die Anforderungen an die Lernenden gegenüber dem 3D-Drucken weiter steigen (Abb. 5). Zur Kontrolle kann innerhalb der CAM-Software die Fertigung des Werkstückes simuliert werden und auch das Abfahren des Programms an der CNC-Maschine, ohne ein eingespanntes Werkstück, ist eine gängige Praxis, um sicher zu gehen, dass keine Kollision verursacht wird. Anschließend kann mit der Fertigung der Holzverbindungen begonnen werden. Unterstützt durch die Werkstatteleitung laden die Lernenden ihre Programme zur CNC-Maschine hoch, überprüfen die Einstellungen, spannen die Werkstücke ein, rüsten Fräser um und überwachen schließlich die Maschine während der Fertigung. Mit einer Steuereinheit kann die Maschine angehalten werden, wenn etwas nicht planmäßig verläuft, zudem kann das gezielte Regulieren der Geschwindigkeit des Fräsvorgangs, je nach Faserverlauf des Holzes, zu einem besseren Schnittergebnis beitragen (Abb. 6).

12 Diese Maschinen sind in der X-, Y- und Z-Achse verfahrbar. Bei umfassenderen Systemen mit bis zu fünf Achsen ist es möglich auch die Werkzeugaufnahme schräg zu stellen und diese im laufenden Prozess anzupassen. Dadurch sind die Maschinen flexibler und vielfältiger einsetzbar und es lassen sich mit ihnen auch komplexe, runde Formen herstellen. Gleichzeitig wird dadurch aber auch der Umfang des zu planenden Fertigungsprozesses erhöht und das Risiko einer Kollision bei der Fertigung steigt durch die schwieriger zu planenden Fahrtwege.

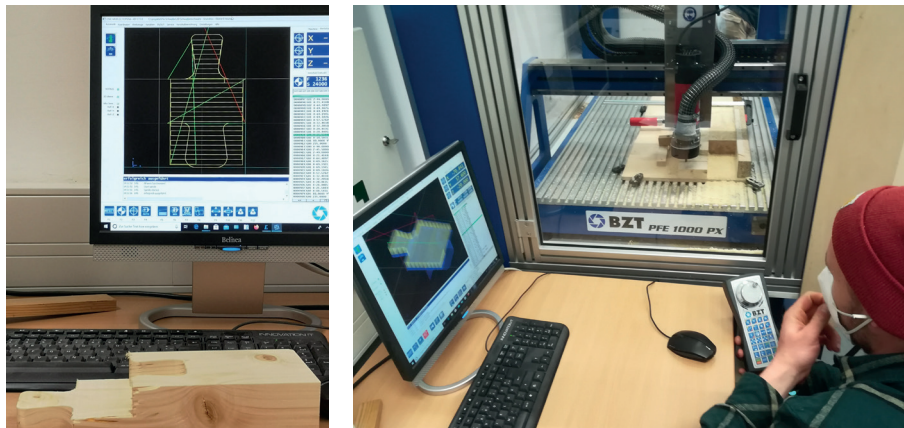


Abb. 5 (links): CAM-Programmierung der Fertigung (Quelle: eigene Aufnahme)

Abb. 6 (rechts): Subtraktives Fertigen einer zimmermannsmäßigen Holzverbindung (Quelle: eigene Aufnahme)

Die fertige Holzverbindung kann nun aus der Spannvorrichtung gelöst und zusammengesetzt werden, wobei die Lernenden direkt einen Eindruck von der Passung ihrer Bauteile bekommen. Die Durchführungsphase endet mit der Reinigung und Übergabe der Fräsanlage an nachfolgende Lernende.

Präsentationsphase „Subtraktives Fertigen“

In einer Präsentationsphase „am runden Tisch“ stellen alle Lernenden ihre Handlungsprodukte vor, dabei demonstrieren sie deren Funktion und Passung. Die Holzverbindungen werden anhand der zum Beginn der Veranstaltung festgelegten Kriterien geprüft und bewertet – Abweichungen bieten Anlass zur Fehleranalyse und zum Reflektieren des Planungs- und Fertigungsprozesses. Auch die Bewertungskriterien selbst können rückwirkend geprüft werden, was den Lernenden dabei helfen kann, ihren Anspruch an sich selbst in einem angemessenen Verhältnis wahrzunehmen und sich bei der Einarbeitung in neue Technologien bewusst Freiräume für Fehler und Lernprozesse einzuräumen (Abb. 7).



Abb. 7: Ausgerissene und verbrannte Fräskanten – Fehler als Reflexionsanlass (Quelle: eigene Aufnahme)

Es sollen nicht möglichst hochwertige Verbindungen gefertigt werden, sondern der Fertigungsprozess soll in seiner Vielfalt erfahrbar gemacht und das Erschließen neuer Technologien daran eingeübt werden. Fehler wie etwa große Lücken in den verbundenen Holzteilen sollten deshalb nicht als Versagen verstanden werden, sondern einen Grund zur Reflexion bieten. Im Zentrum steht dabei der forschende Blick auf das eigene

Handeln und die gezielte Abwägung möglicher Handlungsalternativen. Gelingt dieses Vorgehen, ebnet es den Lernenden einen Weg, um eigenständig übergeordnete Handlungs- und Lernstrategien zu entwickeln und anzupassen.

Transfer- und Anwendungsphase „Additives und Subtraktives Fertigen im Bauwesen“

Erfahrungen und Erkenntnisse über grundlegende Prinzipien c-technologisch gestützter Fertigungsprozesse werden zukunftsgerichtet auf Arbeitsprozesse im Bauwesen übertragen. Der Fokus kann dabei auf veränderte Planungs- und Fertigungsabläufe oder auch Aufwands- bzw. Kostenstrukturen informatisierter Bauarbeitsprozesse gelegt werden. Im Vergleich mit einem nicht c-technologisch gestützten Fertigungsprozess zimmermannsmäßiger Holzverbindungen wird erkennbar, wie technologische Innovation Arbeitsprozesse verändern kann.

Im Verlauf des Kapitels wurde deutlich, wie die Verbindung traditioneller Handwerks-techniken mit modernen Technologien in der Ausbildung angehender Lehrkräfte praxisnah gestaltet werden kann. Die schrittweise Annäherung an additive und subtraktive Fertigungsprozesse durch bekannte Handlungsfelder wie Holzverbindungen fördert das Verständnis und erleichtert den Zugang zu neuen Technologien. Diese Herangehensweise stärkt sowohl die Motivation der Lernenden als auch deren Fähigkeit, die Relevanz moderner Verfahren für ihre zukünftige Berufspraxis zu erkennen und zu nutzen.

4 Fazit und Ausblick

Das vorliegende Konzept soll angehende Lehrkräfte dazu befähigen, sich neue Technologien zu erschließen, um Aus- und Weiterbildung zukunftsorientiert gestalten zu können. Durch das Reflektieren eigenen Lernens entwickeln sich Kompetenzen, welche Lehrkräfte auch in der Berufspraxis nutzen können, um sich neue Technologien zu erschließen. Mittelbar werden sie in die Lage versetzt, auf Technologie bezogene Kompetenzentwicklung anderer Menschen anzustoßen und zu begleiten.

Die Fähigkeit und die Bereitschaft, sich in neue Prozesse einzuarbeiten und dabei Probleme selbstständig lösen zu können, sind auch im Bauwesen bedeutsam. Das gilt vor allem auch mit Blick auf technologische Innovation und den begleitenden Wandel beruflicher Arbeit. Wie technologische Innovation berufliche Arbeitsprozesse dort verändert, lässt sich u. A. am hier vorgestellten Fertigen zimmermannsmäßiger Holzverbindungen erfahren. Der klassische Aufriss von Hand wird durch das Konstruieren am Computer ersetzt und die Bearbeitung der Bauteile mithilfe von tragbaren Maschinen und Handwerkszeugen durch CNC-Maschinen abgelöst. Die Ausführung derselben Arbeit erfordert nunmehr andere Tätigkeiten und verlagert Kompetenzen im veränderten Arbeitsprozess.

Angesichts der fortschreitenden Digitalisierung wird auch von Lehrkräften im berufsbildenden Bereich heute erwartet, dass sie sich nicht nur auf eine Technologie spezialisieren. Umso mehr sollten sie in der Lage sein, sich berufsbegleitend neue Technologien zu erschließen und damit einhergehende Veränderungen von Arbeitsprozessen zu berücksichtigen. Hilfreich sind dabei etwa eine forschende Grundhaltung, positive Fehlerkultur und der sprichwörtlichen „Blick über den Tellerrand“. Diese Forderung gilt nicht nur für die Lehrkräfte selbst, sondern sie sollten diesen Anspruch auch im Unterricht an ihre Lernenden weitergeben, damit sie bei Veränderungen der beruflichen Praxis ebenfalls handlungsfähig bleiben.

Bei der systematischen Auswertung der gemachten Erfahrungen mit den Studierenden wurde deutlich, dass insbesondere die Diskussions- und Reflexionsphasen als bereichernd wahrgenommen wurden. Wie gewinnbringend diese sind, hängt stark von der Lerngruppe und davon ab, wie intensiv sich die Lernenden einbringen bzw. einlassen. Angehende Lehrkräfte überzeugen dabei oftmals nicht nur durch ihr solides Fachwissen, sondern auch durch ihren professionellen Blick auf das Lernen Anderer – von dem aus auch das eigene Lernen leicht in den Fokus genommen werden kann.

Literatur

- Brinda, T., Brüggem, N., Diethelm, I., Knaus, T., Kommer, S., Kopf, C., Missomelius, P., Leschke, R., Tilmann, F. & Weich, A. (2020). Frankfurt-Dreieck zur Bildung in der digital vernetzten Welt. Ein interdisziplinäres Modell. Formal und inhaltlich überarbeitete Version der Originalveröffentlichung. In T. Knaus & O. Merz (Hg.), *Schnittstellen und Interfaces. Digitaler Wandel in Bildungseinrichtungen*. München, 157-167.
- Dengler, K. & Matthes, B. (2018). Wenige Berufsbilder halten Schritt mit der Digitalisierung. IAB-Kurzbericht 4/2018.
- Euler, D. & Severing, E. (2020). Nach der Pandemie: für eine gestaltungsorientierte Berufsbildung in der digitalen Arbeitswelt. Eine Denkschrift. Gütersloh.
- Frey, C. B. & Osborne, M. A. (2013). Working Paper: The Future of Employment: How susceptible are jobs to computerisation? Verfügbar unter: https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf (Zugriff am: 13.11.2024).
- Graubner, W. (1986). *Holzverbindungen: Gegenüberstellung japanischer und europäischer Lösungen*. Stuttgart.
- Kaufmann, D. (2021). Additives Fertigen in berufsschulischen Lern- und Arbeitsprozessen der Bautechnik und Holztechnik. BAG-Report Bau, Holz, Farbe. Ausgabe 2/2021, 10-18.
- Kloft, H., Gehlen, C., Dörfler, K., Hack, N., Henke, K., Lowke, D., Mainka, J. & Raatz, A. (2021). Additive Fertigung im Bauwesen. *Bautechnik – Zeitschrift für den gesamten Ingenieurbau*, 98 (3), 222-231.
- Mersch, F. F. (2016). Berufswissenschaftliche Anforderungen und Aufgaben im Bauwesen. *bwp@ Spezial* 13, 1-17. Verfügbar unter: http://www.bwpat.de/spezial13/mersch_bwpat_spezial13.pdf (Zugriff am: 13.11.2024).
- Mersch, F. F. (2024). Berufliche Didaktik Bautechnik. In G. Spöttl & M. Tärre (Hg.), *Didaktiken der beruflichen und akademischen Aus- und Weiterbildung: Rückblick, Bestandsaufnahme und Perspektiven*. Wiesbaden, 139-153.
- Mersch, F. F. & Ranke, H. (2022). Bauberufliches Arbeiten und Lernen im Kontext von Digitalisierung und Informatisierung. In B. Mahrin & S. Krümmel (Hg.), *Digitalisierung bauberuflicher Lern- und Arbeitsprozesse. Impulse aus der Bauwirtschaft und anderen gewerblich-technischen Sektoren*. Berlin, 30-50.
- Pahl, J.-P. & Pahl, M.-S. (2021). *Ausbildungs- und Unterrichtsverfahren. Kompendium für Lehrkräfte in Schule und Betrieb*. Bielefeld.
- Pittich, D. (2015). Arbeitsprozesswissen. In J.-P. Pahl (Hg.), *Lexikon Berufsbildung. Ein Nachschlagewerk für die nicht-akademischen und akademischen Bereiche*. Bielefeld, 49-50.
- Rauner, F. (2017). *Grundlagen beruflicher Bildung. Mitgestalten der Arbeitswelt*. Bielefeld.
- Schreiber, D. (2019). *Berufsbildung 4.0 – Fachkräftequalifikationen und Kompetenzen für die digitalisierte Arbeit von morgen: Der Ausbildungsberuf „Straßenbauer/-in“ im Screening*. Bonn.
- Spöttl, G. & Schlömer, B. (2019). *Digitalisierung und Berufsbildung – Sieben Thesen*.

Lernen und Lehren – Lernen unter dem Aspekt der Vernetzung, 135 (3), 126-129.

Windelband, L. & Spöttl, G. (2012). Diffusion von Technologie in die Facharbeit und deren Konsequenzen für die Qualifizierung am Beispiel des „Internet der Dinge“. In U. Faßhauer, B. Fürstenau & E. Wuttke (Hg.), Berufs- und wirtschaftspädagogische Analysen – aktuelle Forschungen zur beruflichen Bildung. Opladen, 205-219.

Abbildungen

Abb. 1: Bildkartei im Lernprozess, Quelle: eigene Aufnahme

Abb. 2: 3D-Modellierung zimmermannsmäßiger Holzverbindungen, Quelle: eigene Aufnahme

Abb. 3: Additive Fertigung der Prototypen, Quelle: eigene Aufnahme

Abb. 4: Prototyp, Foto und Zeichnung, Quelle: eigene Aufnahme, Foto und Zeichnung aus Graubner 1986, S. 75

Abb. 5: CAM-Programmierung der Fertigung, Quelle: eigene Aufnahme

Abb. 6: Subtraktives Fertigen einer zimmermannsmäßigen Holzverbindung, Quelle: eigene Aufnahme

Abb. 7: Ausgerissene und verbrannte Fräskanten – Fehler als Reflexionsansatz, Quelle: eigene Aufnahme

Autoren

M. Ed., Oberingenieur
Hannes Ranke
Technische Universität Hamburg
Institut für Angewandte Bautechnik
hannes.ranke@tuhh.de

M. Ed.
Dennis Kaufmann
Technische Universität Hamburg
Institut für Angewandte Bautechnik
dennis.kaufmann@tuhh.de