

**ADDITIVE FERTIGUNGSVERFAHREN:
Rapid Manufacturing im schulischen Kontext**

Thesis zur Erlangung des akademischen Grades eines
Master of Education (M.Ed.)

Teilstudiengang der Thesis:
Mediendesign und Designtechnik

Studiengang Master of Education
Lehramt an Berufskollegs
der Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von Mustafa Bilgin

17. Dezember 2014

„Bilginler suyu bol bir yere benzerler. Nereye kazma vurulursa oradan su çıkar.“¹

¹ Has Hacib, Yusuf: (1017-1077 »2010«), Kutadgu Bilig, Istanbul, İskele, S.41

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Verordnungen und Normierungen	8
3.	Historische Stuckherstellung	9
4.	Handwerkliche Stuckherstellung	12
5.	Werkzeuge der traditionellen Stuckherstellung	15
6.	Werkstoffe	16
6.1.	Verordnungen und Normierungen von Materialien	17
6.2.	Asbest in der Stuck- und Putzherstellung	18
6.3.	Das Abbindeverhalten von Gips	19
6.4.	Vorteil Material Gips	21
7.	Prozesskette: Arbeitsvorplanung	22
7.1.	Skizzen und technische Zeichnungen	23
7.2.	Prozesskette: Herstellen einer Stückform	27
7.3.	Prozesskette: Herstellen eines Gesimseprofils	28
7.4.	Prozesskette: Herstellen einer Stuckform	29
7.5.	Prozesskette: Anbringung von Stuckelementen	30
8.	Optimieren des Arbeitsprozesses	31
9.	Projektmanagement via Gantt-Diagramm	33
10.	Projektcontrolling	34
11.	Three Dimensional Printing	35
12.	Betriebliche Anforderungen	37
13.	Schulische Anforderungen	41
14.	Anforderungen an die Lernumgebung	43
14.2.	3D-Drucker für die berufliche Bildung	47

15.	Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung.....	48
16.	Rapid Manufacturing: Stuckherstellung	51
17.	Lerneinheiten innerhalb des Lernfeldkonzeptes	53
18.	Zusammenfassung	63
19.	Ausblick.....	66
20.	Literaturverzeichnis	68
20.2.	Internet Literaturverzeichnis	70
20.3.	Abbildungsverzeichnis.....	73

1. Einleitung

Innovationen auf dem Gebiet der Rapid-Technologien finden sich in Presseartikeln fast alltäglich. So kann bereits heute auf eine kostengünstigere Variante eines 3D Druckers als vor zehn Jahren zugegriffen werden.² Private Haushalte können somit dreidimensionale Objekte virtuell am Personal Computer konstruieren und physisch aus unterschiedlichen Werkstoffen wie beispielsweise anorganischen, organischen sowie mineralischen Stoffen generieren. Durch diese Möglichkeiten können Gegenstände wie z. B. Lampen, Stühle, Prothesen, Ersatzteile und Schmuck mit einer früheren Ergebnisrückmeldung der realisierten Produkte entstehen.³ Das Interesse in der Gesellschaft und in den Medien steigt rasant an, da durch die Rapid-Technologien, neue Möglichkeiten in der freien Gestaltung von Herstellungsrealisationen ermöglicht werden.⁴ Ebenso wächst der Bedarf am deutschen 3D Markt. Unternehmen und Institute betreiben bereits jahrelange Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der Rapid-Technologien.⁵ So wurde das Selective Laser Melting [*SLM*], ein Verfahren in dem durch das Aufschmelzen von Metallpulver mittels Laser schichtweise ein Gegenstand erzeugt wird, bereits 1996 vom Fraunhofer Institut für Lasertechnik erforscht.⁶

Auf verschiedenen Fertigungsverfahren basiert die traditionelle sowie moderne Herstellung innerhalb einer Produktion, bei denen Produkte aus verschiedenen Materialien gefertigt werden. Beim Umformen⁷ wird eine feste Grundform aus einem formlosen Stoff durch das Herstellen eines Zusammenhalts gefertigt. Beim Umformen⁸ entsteht aus einem Rohkörper durch die gezielte Formgebung ein neues Bauteil. Bei den subtraktiven Fertigungsverfahren, welche sich in der Hauptgruppe „Trennen“ befinden, erfolgt die Formgebung durch das Drehen, Fräsen oder dem Abtragen⁹ eines Grundgebildes, wie beispielsweise einem Werkstoff-Block. In der DIN 8580 werden die verschiedenen Fertigungsverfahren in drei weitere Hauptgruppen - dem Fügen, Beschichten, Stoffeigenschaft ändern - unterteilt. Zur Gruppe des Umformens gehören die generativen Fertigungsverfahren, welche ebenfalls als additive Fertigungsverfahren bezeichnet werden.¹⁰ Hierzu zählen unter anderem die Rapid-Technologien, das Rapid Prototyping [*schnelle Prototyp Entwicklung*], Rapid Tooling [*schneller Werkzeugbau*] und Rapid Manufacturing [*schnelle Produktion*].¹¹ Zu den additiven Fertigungsverfahren gehören ebenfalls das Fused Deposition Modeling [*FDM*], Multi-Jet Modeling [*MJM*], Three Dimensional Printing [*3DP*], Selektive Laserschmelzen [*SLS*], Lasersintern [*SL*] und die Stereolithografie [*STL*].¹² Die notwendigen Voraussetzungen der additiven Fertigungsverfahren sind unter anderem, dass die Fertigung auf der Basis von rechnerinternen dreidimensionalen Datenmodellen basiert. Die Datenmodelle werden über eine spezifische Schnittstelle [*STL*], an ein auf additiven Fertigungsverfahren basierende Vorrichtung [*Output*] transferiert, welche aus einem pulverförmigen, festen oder flüssigen Werkstoff verfahrensspezifisch, unter einem physikalisch/-chemischen Prozess das physikalische Datenmodell fertigt. Somit bedarf es keiner zusätzlichen Werkzeuge innerhalb einer Prozesskette. Insofern sind Montage- und Maschineneinstellungen nicht erforderlich.¹³ Die innovativen Technologien der additiven Fertigungsverfahren und die der Rapid-Technologien

² Vgl. Pearl: (20.03.2014)

³ Vgl. 3druck: (20.03.2014)

⁴ Vgl. N24: (02.02.2014)

⁵ Vgl. Thum, Martin: (2011), S. 20

⁶ Vgl. Fastermann, Petra: (2013), S.91

⁷ DIN 8580

⁸ DIN 8580

⁹ DIN 8590; DIN 8580

¹⁰ VDI 3404, S.2

¹¹ VDI 3404, S.3

¹² VDI 3404, S.16 f.

¹³ Vgl. Fastermann, Petra: (2013), S.5

bieten neue Aspekte innerhalb der Fertigungsprozesse an, welche in Bezug auf das Stuckhandwerk neue Perspektiven liefern. Die traditionelle Stuckherstellung basiert seit jeher auf sich kaum verändernden Fertigungsverfahren. Bereits seit der Jungsteinzeit fand das Material Gips plastische Anwendung in der Gestaltung und Ausarbeitung von Wohnräumen. Die ältesten Ausgrabungen finden sich heute in der türkischen Stadt Çatalhöyük. Die Ausgrabungsstätte wurde anhand einer Radiokohlenstoffdatierung auf ca. 7400 v.Chr. datiert:

“Two hills form the 37 ha site on the Southern Anatolian Plateau. The taller eastern mound contains eighteen levels of Neolithic occupation between 7400 bc and 6200 bc, including wall paintings, reliefs, sculptures and other symbolic and artistic features.”¹⁴

Somit ist der Fund, welcher aus Çatalhöyük hervorging, ein Indiz für die frühe Bedeutsamkeit des Materials Gips, welches bereits in der Jungsteinzeit Anwendungsbezug fand und sich in den folgenden Jahrhunderten weiterentwickelte. Die Fassaden- und Deckengestaltungen in der Zeit des Barock, Rokoko, Klassizismus und in den Ornamenten der Rocaille verdeutlichen die individuellen künstlerischen Entwicklungen der Stuckherstellung in Europa. Sie geben jeher die Opulenz, Eleganz und Pracht der Stuckarbeiten wieder. Heute finden sich Stuckarbeiten ebenfalls in individuellen Formen wieder. Die traditionelle Herstellungsweise von Stuckarbeiten veränderte sich seither kaum. Schwierigkeiten in der Formherstellung ergeben sich in der Geschichte des Materials Gips seither in der Handhabung, dem Abbindeverhalten und in der Viskosität des Mörtels.¹⁵

Anforderungen an Stuckarbeiten, der entsprechende Umgang mit den Werkstoffen und das vorausgesetzte handwerkliche Wissen finden ihre Verortung im Berufsfeld des Stuckateurs/-in. Stuckateure/-innen werden auf die Schwierigkeiten der Handhabung [*Handling*] vorbereitet. Sie führen Restaurierungsarbeiten durch, erzeugen und verarbeiten Stuck. Sie *„sind Fachleute für Innenausbau und Fassadengestaltung. Ihr Arbeitsgebiet reicht von der Wärmedämmung über Innen- und Außenputz, Einbau von Zwischenwänden oder schallabsorbierenden Gestaltungselementen bis hin zu Restaurierungsarbeiten an historischen Gebäuden.“*¹⁶ Die Möglichkeit einer Implementierung von additiven Fertigungsverfahren in die traditionelle Herstellungsweise von Stuckarbeiten, ermöglicht individuelle Herangehensweisen innerhalb einer Serienproduktion von Stuckelementen. Durch die Berücksichtigung der Vorteile der additiven Fertigungsverfahren in den Teilkomponenten Zeit-, Kosten- und Qualität werden diese Aspekte der Teilkomponenten für die betrieblichen Strukturen stetig attraktiver.¹⁷ So verdeutlicht das folgende Zitat des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie den Jahresumsatz des deutschen 3D-Marktes und veranschaulicht einen ansteigenden Bedarf an Arbeitskräften innerhalb dieses Sektors:

„Der deutsche 3D-Markt besteht heute aus 975 Unternehmen und einem Jahresumsatz von 8,7 Mrd. Euro. [...] Während die gesamtwirtschaftliche Bruttowertschöpfung im Zeitraum 2010 bis 2020 um durchschnittlich 1,1% p.a. wächst, legen die Anwenderbranchen um durchschnittlich 1,9% p.a. zu. Die Nachfrage nach 3D -Lösungen auf dem aktuellen Niveau der Anwendungen wird damit auch zukünftig überdurchschnittlich wachsen. [...]

¹⁴ Neolithic Site of Çatalhöyük: (02.01.2014)

¹⁵ Vgl. Bücking: (1983), S. 427

¹⁶ Stuckateur/in in berufenet.arbeitsagentur.de: (02.01.2014)

¹⁷ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: (2013), S. 116 ff.

Die abschwächende gesamtwirtschaftliche Dynamik hat ihren Ursprung primär in der aktuellen Schulden - und Wachstumskrise Europas, die sich in einem spürbaren Rückgang der deutschen Exporte in das europäische Ausland widerspiegelt. Verstärkend wirken die infolge des demografischen Wandels zunehmende Verknappung von Arbeitskräften."¹⁸

Aufgrund der steigenden Entwicklung der Anwendungsbereiche von Rapid-Technologien in den betrieblichen Strukturen der Fertigung, der Prototypenentwicklung und dem ansteigenden Bedarf an Fachkräften werden additive Fertigungsverfahren durch die Dualität zwischen Betrieb und Berufsschule innerhalb des schulischen Kontextes zunehmend attraktiver. So ist es unter anderem die Aufgabe der beruflichen Bildung, den Unternehmen einen qualifizierten Fachkräftenachwuchs zu sichern.¹⁹ Neben der Vermittlung von Fachkenntnissen besteht die Bedeutsamkeit in der Vermittlung von Schlüsselqualifikationen und Kompetenzen. Eine weitere Aufgabe der beruflichen Bildung ist es, grundlegende spezifische betriebliche Erfahrungssituationen mit den Schülerinnen und Schülern herauszuarbeiten und diese zu erweitern.²⁰ So ist der hypothesengeleitete Gegenstand dieser Arbeit folgender: Wenn additive Fertigungsverfahren mit dem Einsatzgebiet des Rapid Manufacturing in den schulischen Kontext implementiert werden, kann der ansteigende Bedarf an einem qualifizierten Fachkräftenachwuchs für den 3D-Markt gesichert werden. So führt die Herangehensweise dieser Arbeit hin zur Implementierung des Einsatzgebietes Rapid Manufacturing in den schulischen Kontext.

Anhand einer beispielhaften Lerneinheit, welche in Form einer Projekteinheit in den Unterricht des Berufsfeldes Bautechnik integriert wird, werden Kompetenzen und Kenntnisse für den Umgang mit additiven Fertigungsverfahren vermittelt. Innerhalb dieser Lerneinheit sollen die Schülerinnen und Schüler handlungsorientierten Unterricht erfahren. Die Lerngruppe, soll das Three Dimensional Printing [3DP] Verfahren, ähnlich dem Contour Crafting [CC]²¹, welches Werkstoffe auf Gipspulverbasis verarbeitet, in Bezug auf das Rapid Manufacturing [schnelle Produktion] kennen, vernetzen, ausführen und weiterentwickeln können. Die Schülerinnen und Schüler sollen anwendungsbezogen einen realitätsnahen Kundenauftrag [Briefing] bearbeiten und ein kundenspezifisches Endprodukt realisieren.

¹⁸ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: (2013), S. 116 ff.

¹⁹ Vgl. Kultusministerkonferenz: (23.10.1998), S.1

²⁰ Vgl. Ebd., S.3-4

²¹Vgl. Gebhardt, Andreas: (2013), S.523

2. Verordnungen und Normierungen

Normierungen und Verordnungen, welche die individuellen in Verwendung stehenden Materialien, Werkzeuge, Bauleistungen und Anforderungen definieren und auf ihre Verwendung hinweisen, sind Bestandteil einer Serienfertigung. So finden sich in den folgenden Normierungen Begriffe, Prüfverfahren und technische Hinweise auf die Teilbereiche der Stuckherstellung. Außerdem finden sich innerhalb der Normierungen unter anderem Hinweise auf technische Verfahren zur Herstellung von Gipsbinder, der Handhabung und Verwendung von Bindemitteln, und den Arten von Gips-Trockenmörtel. Zudem finden sich Hinweise zur Bestimmung der Wassergipswerte, Normzemente und bautechnische Verordnungen, an die sich Stuckateure/-innen innerhalb ihrer Berufstätigkeit richten. Im Folgenden werden die häufig verwendeten Normierungen aufgelistet.

- DIN EN 13963 | **Materialien für das Verspachteln von Gipsplatten-Fugen
Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren²²**
- DIN 18451 | **VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV)
Gerüstarbeiten²³**
- DIN 18350 | **VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV)
Putz- und Stuckarbeiten²⁴**
- DIN 18558 | **Kunstharzputze: Begriffe, Anforderungen, Ausführung²⁵**
- DIN 1859874 | **VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV)
Putz- und Stuckarbeiten²⁶**
- DIN EN 16455 | **Erhaltung des kulturellen Erbes
Bestimmung von löslichen Salzen in Naturstein und artverwandten
Materialien des kulturellen Erbes²⁷**
- DIN EN 13279 | **Putz und Putzsysteme²⁸**
- DIN EN 13279 | **Gipsbinder und Gips-Trockenmörtel²⁹**

²² DIN EN 13963: (06.09.2014)

²³ DIN 18451: (06.09.2014)

²⁴ DIN 18350: (06.09.2014)

²⁵ DIN 18558: (19.11.2014)

²⁶ DIN 1859874: (06.09.2014)

²⁷ DIN EN 16455: (06.09.2014)

²⁸ DIN EN 13279: (06.09.2014)

²⁹ Ebd.

3. Historische Stuckherstellung

Die Namensgebung „Stuck“, kommt aus dem italienisch-Langobardischen und bedeutet „stucco“. Diese drückt sich als „plastische Ausformung mittels Gips“³⁰ aus. Der Begriff „Stuck“ ist ebenfalls mit dem althochdeutschen „stucki“³¹ verwandt, welches „Rinde, überkleidende Decke“ bedeutet.³²

Die ältesten Ausgrabungen finden sich heute in der türkischen Stadt Çatalhöyük. In der türkischen Kleinstadt sind Behausungen zu sehen, innerhalb welcher die Verwendung von Stuckornamenten nachzuweisen ist.³³ Die Ausgrabungsstätte in Çatalhöyük, wurde anhand einer Radiokohlenstoffdatierung auf ca. 7400 v.Chr. datiert.³⁴ In Abbildung 2 ist die Rekonstruktion eines Wohnraums des Museums der anatolischen Zivilisationen in Ankara, Türkei zu sehen.

„Stuck gehört wie die Malerei zu den ältesten künstlerischen Tätigkeiten des Menschen.“³⁵

Merkmale und Kennzeichen der griechischen Baukunst sind unter anderen die drei folgenden Säulenformen: dorisch, ionisch, korinthisch. Das architektonische Charakteristikum war die Betonung der Waagerechten und Senkrechten innerhalb der Bautechnik.³⁶ Die dorische Säulenform, zeichnet sich durch breite Kapitelle, dem fehlenden Säulenfuß und die entsprechende Ausbauchung in den unteren Bereichen aus. Die ionische Säulenform weist „dezentere Ausbauchungen“³⁷ auf und ist durch Stege getrennt. Die Vorder- und Seitenansicht ist asymmetrisch gestaltet. Die korinthische Säulenform hingegen weist lineare und stilisierte Ornamente, welche kelchförmig sind, aus. Diese werden durch 8 Blätter gebildet. Die Vorder- und Seitenansichten sind symmetrisch.³⁸ Die Römer, welche die Griechen und Etrusker ablösten, eigneten sich unter anderem die Technologie der Stuckherstellung an. So lässt sich das römische Stilelement, welches durch Rundbogen, Profanbauten in Form von Säulen und Kapitellen darstellen. Mit der römischen Stilkunde beginnt die Gewölbetechnik, der Kreuz-, Tonnen- und Kuppelgewölbe. So finden sich in der römischen Stilepoche viele mit Stuck ausgestattete Bereiche.³⁹

„Auch die christlichen Katakomben in Rom waren mit Stuck ausgestattet [Basilika Porta Maggiore]. Christliche Weiterführungen in der Tradition des Stuckierens finden sich in Ravenna in der Neonianischen Taufkapelle [5.Jahrhundert], in Cividale in der Kirche S. Maria in Valle [8.Jahrhundert], sowie - vermittelt durch die das Christentum verbreitenden römischen Besatzungstruppen - auch nördlich der Alpen in Gernrode in St. Cyriakus [10.Jahrhundert]. Für mehrere Jahrhunderte - über die Romanik bis zur Gotik hinüber - blieb das Christentum das verbindende Element zwischen Süd und Nord.“⁴⁰

Das antike Vorbild der Stuckherstellung gelangte erst in der Zeit der Renaissance nach Europa. Ebenfalls flossen individuelle gestalterische und technische Einflüsse der Stuckherstellung aus dem islamischen Raum nach Europa.⁴¹

³⁰ Duden: (30.06.2014)

³¹ Ebd.

³² Ebd.

³³ Vgl. Neolithic Site of Çatalhöyük:(02.01.2014)

³⁴ Vgl. Ebd.

³⁵ Ebd.

³⁶ Vgl. Rupp, Gerhard: (2002), S. 245

³⁷ Rupp, Gerhard: (2002), S. 245

³⁸ Vgl. Ebd

³⁹ Rupp, Gerhard: (2002), S. 246

⁴⁰ Rupp, Gerhard: (2002), S. 246

⁴¹ Vgl. Ebd.

„Nicht zu vergessen ist hier die "Nebenlinie" Ostrom, das Byzantinische Reich, dessen aus römischer Tradition und vielfältigen orientalischen und vorderasiatischen Einflüssen entstandene Kultur zwar durch die Eroberung der Türken im 15. Jahrhundert unterging, zugleich aber auch gerade durch die türkischen Feldzüge nach Mitteleuropa drang.“⁴²

In den Fassaden- und Deckengestaltungen der Stilepochen des Barocks [1600 bis 1800], Klassizismus [1780 bis 1840], Historismus [1830 bis 1920], verdeutlichen sich die individuellen Entwicklungen der Stuckherstellung Europas.⁴³ Das Barock zeichnet sich durch schwungvolle Linien, den Einsatz von Marmor, Stuck, Gold und der Farbenpracht aus, welche durch Licht- und Schattenspiele hervorgehoben wird. (Siehe Abbildung 2)

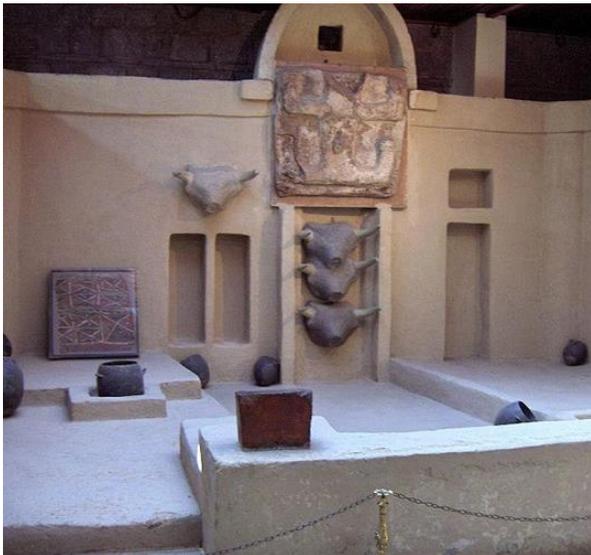


Abbildung 1 | Catalhöyük



Abbildung 2 | Baustile in Innsbruck

Das Barock wurde durch den stilistischen Charakter des Rokoko fortgeführt. Rokoko, zeichnet sich durch eine dominierende Farbenpracht und Detailliertheit aus. Dem Rokoko kommt als zierendes Element das Rocaille-Ornament, ein Muschelwerk, hinzu. Die Stilelemente des Klassizismus wurden durch die Aufklärung geleitet, welche sich durch klassische Strenge und Klarheit bebilderte. Die Aufklärung wies eine nüchterne Bauweise auf. Der Historismus hingegen, lässt sich durch die Nachahmungen von historischen Baustilen, unter anderem der Renaissance, Barock und Gotik veranschaulichen. Innerhalb des Historismus, wurden verschiedene Teilbereiche der Stilepochen vermischt. Der Einsatz von Eisen- und Stahlbeton erfolgte zu dieser Zeit erstmalig.⁴⁴ Die Baukunst des 20. Jahrhunderts verdeutlicht eine funktionsgerechte Bauweise. Leitziele dieser Zeit waren, dass die „Funktion die Form bestimmen soll“⁴⁵. Innerhalb dieser Zeit, wurden auf schmückende Elemente verzichtet.⁴⁶

Durch den Wiederaufbau in Deutschland, verlor der dekorative Stuck stark an Bedeutung. Die schmuckhafte Gestaltung wurde als störend empfunden, da die Gebäude funktional aufgebaut werden sollten und die dekorativen Stuckelemente nicht den modernen Architekturvorstellungen entsprachen. Der Kosten-Nutzenfaktor entsprach in der Zeit zwischen 1945 – 1960 nicht den

⁴² Rupp, Gerhard: (2002), S. 246

⁴³ Ebd.

⁴⁴ Ebd.

⁴⁵ Ebd.

⁴⁶ Vgl. Rupp, Gerhard: (2002), S. 251

zeitlichen Gegebenheiten der Nachkriegszeit.⁴⁷ Somit wurde der Stuck schrittweise aus den Altbauten, welche historische Spuren der jeweiligen vorangegangenen Stilepochen trugen, entfernt. Der Aufwand der Instandhaltung und Restaurierung und die damit verbundenen wirtschaftlichen Kosten waren zu dieser Zeit nicht vertretbar.⁴⁸ In der Zeit ab 1970, wurden vermehrt Altbauten saniert, wobei der Trend der Innenraumgestaltung mit preiswertem Stuck in Form von Polystyrol, welcher einen historischen Charakter in die Innenraumgestaltung einbringen sollte, Einzug fand.⁴⁹

Die Innenraumgestaltungen gewährleisteten nicht die heutigen Standards für Bauleistungen. Somit wurden Verordnungen und Normierungen eingeführt, zu diesen die DIN 18350, VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen. Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen [ATV] Putz- und Stuckarbeiten, gehören.

⁴⁷ Ebd.

⁴⁸ Oestereich, Christopher: (2000), S. 110 ff.

⁴⁹ Oestereich, Christopher: (2000), S. 110 ff.

4. Handwerkliche Stuckherstellung

„Stuckateur/in ist ein anerkannter Ausbildungsberuf nach dem Berufsbildungsgesetz [BBiG] und der Handwerksordnung [HwO]. Diese bundesweit geregelte 3-jährige Ausbildung wird in Industrie und Handwerk angeboten.“⁵⁰

Die Berufsbezeichnungen Stuckateur/-in unterscheiden sich nach Orts- und Landesgebrauch. So sind unter anderem Bezeichnungen wie Putzer/-in, Rabitzer/-in und Weißbinder/-in zu finden. Neben den körperlichen und mathematischen Kenntnissen werden Stuckateuren/-innen räumliches Vorstellungsvermögen und individuelle Grundanforderungen, welche innerhalb der Ausbildung des Stuckateurs/-in verortet werden, abverlangt.⁵¹ Weitere Anforderungen sind neben dem Einrichten des Arbeitsplatzes, unter Berücksichtigung von Arbeits- und Schutzmaßnahmen ebenfalls Anforderungen für das Einrichten von Arbeits- und Schutzgerüsten. Fähigkeiten innerhalb der Werkstoffkunde, beispielsweise das Anrühren von Mörtel, das Vorbereiten von Gips, entsprechenden der Viskosität und Verarbeitungseigenschaften, sind Grundvoraussetzungen für die anstehenden Stuckarbeiten. Historische Restaurierungen und Neugestaltungen von Stuckarbeiten können unter anderem Arbeiten an Stuckdecken, Stuckbögen und Rosetten sein. Das Befestigen und Herrichten von Putzträgern, das Herstellen von Unterputz, das Aufbringen von Feinputz, gehören zu den entsprechenden handwerklichen Fertigkeiten des Stuckateurs/-in.

*„Um ein guter Stuckateur zu sein, reicht es nicht aus ein guter Handwerker zu sein.
Er muss auch gute künstlerische Fähigkeiten besitzen.“⁵²*

Weiteres technisches Verständnis wird bei der Herstellung von Abgüssen und Schablonen für das Ziehen von Gesimse- und Profilen und das Aufbauen von Gerüsten wie Fassaden- und Montagegerüsten abverlangt. Hinzu kommen spezifische Kenntnisse im Wärme-, Schall-, Feuchte- und Brandschutz. Bauphysikalische Kenntnisse und Normierungen, welche beispielsweise der DIN V 18599, DIN 4108 und der Energieeinsparverordnung (EnEV) verortet sind, sind Bestandteil dieser. Zudem finden sich innerhalb der Normierungen Vorgaben, relevante Informationen für den Bautechnischen Bereich, welcher Informationen beispielsweise in Bezug auf spezifische Kenntnisse zum Energieausweis wiedergibt. Innerhalb diesem ist ein „unter standardisierten Normungsrandbedingungen erstelltes Dokument über die energetische Qualität eines Gebäudes“⁵³ festgelegt.



Abbildung 3 | Stuckateur

⁵⁰ Stuckateur/in in berufenet.arbeitsagentur.de: (02.01.2014) | Stuck-Verband: (02.01.2014)

⁵¹ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.7

⁵² Ein Beruf für Handwerker und Künstler: (03.01.2014)

⁵³ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Straßenentwicklung: (03.01.2014)

Ein wichtiger Arbeitsbereich des Stuckateurs/-in ist das Profil des Formen- und Modellbaus. Die Tätigkeitsfelder des Stuckateurs/-in, beschränken sich nicht ausschließlich auf die Restaurierung und Neugestaltung von Stuck, sondern auf die spezifischen Kernkompetenzen, welche innerhalb der Ausbildung erworben werden. Diese sind unter anderem das Auftragen von Außen- und Fassadenputz, das Behandeln von Untergründen und der Trockenbau. Auch angrenzende Arbeitsbereiche, wie Innen- und Außenwandastriche, beinhaltet die dreijährige Ausbildung des Stuckateurs/-in.⁵⁴ Stuckateure/-innen können, in verschiedenen Teilbereichen von Berufsfeldern arbeiten.⁵⁵ So kann ein Stuckateure/-in neben Putz- und Stuckarbeiten als Maurer/-in, Fliesenleger/-in und Gerüstbauer/-in tätig werden. Weiterbildungsmöglichkeiten sind in der Meisterausbildung und in der entsprechenden Spezialisierung der Selbstständigkeit zu verorten.⁵⁶

Im Folgenden ist eine Übersicht zu den Lernfeldern des Ausbildungsberufs Ausbaufacharbeiter/-in im Schwerpunkt Stuckateurarbeiten sowie für den Ausbildungsberuf Stuckateur/-in, einzusehen.⁵⁷ Die Besonderheit dieses Rahmenlehrplans besteht innerhalb einer Drei-Phasen-Einteilung. So müssen alle Ausbildungsberufe in der Bauwirtschaft, zu denen unter anderem der/die Maurer/-in, Beton- und Stahlbetonbauer/-in, Feuerungs- und Schornsteinbauer/-in, Zimmerer/Zimmerin und Stuckateur/-in gehören, die gemeinsame berufsfeldbreite Grundbildung des/der Ausbaufacharbeiter/-in innerhalb des ersten Ausbildungsjahres abschließen, um im zweiten Ausbildungsjahr einen der Schwerpunkte zu wählen, welcher mit dem jeweiligen Ausbildungsberuf im dritten Ausbildungsjahr abschließt.⁵⁸

Die Meisterprüfung für Stuckateure/-innen kann an verschiedenen Lehrgangsorten, wie beispielsweise in Düsseldorf durchgeführt werden.⁵⁹ Die Lehrgangsdauer beträgt in Teilzeit ca. 20 Monate.⁶⁰ Innerhalb dieser Zeit lernen die Meisterschüler/-innen Kompetenzen eines Unternehmers/-in. Die Vorbereitung auf die Meisterprüfung besteht aus drei Teilbereichen. Teil I – Fachpraxis beinhaltet den Entwurf, die Planung und Kalkulation von Baumaßnahmen. Oberflächenbeschichtungen und Techniken sind Bestandteil der Weiterbildung. So kommen auf den/die Meisterschüler/-in fachpraktische Anforderungen an das Ausführen von Arbeiten an Putzfassaden und gedämmten Fassaden oder vorgehängten Fassaden, hinzu. Anforderungen an das Herstellen von Wand- und Deckenkonstruktionen und Anforderungen an den Wärme-, Schall- und Brandschutz, sind Bestandteil von Teil I - Fachpraxis. Teil II – Fachtheorie, besteht aus den Teilbereichen Technik und Gestaltung. Innerhalb dieser Teilbereiche, werden bautechnische und gestalterische Aufgaben bearbeitet, welche stilistischen, ästhetischen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekte beinhalten. So werden des Weiteren Einsatzmöglichkeiten von Putzen und weiteren Baustoffen objektbezogen ausgewählt. Die Meister/-innen führen bauphysikalische Berechnungen durch, können Angebote kalkulieren und sie kennen berufsbezogene Vorschriften und Verordnungen. Die zukünftigen Meister/-innen können unter anderem Sanierungsmaßnahmen planen und sie weisen Schlüsselkompetenzen auf, innerhalb dieser sie die historischen Bezüge ihrer Arbeit in Bezug auf die Stilkunde erlangen. Kenntnisse und Kompetenzen in der Betriebsführung und Organisation, unter Berücksichtigung des Marketing, der Personalwirtschaft und der Inkludierung von arbeitsschutztechnischen Maßnahmen sind Bestandteile der Meisterschule.⁶¹

⁵⁴ Vgl. Stuckateur/in in berufenet.arbeitsagentur.de: (02.01.2014) | Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985) S.10 ff.

⁵⁵ Vgl. Stuckateur/in Meisterschule: (07.07.2014)

⁵⁶ Ebd.

⁵⁷ Ebd.

⁵⁸ Ebd.

⁵⁹ Ebd.

⁶⁰ Ebd.

⁶¹ Ebd.

<i>Übersicht über die Lernfelder für den Ausbildungsberuf Ausbaufacharbeiter/-in im Schwerpunkt Stukkateurarbeiten (1. Stufe) sowie für den Ausbildungsberuf Stukkateur/-in (1. und 2. Stufe)</i>				
<i>Lernfelder</i>		<i>Zeitrictwerte in Stunden</i>		
		<i>1. Jahr</i>	<i>2. Jahr</i>	<i>3. Jahr</i>
<i>Ausbaufacharbeiter/-in</i>				
	<i>Berufsfeldbreite Grundbildung (alle Berufe) *)</i>			
<i>1</i>	<i>Einrichten einer Baustelle</i>	<i>20</i>		
<i>2</i>	<i>Erschließen und Gründen eines Bauwerks</i>	<i>60</i>		
<i>3</i>	<i>Mauern eines einschaligen Baukörpers</i>	<i>60</i>		
<i>4</i>	<i>Herstellen einer Holzkonstruktion</i>	<i>60</i>		
<i>5</i>	<i>Herstellen eines Stahlbetonbauteiles</i>	<i>60</i>		
<i>6</i>	<i>Beschichten und Bekleiden eines Bauteiles</i>	<i>60</i>		
<i>Ausbaufacharbeiter/-in, Schwerpunkt Stukkateurarbeiten</i>				
<i>7</i>	<i>Putzen eines Wohnraumes</i>		<i>80</i>	
<i>8</i>	<i>Putzen einer Außenwand</i>		<i>40</i>	
<i>9</i>	<i>Ziehen und Ansetzen eines Stuckprofiles</i>		<i>80</i>	
<i>10</i>	<i>Herstellen einer Wand in Trockenbauweise</i>		<i>80</i>	
<i>Stukkateur/-in</i>				
<i>11</i>	<i>Herstellen eines wärmedämmenden Putzsystems</i>			<i>40</i>
<i>12</i>	<i>Herstellen von Antragsstück</i>			<i>60</i>
<i>13</i>	<i>Erstellen einer Unterdecke in Trockenbauweise</i>			<i>80</i>
<i>14</i>	<i>Erstellen einer Drahtputzkonstruktion</i>			<i>40</i>
<i>15</i>	<i>Sanieren eines Bauteiles</i>			<i>20</i>
<i>16</i>	<i>Einbauen eines Estrichs</i>			<i>40</i>
<i>Insgesamt 880</i>		<i>320</i>	<i>280</i>	<i>280</i>

Tabelle 1: Ausbildungsberuf Stukkateur/-in

5. Werkzeuge der traditionellen Stuckherstellung

„Wie der Herr, so's Gescherr!“⁶², heißt ein traditionelles Stuckateur/-in-Sprichwort.

Das Sprichwort verdeutlicht die Bedeutsamkeit und Pflege, welche mit dem Werkzeug einhergeht. So lernt der Lehrling bereits vom ersten Lehrjahr an, wie er mit dem Werkzeug umzugehen hat. Durch die tägliche Handhabung erlernt der Lehrling die Handhabung und die entsprechenden Einsatzgebiete des jeweiligen Werkzeugs.⁶³

In der Zeit der Zünfte. In der Tradition des Stuckateurs/-in musste der Lehrling „jeden Samstag das Werkzeug der Mitgesellen, soweit es aus Stahl oder Eisen bestand, mit einem weichen Ziegelstein blankscheuern und dann einfetten.“⁶⁴ Durch diese Art der Handhabung lernte der Lehrling das Werkzeug zu schätzen und instand zu halten. Das Werkzeug wurde vom Lehrling selbstständig beschafft, sofern der Lehrlings finanzieller Unterstützung bedurfte, wurde dieser von dem Handwerksbetrieb unterstützt. Jeder Handwerker wies eine individuelle Ausstattung an Werkzeugen auf. Die Verwendung von Fremdwerkzeugen war in der Zunft der Stuckateure nicht üblich, da Kenntnisse im Umgang mit diesen auf Erfahrungswerten basierten.⁶⁵

Zu der Grundausstattung an Werkzeugen gehören: „Traufel, viereckige Kelle [1], Spachtel [2], Schöpfkelle [3], Gipsfännle [4], Spitzkelle, Gipserbeil [5], Gipserhammer [6], Rapitzängel [7], Wasserwaage [8], Schenkel, Anschlaghaken, Rauhscheibe, Stoßholz, Schiene zum Gesimseputzen [9], Fugeneisen, verschiedene Putzeisen, Ziehklinge [10], Pinsel [11], Gesimshobel und Meterstab [12], Fuchsschwanz [13], Edelputzkratzer [14], Filzscheibe [15].“⁶⁶

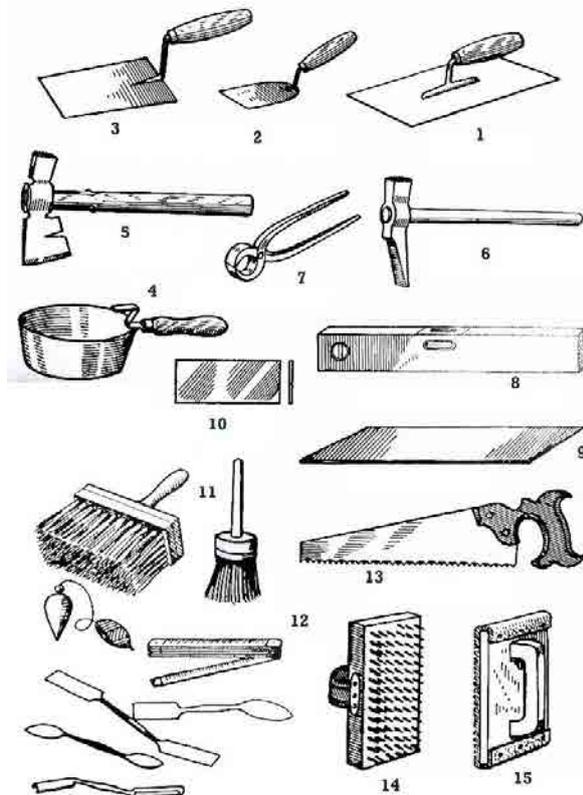


Abbildung 4 | Stuckateur -Werkzeuge Binder

Zudem sind Gerätschaften wie:
Aufzugwinden, Handkurbeln,
Elektro- oder Verbrennungsmotoren,
Mörtelmischmaschinen, Spritzmaschinen
und Putzmaschinen zu finden.

⁶² Binder, Schaumann, Haas Läßple: (1985), S.10 f.

⁶³ Ebd.

⁶⁴ Ebd.

⁶⁵ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßple: (1985), S.11

⁶⁶ Binder, Schaumann, Haas Läßple: (1985), S.12

6. Werkstoffe

Werkstoffe, welche zur Verarbeitung von Stuckarbeiten verwendet werden, sind unterschiedlich normiert. Definitionen sind innerhalb der europäischen Putzmörtelnorm EN 998-1⁶⁷ festgelegt. Der Ristuck / Stuckgips ist eine Gips-Sorte, welche nach der DIN EN 13279-1 definiert ist⁶⁸. Dieser kann nach einer Verarbeitungszeit von acht bis zehn Minuten verwendet werden, ab dieser Zeit beginnt das Material linear zu versteifen.⁶⁹ Stuckgips erreicht eine Mindestdruckfähigkeit von 6 N/mm².⁷⁰ Die Bestandteile von Stuckgips sind unter anderem Calciumsulfat-Halbhydrat, dieser wird im Niedertemperaturbereich gebrannt.⁷¹ Baumaterialien für Stuck- und Putzarbeiten, werden in Bindemittel wie Gips, Kalk, Zement und Zuschlagstoffe wie Grab-, Brech-, und Flusssand, unterteilt.⁷²

Putzmörtel nach der europäischen Putzmörtelnorm EN 998-1⁷³

Gipsputz aus	Wassergipswert	Rohdichte [kg/m ³]	Porenvolumen [Vol.-%]	E-Modul [N/mm ²]	Druckfestigkeit [N/mm ²]
Stuckgips	0,75	ca. 1.000	57	ca. 4.800	2,5 - 6
Putzgips	0,80	ca. 1.050	54	ca. 5.200	2,5 - 6
Maschinenputzgips	0,48	ca. 1.110	52	ca. 2.800	2,5 - 5
Haftputzgips	0,62	ca. 900	61		2,5 - 4
Fertigputzgips	0,62	ca. 950	58		2,5 - 4

Quelle: EN 998-1

Gips: Ca[SO₄] + ½ H₂O. Gips wird bei einer Temperatur von 120° - 180° C gebrannt.⁷⁴ Das sogenannte „Abbinden“ des gebrannten Gipses ist ein Kristallisationsprozess, der den beim Brennvorgang ausgetriebenen Kristallwassergehalt aus dem Gipsstein entzieht.⁷⁵ Durch das Anmachen [Zugabe von Wasser] wird die Kristallstruktur regeneriert.⁷⁶ „Richtig angemachter Stuckgips und Putzgips bleibt unter merklicher Wärmeentwicklung nur einige Minuten dünnflüssig. Man nennt diese Zeitspanne Gießzeit“⁷⁷. Die Gießzeiten von Gips unterscheiden sich je nach der Art des Gipses; so beträgt die Streichzeit von Stuckgips acht bis zehn Minuten [höchstens 25 Minuten].⁷⁸ Die vollständige Abbindezeit („leichtes Eindrücken mit Nagel möglich“⁷⁹) beträgt dreißig Minuten.⁸⁰ Beim Estrichgips, welcher weniger Wasser bedarf/benötigt, beträgt die Abbindezeit sechs bis vierundzwanzig Stunden.⁸¹

⁶⁷ EN 998-1: (20.11.2014)

⁶⁸ DIN EN 13279: (06.09.2014)

⁶⁹ Bundesverband der Gipsindustrie: (03.01.2014)

⁷⁰ Ebd.

⁷¹ Vgl. Bundesverband der Gipsindustrie: (03.01.2014)

⁷² Ebd.

⁷³ EN 998-1: (20.11.2014)

⁷⁴ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.14

⁷⁵ Ebd.

⁷⁶ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.25

⁷⁷ Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.25

⁷⁸ Ebd.

⁷⁹ Ebd.

⁸⁰ Ebd.

⁸¹ Vgl. Ebd.

6.1. Verordnungen und Normierungen von Materialien

Neben den Normierungen und Verordnungen von Werkzeugen und technischen Komponenten der Stuckherstellung werden technische Hinweise, Klassifikationen, Normen und Regelungen innerhalb der Handhabung, Verwendung und Anwendung von Materialien, welche für die Stuckherstellung relevant sind, festgelegt. Innerhalb dieser können materialspezifische Hinweise ausgelesen werden, welche für die Bestimmung der Festigkeit, den Umweltschutz, Sicherheit- und Gesundheitsschutz, der Materialbeschaffenheit im Sinne der Festigkeit, Viskosität und Handhabbarkeit, berücksichtigt werden müssen.

Die folgende Übersicht gibt einen Ausschnitt der häufig verwendeten Normierungen in Bezug auf die zu verwendenden Materialien innerhalb der Stuckherstellung, wieder.⁸²

Zementarten	CEM II ⁸³ CEM III ⁸⁴
Hüttensand DIN EN 15167	Hüttensandmehl zur Verwendung in Beton, Mörtel und Einpressmörtel ⁸⁵
Puzzolan	CEM II/A-P, natürliches Puzzolan (P) ⁸⁶
Flugasche DIN EN 450-1	Flugasche für Beton, CEM II/B-V ⁸⁷
Ölschiefer	-
Kalkstein	CEM II/B-L ⁸⁸

⁸² Vgl. Beton: (19.07.2014)

⁸³ Cemex: (20.11.2014)

⁸⁴ Ebd.

⁸⁵ Ebd.

⁸⁶ Ebd.

⁸⁷ Ebd.

⁸⁸ Ebd.

6.2. Asbest in der Stuck- und Putzherstellung

In den 1950er Jahren kam es innerhalb von Arbeitsbereichen, so in der Stuck- und Putzherstellung, zu einer vermehrten Nutzung von Asbest.⁸⁹ Asbest war ein häufig genutzter Werkstoff, da das Material säure- und hitzebeständige Eigenschaften und eine große Festigkeit besitzt.⁹⁰ Die Beschaffenheit von Asbest ermöglicht eine vereinfachte Verarbeitbarkeit: so ist das Material Asbest durch seine Fasern leicht in Form von Garn zu verarbeiten.⁹¹ Asbest ist schwierig zu entsorgen, da es sich mit Zementen, Gipsen und anderen Stoffen leicht verarbeiten lässt. Innerhalb der Asbestwerke wird der Asbest durch die Abspaltung von nicht nicht faserigem Material gewonnen.⁹² Erst 1990 erfolgte ein Verbot innerhalb der Europäischen Union, da Asbest wegen der gesundheitsschädlichen Wirkung schwerwiegende Krankheiten verursacht. Bei asbesthaltigen Materialien werden Asbestfasern freigesetzt, welche bei einer Faserlänge von kleiner als 5 µm und einem Durchmesser von max. 3 µm in die Lungen gelangen und schon bei einer geringen Belastung eine Asbestose auslösen.⁹³ Dennoch wiesen im Jahr 2007 Länder wie China 626.000 Tonnen, Indien 302.000 Tonnen, Russland 280.000 Tonnen, Kasachstan 109.000 Tonnen und Brasilien 93.000 Tonnen Asbestverbrauch, auf.⁹⁴ In den Statistiken für 2012 wurden innerhalb der Weltproduktion 307.000 Tonnen Asbest von Brasilien, 420.000 Tonnen von China, 241.000 Tonnen von Kasachstan und 1.000.000 Tonnen Asbest von Russland, abgebaut. In den Ländern Russland, Kasachstan, und Brasilien ist ein enormer Anstieg in der Produktion von Asbest zu verzeichnen.⁹⁵

Industriemineral	Menge in 1.000 t	Industriemineral	absoluter Wert in Mio Euro	Industriemineral	Wert in Euro / t
Sand / Kies	> 9.000.000	Sand / Kies	48.320	Graphit	369,4
Naturstein	3.500.000	Naturstein	19.690	Asbest	285,7
Ton	> 500.000	Phosphat	4.373	Glimmer	272,3
Steinsalz	194.100	Ton	3.835	Bor	268,5
Torf	125.000	Steinsalz	3.623	Zirkon	251,2
Industriesand	120.000	Kaolin	2.900	Kieselgur	195,0
Gips	99.500	Torf	2.876	Sillimanit	137,1
Schwefel	56.810	Kalisalze	2.568	Phosphat	108,9
Phosphat	40.150	Industriesand	1.718	Kalisalze	107,4
Kaolin	39.670	Schwefel	1.453	Flussspat	97,8
Kalisalze	23.920	Soda, natürlich	995	Soda, natürlich	95,7
Soda, natürlich	10.400	Gips	814	Kaolin	73,1
Magnesit	9.480	Asbest	640	Talk / Pyrophyllit	53,2
Betonit	9.330	Talk / Pyrophyllit	443	Magnesit	38,4
Talk / Pyrophyllit	8.330	Flussspat	399	Feldspat	38,3
Feldspat	7.512	Magnesit	364	Baryt	34,7
Baryt	5.076	Feldspat	288	Betonit	27,7
Flussspat	4.080	Kieselgur	273	Schwefel	25,6
Asbest	2.240	Betonit	258	Torf	23,0
Kieselgur	1.400	Graphit	246	Steinsalz	18,7
Zirkon	856	Zirkon	215	Industriesand	14,3
Graphit	666	Baryt	176	Gips	8,2
Bor	406	Bor	109	Ton	7,7
Sillimanit	394	Glimmer	61	Naturstein	5,6
Glimmer	224	Sillimanit	54	Sand / Kies	5,4

Tabelle 1: Weltproduktion von Industriemineralien 1996

[Quellen: Die Daten zu „Menge in 1.000 t“ und „absoluter Wert in Mio Euro“ sind entnommen aus Andreas Hoppe: Georesourcen und Georisiken, in: W. Rosendahl und A. Hoppe (Hg.), Angewandte Geowissenschaften in Darmstadt, Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 15, Hannover 2002, S. 159, Tabelle 1, sowie Friedrich-Wilhelm Wellmer und Jens Dieter Becker-Platen: Mit der Erde leben – Beiträge Geologischer Dienste zur Daseinsvorsorge und nachhaltigen Entwicklung, Berlin, Heidelberg 1999. Die dort jeweils in Deutsche Mark angegebenen Preise wurden mit Wechselkurs vom 1.1.2002 in Euro umgerechnet. Die Daten für Abbildung 5 | Weltproduktion Industrie-Mineralien

Das Industriemineral Gips wurde innerhalb der Weltproduktion 1996 mit einer Gewichtung von 99.500 Tonnen abgebaut. Der Anteil von Asbest lag bei 2.240 Tonnen. Die absoluten Werte der Industriemineralien in Euro (€): Asbest 640 Millionen € und Gips 814 Millionen Euro. Der Wert von Asbest lag zu dieser Zeit bei 285, 7 € pro Tonne, wobei vergleichsweise Gips bei 8,2 € pro Tonne lag. Somit hat Asbest einen höheren ökonomischen Wert, als andere mineralischen Rohstoffe, die als Bodenschätze gewonnen werden.⁹⁶ Kulturgeschichtlich wird Asbest wie folgt erwähnt/beschrieben: „[...] wonach die Reinigung eines Asbesttischtes im Feuer vor einer Gesandtschaft Hārūn ar-Raschīd als mächtiger Zauber Eindruck gemacht haben und in politischen Erfolg umgemünzt worden sein soll, lässt sich historisch nicht belegen.“⁹⁷

Heute verwenden Stuckateure/-innen statt Asbest Kunststofffasern, Tierhaare und Pflanzenfasern.⁹⁸

⁸⁹ Vgl. Büttner, Jan: (2004), S.18

⁹⁰ Ebd.

⁹¹ Ebd.

⁹² Ebd.

⁹³ Vgl. Jordan-Gerkens, Anke: (2005), S.3 f.

⁹⁴ Kraft, Richard: (03.07.2014), S.1 f.

⁹⁵ Kraft, Richard: (04.07.2014), S.1 f.

⁹⁶ Vgl. Büttner, Jan: (2004), S.18

⁹⁷ Höper, Wolfgang: (2008), S.253

⁹⁸ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Lämpfle: (1985), S.2

6.3. Das Abbindeverhalten von Gips

Materialien weisen individuelle Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten auf. So verhält sich das Material Gips, je nach beigefügter Komponente, divergent zum jeweiligen Aggregatzustand.⁹⁹ So wird der Zustand, welcher unter anderem die Viskosität [*Zähigkeit*] und Verarbeitbarkeit beschreibt, als Abbindeverfahren bezeichnet.¹⁰⁰

Das Abbindeverfahren erfolgt durch den Brennvorgang des Rohmaterials Gipsstein. Dieser wird weiterverarbeitet und in eine Pulverform zermahlen. Innerhalb großer Kessel, welche mit Mischeinheiten ausgestattet sind, wird der zu zermahlende Rohgipsstein auf eine Temperatur von ca. 120 – 180 °C aufgeheizt und ca. 2 – 3 Stunden befeuert. So wird dem Gips das vorhandene Kristallwasser zu mehr als $\frac{3}{4}$ ausgetrieben. Beim Anmachen erfolgt durch die Zugabe von Wasser zum ausgetriebenen Stuckgips, eine wiederholte Kristallbildung.¹⁰¹ Das Abbindeverfahren kann entsprechend beschleunigt und verlangsamt werden. Dies gelingt unter anderem durch die Menge an Zusatzstoffen, welche dem Material Gips zugefügt werden.¹⁰² Durch die geringe Zugabe von Wasser, welche von der Menge an Gips abhängig gemacht wird [*hartes Anmachen*], beschleunigt der zugegebene Gips den Härteprozess.¹⁰³ So kann die Anwendbarkeit und der Materialbedarf gesteuert werden.¹⁰⁴ Neben der Beschleunigung besteht die Möglichkeit der Verzögerung. Das Verzögern des Gipses findet durch das Verwenden von warmem Wasser und der Zugabe von einem 2%-Anteil Salz statt.¹⁰⁵ Weitere Möglichkeiten der Beschleunigung bestehen durch die Zugabe von kaltem Wasser und dem Zumischen von Kleister und Alkohol.¹⁰⁶

„In einem Gefäß gibt man eine gewisse Menge Wasser hinzu und streut dann gleichmäßig über die ganze Wasseroberfläche Gips ein. Auf 100 Gramm Wasser benötigt man etwas 120– 15 Gramm Gips. Diese Menge wird als Einstreumenge bezeichnet.“¹⁰⁷

Die Operationalisierung des Wassergipswertes findet innerhalb der traditionellen Stuckherstellung häufig subjektiv statt. Sie basiert auf Erfahrungswerten in der Anwendbarkeit des Werkstoffes: *„So erkennt man den richtigen Wassergipswert daran, dass sich beim Einstreuen auf der Wasseroberfläche noch trockene Inseln bilden, die etwa $\frac{3}{4}$ der Oberfläche einnehmen.“¹⁰⁸*

Innerhalb der DIN 1168 wird der Wassergipswert definiert und unterliegt normativen Regelungen. So findet sich folgende Formel für den Wassergipswert:

„Wassergipswert = Wasser : Gips = 0,6 – 0,7 : 1,0“¹⁰⁹

⁹⁹ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.15 f.

¹⁰⁰ Ebd.

¹⁰¹ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.19 f.

¹⁰² Ebd.

¹⁰³ Ebd.

¹⁰⁴ Ebd.

¹⁰⁵ Ebd.

¹⁰⁶ Ebd.

¹⁰⁷ Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.22

¹⁰⁸ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.23 f.

¹⁰⁹ Ebd.

Folgend werden die Anforderungen an den Stuckgips in Bezug auf die DIN 1168 beschrieben. Die Angaben beziehen sich nach dem Beginn des Einsteuerns.¹¹⁰

Kornfeinheit	Rückstand auf dem Sieb	1,2		0 %
	Rückstand auf dem Sieb	0,20	höchstens	12 %
	Rückstand auf dem Sieb	0,09	höchstens	35 %
Versteifen	Versteifungsbeginn		frühestens	8 Minuten
			spätestens	25 Minuten
	Versteifungsende		frühestens	20 Minuten
			spätestens	50 Minuten
Festigkeiten	Biegezugfestigkeit		mindestens	30 Kg / qcm
	Druckfestigkeit		mindestens	70 Kg / qcm
Eigengewicht	Stuckgips	1 l	lose eingefüllt	600 – 800 g
		1 l	ingerüttelt	1000 – 1400 g
Einstreumenge		1/10 l	Wasser	120 – 150 g

¹¹⁰ DIN 1168

6.4. Vorteil Material Gips

Gips hat neben seiner feuchtigkeitsregulierenden und neutralisierenden Eigenschaft, die vorteilhafte Ausprägung feuerbeständig zu sein.¹¹¹ So können Stuckelemente hohen Hitzegraden unversehrt standhalten.¹¹² Die Verwendung von Gips kann auf natürlichem Wege für den technischen Brandschutz förderlich sein.¹¹³ Die Materialparameter für Gips betragen in der Wärmeleitfähigkeit in W / (mK): 0,21 - 0,35, die spezifische Wärmekapazität in WS/(Kg*K) beträgt: 900, die Dichte in kg/m³ 900 - 1.200. Gipsstein trägt die Bezeichnung Calciumsulfat-Dihydrat (CaSO₄ · 2H₂O). Das Calciumsulfat-Dihydrat besteht aus dem Molekül CaSO₄ und den gebundenen zwei Molekülen 2H₂O (Kristallwasser).¹¹⁴ Gips enthält ca. 20 Masse-% (bis zu 40 Masse-%)¹¹⁵ Kristallwasser. Das Kristallwasser ist innerhalb des Gipses chemisch gebunden. Entweicht das Kristallwasser innerhalb eines Brandes, erhöht sich die nötige Menge an Energie, um der Grundsubstanz Schaden zuzufügen. Die Entwässerung des Materials Gips beginnt bei ca. 40° ein. Der Restwasserentzug setzt ab einer Temperatur von ca. 200° ein. Bei ca. 900° setzt die thermische Zersetzung des Anhydrits ein. Anhydrit-Kristalle geraten bei der Zugabe von Wasser in ihre Ursprungsform zurück. Bis zu einer Temperatur von ca. 150° dehnt sich das Gipselement aus. Nach der Entwässerung beginnt der Schrumpfprozess.¹¹⁶ „Ohne besonderen Nachweis gelten 1,5 cm dicke Gipsputze bereits als feuerhemmend.“¹¹⁷

Wärmeleitfähigkeit = W / (mK)

spezifische Wärmekapazität = WS/(Kg*K)

Dichte = Kg/m³

Calciumsulfat-Dihydrat [CaSO₄ · 2H₂O]

Die feuchtigkeitsregulierende Eigenschaft des Materials Gips verdeutlicht sich durch die kapillare, der porige Beschaffenheit innerhalb des Materials selbst, welche als schwammartig bezeichnet wird.¹¹⁸ Diese strukturelle Gegebenheit ermöglicht es, dass die Umgebungsfeuchtigkeit gespeichert und bei sinkender Umgebungsfeuchtigkeit wieder abgegeben wird. Somit wirken Gipselemente in jeglicher Form regulierend auf den Lebensraum des Menschen aus.¹¹⁹ Die Dehnfähigkeit von Gips, wird durch seine Anmachung mittels Wasser begünstigt. Hierbei wird die durch den Brennvorgang zerstörte kristalline Struktur, welche ein nadelförmiges Charakteristikum aufweist, fortwährend regeneriert. Durch das Regulieren entsteht eine proportionale Volumenvergrößerung des Materials. Die proportionale Volumenvergrößerung lässt sich mit einem Ausdehnungsmessgerät nachweisen.¹²⁰

¹¹¹ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.22

¹¹² Ebd.

¹¹³ Ebd.

¹¹⁴ Vgl. Krass et al: (2009), S.247

¹¹⁵ Krass et al: (2009), S.252

¹¹⁶ Vgl. Werner, Ulrich: (2004), S. 68

¹¹⁷ Krass et al: (2009), S.252

¹¹⁸ Ebd.

¹¹⁹ Ebd.

¹²⁰ Ebd.

7. Prozesskette: Arbeitsvorplanung

„Um ein Projekt möglichst wirtschaftlich (mit dem geringsten Kostenaufwand) ausführen zu können, ist es unbedingt erforderlich, eine vorherige Arbeitsvorbereitung durchzuführen.“¹²¹

Die Arbeitsvorplanung inkludiert das Projektcontrolling unter der Berücksichtigung der Herstellungszeit [*Zeit*], der erforderlichen Material- und Herstellungskosten [*Kosten*] und der Sicherstellung der Qualität des Projektergebnisses [*Qualität*], welche während und nach der Arbeitsdurchführung unter einer fachmännischen Abnahme des zuständigen Meisters bzw. Bauleiters stattfindet. Abweichungen innerhalb einer Projektzielsetzung, sollte frühzeitig gegengesteuert werden. Je früher eine Abweichung erkannt wird, desto früher kann eine alternative Lösung gefunden werden, um eine lineare Durchführung des Arbeitsauftrags zu gewährleisten.¹²²

Arbeitsvorplanung

Kalkulation einer Baumaßnahme	Arbeitsverfahren	Bereitschaft	Klarheit über zeitliche Vorgaben
Die Kalkulation einer Baumaßnahme, ist vor Beginn einer Arbeitstätigkeit bekannt zu geben, um beispielsweise möglichen Materialverknappungen entgegenzuwirken. ¹²³	Der Bedarf an Personal, Arbeitskräften, Materialien, Geräten und Maschinen, sollte neben dem Wissen über das jeweilige Arbeitsverfahren vorhanden sein. ¹²⁴	Innerhalb einer fortlaufenden Ausführungszeit, sollten obligate Ressourcen zur Verfügung gestellt werden, die nicht durch andere Baumaßnahmen verhindert sind. ¹²⁵	Bautechnische Informationen und chronologische Richtlinien, sollten innerhalb einer Baumaßnahme von den jeweiligen verantwortlichen Bauherren oder Architekten eingeholt und zur Verfügung gestellt werden. [<i>Bereitstellungsplan oder Gantt-Diagramm</i>] ¹²⁶

Die oben angeführten vier Teilbereiche [*Kalkulation einer Baumaßnahme, Arbeitsverfahren, Bereitschaft und Klarheit über zeitliche Vorgaben*] einer Arbeitsvorplanung sollten vor Beginn einer Baumaßnahme berücksichtigt werden. Zugleich ist die Kalkulation einer Baumaßnahme zu prüfen. Diese Prüfeinheit sollte vor Beginn und nach Abschluss eines Arbeitsauftrags stattfinden. Ein wesentliches Ziel der Arbeitsvorplanung ist es, die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens, durch einen möglichst geringen Kostenaufwand zu sichern. Des Weiteren sollte Klarheit über das jeweilige Arbeitsverfahren bestehen. Das Wissen über den Bedarf an Ressourcen, welches für die Auftragsdurchführung benötigt wird, ist ausschlaggebend innerhalb einer Arbeitsvorplanung. Die Bereitschaft der Arbeitskräfte sollte durch das Personalmanagement koordiniert werden. Diese Notwendigkeit besteht, da innerhalb der Ausführungszeit in den jeweiligen Teilbereichen zuständige Arbeitskräfte vorhanden sein müssen, welche beispielsweise Gerüste aufbauen, mit Hilfe derer Stuckateure/-innen den Stuck an die Wände anbringen können. Eine Klarheit über die jeweiligen zeitlichen Vorgaben muss zu jedem Zeitpunkt vorhanden sein. Diese Information, kann durch den Bauherrn oder Architekten eingeholt werden.

¹²¹ Rupp, Gerhard: (2012), S.11

¹²² Vgl. Bergmann, Garrecht: (2008), S.228

¹²³ Vgl. Drexl 2001, S. 633

¹²⁴ Vgl. Bergmann, Garrecht: (2008), S.35

¹²⁵ Vgl. Bergmann, Garrecht: (2008), S.28

¹²⁶ Vgl. Fiedler, Rudolf: (2014), S.11 f.

7.1. Skizzen und technische Zeichnungen

Nach einer Arbeitsvorplanung folgt die Herangehensweise eines Stuckateurbetriebs an den jeweiligen Arbeitsauftrag [*Briefing*,] des bevorstehenden Projektes. Die vorangegangene Zieldefinition des Arbeitsauftrags gibt Hinweise auf die notwendige Herangehensweise des ausführenden Stuckateurs/-in [*Facharbeiter/-in*]. Aus dem Arbeitsauftrag kann der Facharbeiter/-in die notwendigen Herangehensweisen ableiten. Diese Kompetenzen werden als Fach- und Handlungskompetenz definiert.¹²⁷ Für die Ausführung eines Arbeitsauftrags benötigt der Stuckateur/-in das Wissen über den jeweiligen Entscheidungsprozess:¹²⁸

- **Wissen** (Das nötige handwerkliche und theoretische Wissen)
- **Verstehen** (Das Verständnis für die jeweiligen benötigten Teilprozesse, welche für das Durchführen eines Arbeitsauftrags benötigt werden)
- **Anwenden** (Die Kenntnisse über die handwerklichen Methoden)
- **Analysieren** (Das Analysieren des gegebenen Wirkungsbereiches, innerhalb dessen der Arbeitsauftrag ausgeführt werden soll)
- **Synthetisieren** (Das Ableiten der hervorgegangen Teilprozesse und Herangehensweisen)
- **Evaluieren**¹²⁹

Die Kompetenzen, auf die traditionelle Stuckateure/-innen zurückgreifen, basieren häufig auf Erfahrungswerten, welche innerhalb der drei Lehrjahre und der darauf folgenden Ausführungszeit der Tätigkeit des Stuckateurs/-in, gesammelt wurden.¹³⁰

Nachfolgend einer Planung sollten vor einer Arbeitsdurchführung Skizzen und technische Zeichnungen des zu fertigenden Produktes angefertigt werden, um mögliche Darstellungsvarianten des zu realisierenden Produktes zu erhalten. Durch die Visualisierung können mögliche Gedankenfehler vorab erkannt und vor der eigentlichen Fertigung ausgeschlossen werden.¹³¹ Skizzen und technische Zeichnungen können, sofern vorhanden, aus realen Beispielobjekten oder Dokumentationen [*Fotografien, Zeichnungen*] hergeleitet werden. So kann das Objekt zudem individuell als künstlerisches Unikat gefertigt werden. Skizzen dienen lediglich der Veranschaulichung des zu fertigenden Produktes, beispielsweise einem Stuckelement. Technische Zeichnungen wiederum geben einen detaillierteren Einblick in die Maßhaltigkeit und Genauigkeit des zu fertigenden Produktes, beispielsweise eines Gesimseprofils. Innerhalb technischer Zeichnungen sind unter anderem Maße, Verhältnisse und Anmerkungen des zu realisierenden Produktes definiert.¹³²

¹²⁷ Vgl. Kultusministerkonferenz: (05.10.2000), S. 9

¹²⁸ Vgl. Taxonomie Bloom: (20.03.2014)

¹²⁹ Ebd.

¹³⁰ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.11

¹³¹ Vgl. Bertsche, Bernd; Bullinger, Hans-Jörg: (2007), S.4

¹³² Vgl. Bertsche, Bernd; Bullinger, Hans-Jörg: (2007), S.124

7.2. Prozessketten traditioneller Stuckherstellung

Nachfolgend einer Arbeitsvorplanung und der darauf aufbauenden, möglichen Visualisierung durch eine technische Zeichnung, folgen beispielhafte Prozessketten traditioneller Stuckherstellung. Innerhalb dieser Prozessketten werden mögliche Herangehensweisen und Methoden für die Fertigung von Stuckelementen beispielhaft erläutert. Ziel der Prozessketten ist es, den traditionellen Herstellungsprozess zu erfassen und beispielhaft in Teilprozesse einzuteilen. So ist es unter anderem möglich, anhand dieser Teilprozesse die Komplexität der handwerklichen Herstellungsweisen zu veranschaulichen, zu verstehen und wiederzugeben, um beispielsweise innovative neue Technologien innerhalb einer Prozesskette zu inkludieren und somit den Herstellungsprozess zu optimieren.

Die folgende Abbildung, gibt die Gesamtprozesskette der traditionellen Stuckherstellung mit den jeweiligen Teilkomponenten wieder. So ist die folgende Gesamtprozesskette angelehnt an der Fachliteratur des Stuckateur-Handwerks.¹³³ Dahingehend erfolgt die traditionelle Stuckherstellung anhand des Inputs, dem Kundenauftrag [*Briefing*]. Innerhalb dieses Kundenauftrags sind Anforderungen an einen Arbeitsauftrag, wie beispielsweise Kontaktdaten und Ideen für die mögliche Realisation des zu fertigenden Produktes definiert. Sobald diese Komponente durch den Sachbearbeiter oder Zuständigen bearbeitet wurde und die zeitlichen, sowie auftragsspezifischen Daten festgelegt wurden, beginnt die Teilkomponente der Visualisierung. Innerhalb dieser wird vorab der kundenspezifische Auftrag visualisiert erfasst. Dieser Prozess dient der späteren Veranschaulichung zusammen mit dem Auftraggeber. Die Rückgespräche mit dem Kunden sollen der Auftragssicherheit dienen, damit die kundenspezifische Zielsetzung nicht verfehlt wird und es somit nicht zu Kommunikationsproblemen zwischen dem Auftraggeber und dem Auftragsausführer, kommt.

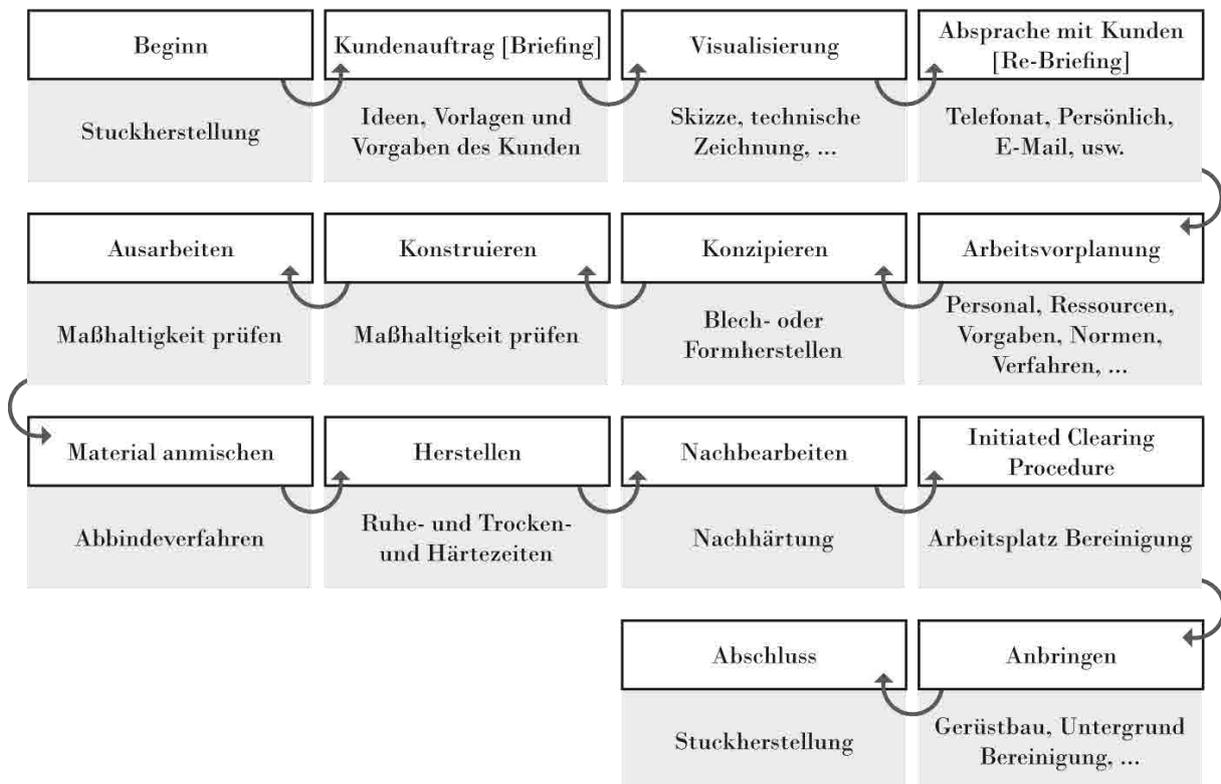


Abbildung 6 | Gesamtprozesskette traditioneller Stuckherstellung

¹³³ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985)

Nach Abschluss dieser Teilkomponenten folgt die Arbeitsvorplanung (Siehe Kapitel: 7. „Prozesskette: Arbeitsvorplanung“). Innerhalb der planerischen Herangehensweise, welche an das Projektcontrolling angelehnt ist, bildet die Arbeitsvorplanung einen wesentlichen Aspekt des traditionellen Stuckateur-Handwerks, welcher häufig unzureichend ausgearbeitet ist. Nach der planerischen Herangehensweise folgt die konzeptionelle auftragsspezifische Herangehensweise an einen Kundenauftrag. Der Prozess der Form- oder Blechherstellung, welcher das Stuckelement fertigt, wird zuvor konzipiert. Nach dessen Abschluss dieser wird das Form- oder Blechelement konstruiert und auf seine Maßhaltigkeit hin überprüft. Sofern Fehler aufzuweisen sind, werden diese korrigiert und das Form- oder Blechelement wird ausgearbeitet und wiederholt auf seine Maßhaltigkeit hin überprüft. Nach dem Abschluss dieser Teilkomponente, erfolgt die Bereitstellung des Arbeitsmaterials; dieses wird unter der Berücksichtigung des Abbindeverfahrens vorbereitet und somit für den Herstellungsprozess bereitgestellt. Es folgt der jeweilige Herstellungsprozess mit den jeweiligen Ruhe-, Trocken- und Härtezeiten. Im Anschluss an eine vollständige Härtezeit des gefertigten Stuckelementes, folgt die individuelle Nachbearbeitung, bzw. Veredelung des neu gefertigten Stuckelementes. Es folgt die „Initiated Clearing Procedure“, innerhalb der der Arbeitsplatz bereinigt und ein weiterer Kundenauftrag bearbeitet werden kann, ohne dass der vorherige Kundenauftrag den folgenden Auftrag durch übriggebliebene Werkstoffreste gefährdet. Die Gesamtprozesskette schließt mit dem Anbringen der Stuckelemente ab. Diese Teilkomponente beinhaltet unter anderem arbeitssicherheitstechnische und gerüstbautechnische Aspekte und optimierende Eigenschaften der Untergrundbeschaffenheit, welche für die Anbringung der Stuckelemente notwendig sind.

7.3. Prozesskette: Herstellen einer Blechschablone

Die Begrifflichkeit des Ziehens bezeichnet unter anderem das Formgeben von Kalk, Gips, oder Mörtel während des Abbindeverfahrens durch die Bewegung eines Schlittens mit einer befestigten Blechschablone.

„Zum Ziehen von Profilen, wird fast immer eine Blechschablone verwendet.“¹³⁴

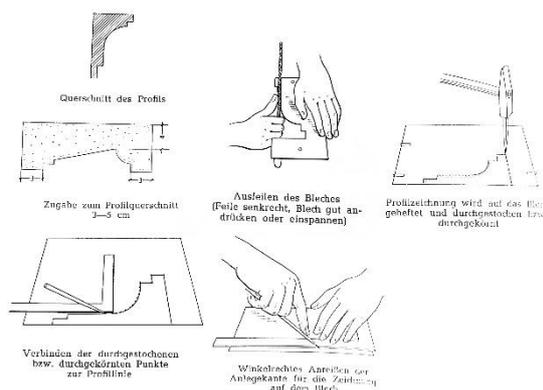


Abbildung 7 | Herstellung einer Blechschablone

Die Blechschablone wird meist aus Zinkblech hergestellt.¹³⁵ Die Verwendung von Eisenblech ist ebenfalls möglich, jedoch ist diese aufgrund seiner oxidativen Eigenschaften weniger zu empfehlen, da mit Bestandteilen von Wasser gearbeitet wird, die den oxidativen Prozess verstärken und das Eisen angreifen.¹³⁶ Die Verwendung einer Blechschablone innerhalb eines Fertigungsprozesses dient der Ressourcen- und Zeiteinsparung, da bei neuen Formelementen ausschließlich das Blechelement ausgetauscht werden muss und die Holzschlittenhalterung beibehalten werden kann.

Im Folgenden wird der Reproduktionsprozess eines Profils beschrieben.

Querschnitt übertragen 1	Blech prüfen 2	Mindestabstand Berücksichtigen 3	Zeichnung übertragen 4
Zunächst muss ein Querschnitt des Profils im Maßstab 1:1 vorhanden sein. Der Querschnitt wird auf das Blech übertragen. ¹³⁷	Daraufhin muss die Winkelgenauigkeit des Blechs überprüft werden. (Anlegen eines Winkelrechtecks). Bei Ungenauigkeiten des Blechs, muss dieses mit einer Reißnadel angeritzt, mit einer Blechschere zurechtgeschnitten werden. Die Putzkante und die geradegeschnittene Kante müssen sich decken. ¹³⁸	Nach der Bearbeitung des winkelgenauen Blechs kann der Querschnitt unter der Berücksichtigung des Mindestabstandes von drei Zentimetern an den Rändern (rechts und links) und vier Zentimeter von dem höchsten Profilmittel an aufgezeichnet werden. ¹³⁹ „Man nennt die beiden Streifen den Weg.“ ¹⁴⁰	Nach dem Übertragen der Zeichnung wird das Blech ausgeschnitten und ausgefeilt. Individuelle Herstellungsprozesse wie die der Blechschabloneherstellung sind zeitintensiv. ¹⁴¹

¹³⁵ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S. 27 f.

¹³⁶ Ebd.

¹³⁷ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S. 27 f.

¹³⁸ Ebd.

¹³⁹ Ebd.

¹⁴⁰ Rupp, Gerhard: (2012), S.27

¹⁴¹ Ebd.

7.4. Prozesskette: Herstellen einer Stückform

„Handelt es sich um Modelle, bei denen Unterscheidungen vorkommen, so wird die Stückform angewandt.“¹⁴²

Die Stückform dient dem Abformen von individuellen Stuckelementen.

Die zu abformenden Elemente sind in zwei Abformteile zu unterteilen.¹⁴³

Schellack 1	Mit Öl beschichten 2	Tonstreifen 3
Das abzuformende Stuckteil, wird zunächst mit Schellack beschichtet (harzähnliche Substanz, die aus Gummilack hergestellt wird). ¹⁴⁴	Daraufhin wird das abzuformende Stuckelement mit einer hauchdünnen Menge an Öl beschichtet [<i>Erfahrungswert</i>]. ¹⁴⁵	Das abzuformende Stuckelement, wird an einer Seite mit zurechtgeschnittenen eingölten Tonstreifen eingeformt. Die Tonstreifen bestimmen die Wandstärke. ¹⁴⁶
Mit der Kelle auftragen 4	Teilform abheben 5	Begießen 6
Folgend wird das Stuckelement mit Gipsbrei (besitzt fließende Eigenschaften) aufgetragen und mit Hilfe eines Pinsels gleichmäßig verteilt. Der Pinsel verhindert hierbei die Bläschenbildung. Härteprozess. ¹⁴⁷	Nach dem Erhärten der Teilform wird das Teilstück abgenommen. Dieser Vorgang wird mit der anderen Seite des Stuckelementes ebenfalls wiederholt. ¹⁴⁸	Nach dem Vervollständigen der beiden Teilstücke werden diese zusammengesetzt und aufgegossen. ¹⁴⁹
Teilform abheben 7		
Nach dem Aushärten kann die Stückform abgenommen werden. ¹⁵⁰		

¹⁴² Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.10 f.

¹⁴³ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.107 f.

¹⁴⁴ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.107 - 110

¹⁴⁵ Ebd.

¹⁴⁶ Ebd.

¹⁴⁷ Ebd.

¹⁴⁸ Ebd.

¹⁴⁹ Ebd.

¹⁵⁰ Ebd.

7.5. Prozesskette: Herstellen eines Gesimseprofils

Im Folgenden wird der Herstellungsprozess von Gesimseprofilen in Teilprozesse unterteilt.

Gips anmachen	1	Untergrund Bearbeitung	2	Einteilen und vermischen	3
Zunächst ist der Gips langsam mit Wasser zu vermischen [saufen lassen]. Dieser Prozess benötigt eine zwei bis vier Minuten. Wichtig: Es dürfen keine Luftblasen aufsteigen. ¹⁵¹		Als Nächstes wird der Untergrund der Arbeitsplatte mit Wachs beschichtet. Die Beschichtung dient der vereinfachten Entfernung. ¹⁵²		Den zuvor vorgemischten Gips in zwei Teile aufteilen und klumpenfrei vermischen. ¹⁵³	
Stuckstrang aufbauen	4	Ziehen	5	Abbinden	6
Von der Gipsmasse einen Stuckstrang auf der Arbeitsplatte aufbauen. „Verschlauchen“ ¹⁵⁴		Mit Hilfe eines „Schlittens“ wird wiederholt über den ausgelegten Gips gefahren, bis der Gips an Viskosität zunimmt und verarbeitbar wird. ¹⁵⁵		Es folgt das „Anschärfen“. Durch das schnelle Ziehen des Gips wird der Masse Kontur gegeben, bis die exakte Form sich herausgebildet hat. ¹⁵⁶	
Nachhärtung	7	Transport	8	Reinigung	9
Trocknung [Dehydration] nimmt einige Tage Zeit in Anspruch. ¹⁵⁷		Die ausgehärteten Stränge maßgerecht und nach Vorgabe aufteilen. ¹⁵⁸		Reinigung des Schlittens. ¹⁵⁹	

¹⁵¹ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S. 71 f.

¹⁵² Ebd.

¹⁵³ Ebd.

¹⁵⁴ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.35 f.

¹⁵⁵ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S. 51 f.

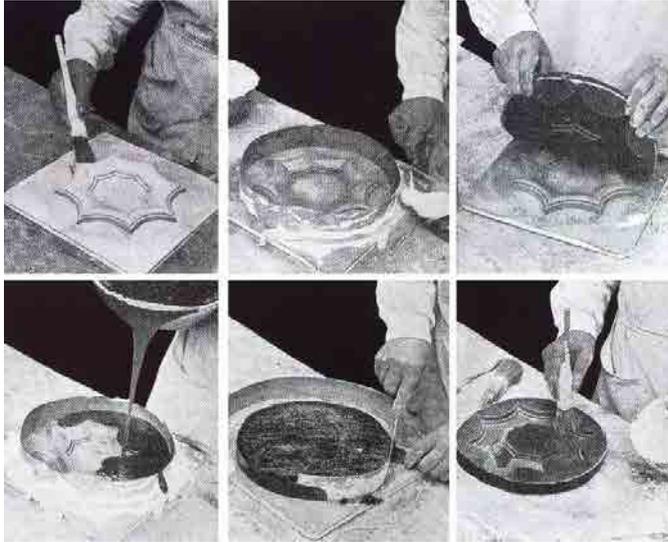
¹⁵⁶ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.19 f.

¹⁵⁷ Vgl.: Stuckateur br: (02.01.2014)

¹⁵⁸ Vgl.: Stuckateur br: (02.01.2014)

¹⁵⁹ Ebd.

7.6. Prozesskette: Herstellen einer Stuckform



Individuelle Stuckformen werden unter anderem in Silikonkautschukformen hergestellt. Der zuvor angemachte Gips wird nach einer Stehzeit von ca. zwei bis vier Minuten¹⁶⁰ in die Silikonkautschukform (Rosettenform) eingefüllt.

„Zur Verstärkung wird ein kreisrundes Gitternetz eingelegt und wiederum mit flüssigem Gips bedeckt.“¹⁶¹ Nach zwei Stunden lässt sich die gegossene Rosettenform aus der Silikonkautschukform entnehmen. Nach leichtem Anrauen der Rückseite wird die Haftfähigkeit des Gipselementes verbessert.

Abbildung 8 | Formherstellung

Im Folgenden wird der Herstellungsprozess einer Spiegel- und Leimform erläutert, mit dessen Hilfe das Abgießen von Stuckelementen durchgeführt werden kann.

Positivform	1	Dichtheit des Rahmens	2	Einölen und aufgießen	3
Zunächst wird das Originalobjekt vollständig mit einer dünnen Schicht Schellack bestrichen. Die Schichtdicke leitet sich aus der Oberflächenbeschaffenheit ab. Nach dem Trocknen des ersten Anstrichs erfolgt ein erneuter Anstrich. ¹⁶²		Der Vorteil des Schellacks ist die gegebene Trenneigenschaft, welche das Original schützt. Es folgt der Trocknungsprozess. Nach Abschluss dessen wird das zu fertigende Rosettenmodell mit einem Ton- oder Blechrahmen umschlossen und mit Jutestreifen und Gipsmörtels abgedichtet. ¹⁶³		Das Rosettenmodell wird als nächstes hauchdünn eingeölt und mit flüssigem Leim (Zimmertemperatur) aufgegossen. ¹⁶⁴	
Lösen und Ausschalen	4	Öl entfernen	5		
Nach ca. 10 – 12 Stunden Aushärtezeit wird die Ummantelung entfernt und die Leimform ausgeschalt. Die geleeartige Leimform, wird abgehoben. ¹⁶⁵		Die Leimform wird vom anhaftenden Öl mit Hilfe von Talkum befreit. Die Rosettenform ist zum Positivabgießen bereit. ¹⁶⁶			

¹⁶⁰ Binder, Schaumann, Haas Läßple: (1985), S. 97 ff.

¹⁶¹ Stuckformen: (04.01.2014)

¹⁶² Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßple: Stukkateur Handbuch, 1985, Verlag Th. Schäfer Hannover, S. 97 f.

¹⁶³ Ebd.

¹⁶⁴ Ebd.

¹⁶⁵ Ebd.

¹⁶⁶ Ebd.

7.7. Prozesskette: Anbringung von Stuckelementen

Die Prozesskette der Anbringung von Stuckelementen enthält individuelle Komplexitäten, durch die vor Ort gegebene Beschaffenheit der Räumlichkeiten und Außenfassaden. So kommen zudem verschiedene Baumodule und Knotentechniken hinzu, welche je nach Situation und Gegebenheit beim Gerüstaufbau, berücksichtigt werden müssen. Die folgende Prozesskette verdeutlicht gibt einen Ausschnitt dieser Komplexität wieder.

Einrichten der Baustelle 1	Anreißen 2	Zuschnitt 3
<p>Zunächst muss die Beschaffenheit des Arbeitsplatzes den arbeitstechnischen und sicherheitstechnischen Aspekten genügen. Daraufhin folgt der fach-, arbeits- und sicherheitsgerechte Gerüstaufbau (Arbeitsbühnen).</p> <p>Es folgen Vorbereitungen am Untergrund beispielsweise der Bereinigung – Entfernen von Tapetenresten. Abschließend werden die Wände auf Unebenheiten abgemessen, diese ggf. behoben.¹⁶⁷</p>	<p>Nach dem Einrichten der Baustelle erfolgt das Übertragen der Stuckproportionen auf die Wände.¹⁶⁸</p>	<p>Daraufhin erfolgt der Zuschnitt des Stuckgesimses. Der Zuschnitt erfolgt innerhalb einer Gehrungslade. Als nächstes werden die Untergründe der Stuckelemente angeraut.¹⁶⁹</p>
Ansetzen 4	Spachteln 5	Weiterverarbeiten 6
<p>Es folgt die Positionierung [<i>Feinjustierung</i>] der Stuckelemente und das Kleben dieser. Bei einer Notwendigkeit können Schlnägeln zur Befestigung verwendet werden.¹⁷⁰</p>	<p>Als Nächstes wird der überschüssige Kleber und die Schlnägeln, welche zur Befestigung verwendet wurden entfernt. Abschließend werden Unebenheiten auf den Profilen verspachtelt.¹⁷¹</p>	<p>Die Verspachtelten Stellen werden feingeschliffen und Isoliergrund für eine farbliche Anpassung aufgetragen.¹⁷²</p>

¹⁶⁷ Werner, Ulrich: (2004), S. 25ff.

¹⁶⁸ Ebd.

¹⁶⁹ Ebd.

¹⁷⁰ Ebd.

¹⁷¹ Ebd.

¹⁷² Ebd.

8. Optimieren des Arbeitsprozesses

Auf einen effektiven Stuckateurbetrieb, kommen Anforderungen im Sinne eines Projektmanagements und -controllings zu. Bei der Herstellung von Stuckerzeugnissen, spielen die Herstellungszeit [*Zeit*], die Material- und Herstellungskosten [*Kosten*] und die Qualität des Projektergebnisses [*Qualität*], welches bei der Durchführung des Kundenauftrags sicherzustellen gilt, eine wichtige Rolle. Innerhalb dieser Teilkomponenten gilt es, eine kostengünstige Produktionsweise anzusteuern, welche den Teilkomponenten gerecht wird. Die zuvor vorgestellten Teilkomponenten der Stuckherstellung, geben einen Einblick in die jeweiligen Herstellungs-komponenten der traditionellen Stuckherstellung.

Das Projektcontrolling beinhaltet unter anderem folgende Punkte: Die Terminplanung, die zeitliche Planung des jeweiligen Arbeitsauftrags, die Ressourcenplanung (Planung der benötigten Materialien und Werkzeuge), und die Kosten- und Erlösplanung (entstehende Kosten werden vorausgeplant). Der laufende Ausführungsprozess kann durch eine operative Projektkontrolle, welche sich aus einer Leistungskontrolle, Terminkontrolle und Kostenkontrolle zusammensetzt, gesteuert werden.¹⁷³ Vor einer Projektplanung müssen die jeweiligen Projektziele klar und schriftlich definiert werden. Durch die Definition kann Problemen vorgebeugt werden, sofern zuvor keine messbaren Ziele definiert wurden. Aus den Zielen leiten sich die Projektaufgaben ab. Innerhalb eines Projektmanagements wird die Koordination des benötigten Personals [*Arbeitskräfte*] und die entsprechende Bereitschaft dieser, festgelegt.¹⁷⁴ Des Weiteren muss innerhalb eines Projektes Klarheit über die Kosten bestehen. Für die Planung und Optimierung eines Projektes, sollten die Verantwortlichen [*Zuständigen*] einen Überblick über das jeweilige Projekt haben.¹⁷⁵

Die DIN 69901 definiert das Projektmanagement. Innerhalb der DIN 69901 werden die Aufgaben des Projektes, die Planung, Kontrolle und Steuerung, die Personalführung und die Organisation mit der Wahl eines geeigneten Organisationsmodells definiert und erläutert. Die Normierung beschreibt das Controlling wie folgt: „*Sicherung des Erreichens der Projektziele durch: Soll-Ist-Vergleich, Feststellung der Abweichungen, Bewerten der Konsequenzen und Vorschlagen von Korrekturmaßnahmen, Mitwirkung bei der Maßnahmenplanung, Kontrolle der Durchführung.*“¹⁷⁶ Das Projektcontrolling nimmt unter anderem Aufgaben wahr, wie die Erarbeitung von Regelungen für die Zielplanung.¹⁷⁷ Hierzu gehört, dass kein Projekt ohne eindeutige Zielvereinbarungen, begonnen wird. Dabei muss das Projektcontrolling die Ziele einzelner Projekte prüfen. Innerhalb der Prüfung, sollte kontrolliert werden, ob alle Ziele erfasst, fixiert und machbar sind und ob diese von den Beteiligten zur Kenntnis genommen und akzeptiert werden.¹⁷⁸ Diskrepanzen mit Zielkonflikten sind durch die Verantwortlichen zu überprüfen, welche die Teilziele eines Projektes koordinieren und priorisieren [Meilensteine]. Ein Projekt kann wie folgt aufgebaut werden: „*Konzeption, Planung, Realisierung und Abschluss.*“¹⁷⁹ Die Konzeption beinhaltet die Zielsetzung des Projektes, worin die Prüfung möglicher Alternativen und die Kontrolle der Ressourcenverfügbarkeit inkludiert sind. Ein wesentlicher Faktor für ein erfolgreiches Projekt ist eine kontinuierliche Überwachung und Steuerung des Ressourceneinsatzes, der Kosten, Leistung und Qualität.

¹⁷³ Vgl. Ebd.

¹⁷⁴ Vgl. Fiedler, Rudolf: (2014),S.85

¹⁷⁵ Ebd.

¹⁷⁶ Fiedler, Rudolf: (2014),S.11

¹⁷⁷ Vgl. Ebd.

¹⁷⁸ Vgl. Fiedler, Rudolf: (2014),S.83

¹⁷⁹ Fiedler, Rudolf: (2014), S.85

Die abschließende Reflektion und die Evaluation eines Projektverlaufs helfen, einen Erkenntnisgewinn aus den nachfolgenden Projekten zu erhalten.¹⁸⁰ Für die Planung eines Projektes sind wesentliche Bedingungen festgelegt, welche in Form von W-Fragen aufgelistet werden:

- Warum?** Warum wird das Projekt durchgeführt? [*Zielsetzung*]
- Was?** Was muss gemacht werden? [*Meilensteine*]
- Wie?** Wie soll vorgegangen werden?
- Welche?** Welche Mittel und Ressourcen werden eingesetzt?
- Wo?** Wo wird am Projekt gearbeitet? [*Standorte*]
- Wer?** Wer ist an der Durchführung und Finanzierung beteiligt?
- Wann?** Wann wird mit dem Projekt begonnen und abgeschlossen?
- Wie viel?** Wie viel wird das Projekt kosten [*Budgetierung*]?
- Wie gut?** Welche Qualitätsziele müssen erreicht werden?¹⁸¹

Die zuvor genannten W-Fragen sind vor der Planung und Durchführung eines Projektes durchzugehen, um mögliche Missverständnisse in Bezug auf eine Projektplanung zu vermeiden.

¹⁸⁰ Vgl. Fiedler, Rudolf: (2014), S.83 f.

¹⁸¹ Vgl.: Bergmann, Rainer; Garrecht, Martin: (2007), S.102

9. Projektmanagement via Gantt-Diagramm

Eine der möglichen Projektmanagement-Methoden stellt das Gantt-Diagramm dar. Dieses gibt eine Möglichkeit der Sicherung von Projektzielen, durch das Visualisieren der Meilensteine innerhalb einer zeitlichen und sequenziellen Darstellungsweise eines Projektes.¹⁸² Durch diese Methode können zeitliche Abweichungen schnell erkannt werden und eine kontinuierliche Überwachung und Steuerung des Ressourceneinsatzes, der Humanressourcen und Leistungen gesichert werden.¹⁸³ Unter der Berücksichtigung des Herstellungsprozesses von Stuckarbeiten und seiner Sequenzierung, ist es möglich, durch die Inkludierung einer Projektmanagement-Methode den Herstellungsprozess zu sichern und diesen unter der Berücksichtigung des Preis- Leistungsverhältnisses zu optimieren.¹⁸⁴ So können durch die Verwendung von Projektmanagement-Methoden kürzere Durchlaufzeiten, niedrige Lagerbestände und höhere Auslastungen der Kapazitäten erreicht werden. Des Weiteren können Termintreue gewährleistet und kundengerechte Problemlösungen gefunden werden.¹⁸⁵

Durch das zeitlich abhängige Setzen der Meilensteine [*Teilkomponenten*] werden diese mit einer zeitlichen Prognose versehen, welche in einen Netzplan implementiert wird. So können verschiedene Methoden in der Termin- und Ablaufplanung verwendet werden, die auf einem Balkendiagramm [*Gantt-Diagramm*]/basieren.¹⁸⁶ In der folgenden Abbildung ist der atypische Aufbau eines Gantt-Diagramms zu sehen. Mit einem Gantt-Diagramm können Methoden einer Meilensteinplanung, Terminplanung und einer Netzplantechnik in einer detaillierten visuellen Darstellung der logischen und zeitlichen Ablaufstruktur eines Vorgangs, dargestellt werden.¹⁸⁷

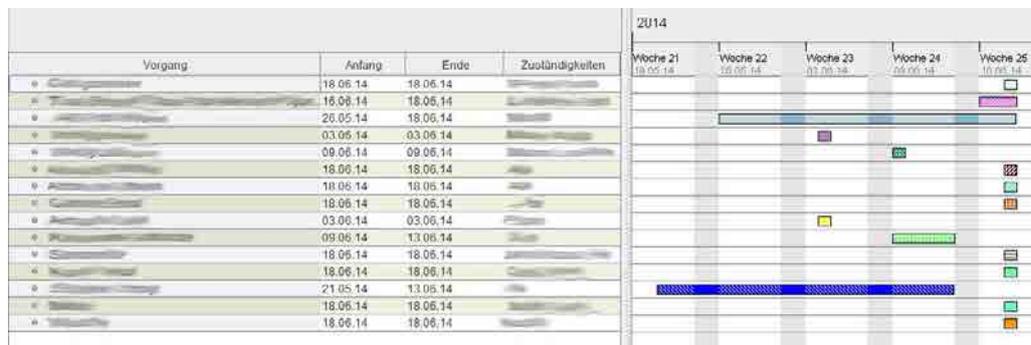


Abbildung 9 | Gantt-Diagramm

So umfasst die Netzplantechnik nach der DIN 69900 die Gesamtheit der Verfahren zur Analyse, Planung, Steuerung, Beschreibung und Überwachung von Abläufen auf Grundlage der Graphentheorie. So können unter anderem Parameter, wie Einsatzmittel [*Mitarbeiter und Geräte*], Zeit und Kosten in der Planung bemessen [*operationalisiert*] werden.¹⁸⁸

„Aus dem Netzplan lässt sich also der Zeitplan und durch Belegung der Arbeitspakete mit Ressourcen der Ressourcenplan [Kapazitätsplan] ableiten. Die kleinste Ebene im Projektstrukturplan ist die Ebene der Vorgänge. Auf dieser Ebene wird der Netzplan erstellt.“¹⁸⁹

¹⁸² Vgl. Fiedler, Rudolf: (2014), S.86 f.

¹⁸³ Ebd.

¹⁸⁴ Vgl. Fiedler, Rudolf: (2014), S.85

¹⁸⁵ Vgl. Fiedler, Rudolf: (2014), S.93

¹⁸⁶ Ebd.

¹⁸⁷ Ebd.

¹⁸⁸ Ebd.

¹⁸⁹ Ebd.

10. Projektcontrolling

Das Hauptziel eines optimierten Arbeitsprozesses im Sinne eines Projektcontrollings, kann den Herstellungsprozess von Stuckarbeiten, unter Berücksichtigung des Preis- Leistungsverhältnisses, sichern.¹⁹⁰ Die individuellen Verordnungen und Normierungen, welche den Stuckateur/-in begleiten, sind unter anderem Richtlinien, Begriffe, Prüfverfahren und Hinweise zur Bestimmung von prozessrelevanten Werten. Das Fachwissen eines Stuckateurs/-in basiert traditionell auf Erfahrungswerten, welche innerhalb des praxisnahen Tätigkeitsfeldes in der Durchführung von Arbeitsaufträgen, gesammelt werden.¹⁹¹ Das Fachwissen, bzw. die Fachkompetenz wird von den Meistern und den Gesellen an die Auszubildenden weitergegeben.¹⁹²

Die strukturierte, planerische Herangehensweise an einen Arbeitsauftrag basiert auf den Erfahrungswerten und der Arbeitsweise des Stuckateurbetriebs selbst. Innerhalb der 3-jährigen Berufsausbildung nach dem Berufsbildungsgesetz [BBiG] werden dem Stuckateur/in individuelle Fachkompetenzen abverlangt. „Um ein guter Stuckateur zu sein, reicht es nicht aus ein guter Handwerker zu sein. Er muss auch gute künstlerische Fähigkeiten besitzen.“¹⁹³ In dem Rahmenlehrplan der Stuckateur/in finden sich Lernfelder, welche ein projektorientiertes, planerisches und steuerndes Arbeiten vermissen lassen. So findet sich der planerisch-koordinatorische Faktor lediglich im Lernfeld 1 „Einrichten einer Baustelle“, welches einen zwanzigstündigen Anteil von insgesamt 880 Unterrichtsstunden ausmacht.¹⁹⁴ So verdeutlicht sich ein Mangel an fehlenden Projektmanagement-Methoden für das Arbeiten innerhalb eines Tätigkeitsfeldes des/der Stuckateurs/-in.

Das Werkzeug eines/einer Stuckateur/-in spielt vom Ausbildungsbeginn an, eine bedeutsame Rolle, da durch dieses die Qualität in der Handhabung und dem Herantasten an die ersten zu realisierenden Stuckelemente bestimmt wird. Durch die Handhabung lernt der Lehrling das Werkzeug in seinen vielen Handhabungsmöglichkeiten kennen und die mit ihr verbundene Wertschätzung, welche mit dem Streben nach Instandhaltung verbunden ist.¹⁹⁵ So könnten die für einen Arbeitsauftrag benötigten Werkzeuge prozessorientiert innerhalb eines Projektmanagement als Ressourceneinsatz aufgelistet werden. Die jeweilige Prozesskette, beispielsweise der Arbeitsvorplanung, kann innerhalb einer ausgewählten Projektplanungsmethode, welche innerhalb dieser Arbeit aufgelistet wurden, inkludiert werden. So kann durch das Inkludieren einer Arbeitsvorplanung in das Projektcontrolling die Herstellungszeit [Zeit], die benötigten Material- und Herstellungskosten [Kosten], welche festgelegt werden müssen, koordiniert werden. Die Sicherstellung des Projektergebnisses [Qualität], findet während und nach der Arbeitsdurchführung, unter der fachmännischen Abnahme des zuständigen Meisters, bzw. Bauleiters statt.¹⁹⁶

¹⁹⁰ Vgl. Fiedler, Rudolf: (2014), S.85

¹⁹¹ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.11

¹⁹² Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.6 ff.

¹⁹³ Ein Beruf für Handwerker und Künstler: (03.01.2014)

¹⁹⁴ Vgl. Tabelle 1: Ausbildungsberuf Stuckateur/-in

¹⁹⁵ Vgl. Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), S.11

¹⁹⁶ Vgl. Bergmann, Garrecht: (2008), S.228

11. Three Dimensional Printing

Im Folgenden wird das additive Fertigungsverfahren des „Three Dimensional Printing“ [3DP], welches auch „additive manufacturing“ [AM] genannt wird, erläutert. Die untenstehende Abbildung soll als visuell unterstützendes Medium dienen. Das additive Fertigungsverfahren basiert auf dem Prinzip eines Pulver-Bindevorgangs. Hierbei wird durch das Injizieren eines flüssigen Bindemittels [Druckmittel] das zuvor aufgebaute Pulverbett selektiv verhärtet.¹⁹⁷ Durch den gezielten Einsatz des „Three Dimensional Printing“ [3DP] auf Basis von Gipspulver, lassen sich Modelle vergleichbar zu anderen additiven Fertigungsverfahren sind, preiswerter und in einer höheren Generierungszeit, fertigen.¹⁹⁸ Im Folgenden wird die Prozesskette der Fertigung eines „Three Dimensional Printing“-Verfahrens anhand einer Grafik erläutert.

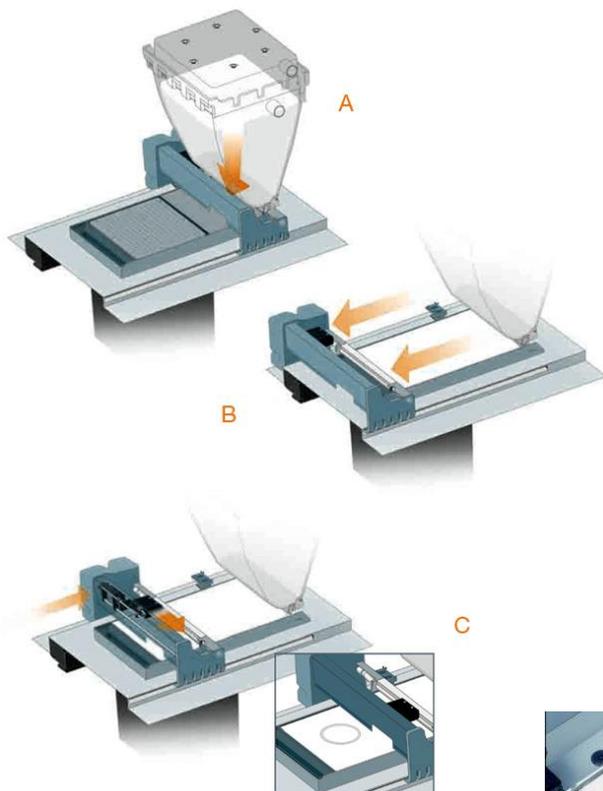


Abbildung 10 | 3D-Druckzyklus [ZCorporation]

A Durch die Betätigung des Startvorgangs durch den Benutzer [User] wird innerhalb des Ausgabegerätes [Output] der Aufwärmprozess aktiviert. Die Baukammer wird mit Baumaterial gefüllt und die entsprechenden Druckköpfe werden fertigungskonform justiert.

B Das 3DP-Gerät beginnt den Fertigungsprozess, indem die erste Pulverschicht schichtweise aufgebaut wird.

C Das Druckmittel [Bindemittel] wird mittels Schienensystem über die aufgebaute Pulverschicht positioniert und aufgetragen. Hierbei werden die Schritte A und B wiederholt, bis der Fertigungsprozess schichtweise abgeschlossen ist.



Abbildung 11 | 3DP Gips

Nach Abschluss des Fertigungsprozesses wird die Baukammer durch ein Hubsystem angehoben und das überschüssige Pulverbett wird beseitigt (siehe Abbildung 10). Es folgen Nachbearbeitungsverfahren. Das hier vorgestellte Prinzip ähnelt einem Inkjet-Verfahren. Das 3DP-Verfahren weist mehrere Druckköpfe auf, wobei einer ein Bindemittel aufträgt, das für ein Abbindeverfahren [Bindepvorgang] des Hochleistungsverbundwerkstoffs, sorgt. Das Bindemittel verfestigt die Pulverschicht partiell. Die Partien der Pulverschicht, welche nicht injiziert, wurden bleiben trocken und können wiederverwendet werden [Recycling].¹⁹⁹

¹⁹⁷ Vgl. Gebhardt, Andreas: (2013), S.11

¹⁹⁸ Vgl. Fastermann, Petra: (2013), S. 117 f.

¹⁹⁹ Vgl. Fastermann, Petra: (2013), S. 150



Abbildung 12 | Architekturmodell in der Context



Abbildung 13 | Marmororiginal eines Knabenporträts, sowie 3D-Druck © Foto: Rainer K. Wick



Abbildung 15 | Grabungsfunde

Abbildung 14 | Computerbild des 3D-Modells eines Knabenporträts, das durch die 3D-Brille plastisch erscheint © Foto: Rainer K. Wick



Abbildung 16 | Science in three dimensions



Abbildung 17 | Science in three dimensions 02

Die hier dargestellten Abbildungen dienen als beispielhafte Produkterzeugnisse, welche mit dem additiven Fertigungsverfahren des „Three Dimensional Printing“ [3DP] ausgegeben werden.

12. Betriebliche Anforderungen

Additive Fertigungsverfahren werden aufgrund der fortlaufenden Entwicklung und steigenden Anwendung in der Fertigung und der Prototypenentwicklung, stetig interessanter. Ein wesentlicher Vorteil der Technologien ist, dass sie keiner zusätzlichen Werkzeuge in der Prozesskette bedürfen. Insofern sind Montage- und Maschineneinstellungen nicht erforderlich.²⁰⁰ Dahingehend können Bauteile mit komplexen geometrischen Formen und hohen Details generiert werden.²⁰¹ Aufgrund der Rapid-Technologien und ihrer betrieblichen Anwendung, ergeben sich Vorteile einer frühen Ergebnisrückmeldung der zu realisierenden Produkte. Somit können Fehlerquellen und Schwachstellen der Produkte bereits vor der Serienfertigung aufgespürt und behoben werden.²⁰² Dadurch kann die Qualitätssicherung anhand der frühen Ergebnisrückmeldung der realisierten Produkte mit den Rapid-Technologien gewährleistet werden, da sie einer ständigen Verbesserung des Qualitätsmanagementsystems unterliegt. Des Weiteren ist die betriebliche Qualitätssicherung aufgrund rechtlicher Rahmenbedingungen, im Sinne des Produkthaftungsgesetzes [*ProdHaftG*]²⁰³ geregelt. Somit bestehen betriebswirtschaftliche Notwendigkeiten im Sinne einer Qualitätssicherung, welche durch Qualitätsmanagementsysteme [*EN ISO 9000 Familie*] normiert sind.²⁰⁴ Die Anforderung an ein Qualitätsmanagementsystem wird durch die Notwendigkeit dargelegt, dass ein Unternehmen in der Lage ist, Produkte bereitzustellen, welche die Anforderungen kontrollierender Instanzen erfüllen und die Kundenzufriedenheit erhöhen.²⁰⁵

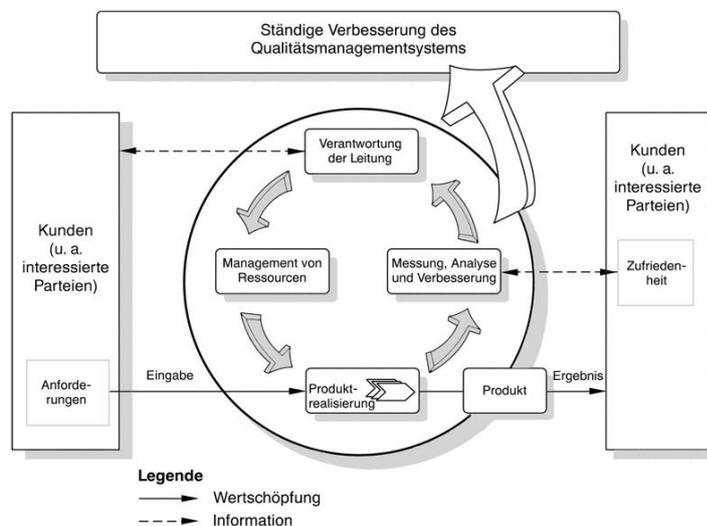


Abbildung 18 | Darstellung eines prozessorientierten Qualität Management Systems

Die bestehende Darstellung zeigt, dass die Kunden bzw. die interessierten Parteien Anforderungen [*Eingabe*] an die Produktrealisation haben. Nachdem das Produkt realisiert [*Ergebnis*] wurde, besteht die Erwartung, dass die Kunden, bzw. interessierten Parteien, zufrieden sind. Um die Zufriedenheit zu operationalisieren, erfolgen Analysen der Kundenzufriedenheit. Diese dienen der Verbesserung des Produktionsprozesses und stehen in einem ständigen Kreislauf der Produktoptimierung und Anpassung der Serienfertigung an die Anforderungen der Auftraggeber.²⁰⁶

²⁰⁰ Vgl. Fastermann, Petra: (2013), S.5

²⁰¹ Vgl. Thum, Martin: (2011), S. 35

²⁰² Ebd.

²⁰³ Vgl. Buzer: (01.03.2014)

²⁰⁴ EN ISO 9000, S.1

²⁰⁵ EN ISO 9000, S.7 ff.

²⁰⁶ EN ISO 9000, S.14

Durch die Auswertung der operationalisierten Daten, entscheidet die Leitung, ob die Notwendigkeit einer Umstrukturierung der Ressourcen und einer Veränderung des Managements besteht. Insofern steht das Qualitätsmanagementsystem der Serienfertigung in einem ständigen Kreislauf von Anpassung und Verbesserung. Durch die Inkludierung von Rapid-Technologien, können sich die Zielgrößen Zeit, Ökonomie und Qualität bei der Realisierung neuer Produkte vorteilhaft auswirken. Durch die Nutzung von Rapid-Technologien ergeben sich Anpassungsmöglichkeiten an die unterschiedlichen Marktbedingungen und die individuellen Bedürfnisse des Kunden [*Customizing*], mit der Gewährleistung einer abgestimmten Serienfertigungsqualität. Die Anpassungsmöglichkeiten werden durch schnelle Realisationsgeschwindigkeit von Einzelteilen, Endprodukten oder Kleinserien, welche eine kürzere Entwicklungsphase haben, erreicht.²⁰⁷

Aufgrund der additiven Fertigungsverfahren können Ressourcen eingespart werden, da Gegenstände schichtweise generiert werden und kein weiteres Material abgetragen werden muss. Somit werden keine weiteren Abfallrestwerkstoffe, wie im subtraktiven Verfahren, erzeugt.²⁰⁸ Lagerkosten können aufgrund von bedarfsdeckenden Serienfertigungen [*On-Demand*] eingespart werden. Um den infolge des demografischen Wandels zunehmenden Bedarf an Fachkräften, die im Umgang mit Rapid-Technologien ausgebildet sind, zu decken, können den Schülerinnen und Schülern des Berufsfeldes Bautechnik Projekteinheiten vermittelt werden Innerhalb dieser können sie ihre Kenntnisse in der Rapid Manufacturing erweitern und lernen, die Einsatzmöglichkeiten der Rapid-Technologie zu vernetzen, auszuführen und weiterzuentwickeln, um kunden- und anforderungsbezogen ein Endprodukt zu realisieren. Durch die Förderung von beruflicher Handlungskompetenz: *"Die Fähigkeit und Bereitschaft des Menschen, in beruflichen Situationen sach- und fachgerecht, persönlich durchdacht und in gesellschaftlicher Verantwortung zu handeln"*²⁰⁹ und durch die gezielte Förderung von Fachkompetenzen: *"Die Fähigkeit und Bereitschaft, Aufgabstellungen selbstständig, fachlich richtig und methodengeleitet zu bearbeiten und das Ergebnis zu beurteilen"*²¹⁰, werden Attribute beschrieben, die für eine verantwortungsbewusste und reflektierte Aufgabenbewältigung nötig sind, um ein autonomes Handeln innerhalb einer betrieblichen Struktur zu gewährleisten. *„Wir investieren in Menschen und Maschinen, denn Technik ohne menschliches Know-how ist sinnlos“*.²¹¹

Neben den fach- und beruflichen Handlungskompetenzen, bestehen betriebliche Anforderungen darin, Facharbeiter zu erhalten, welche vorrangig ein gutes, dreidimensionales Vorstellungsvermögen besitzen.²¹² Diese Notwendigkeit besteht, um ein Produkt in seinen verschiedenen Dimensionen vorab visuell zu erfassen, sodass aus dem Entwurf ein Volumenmodell im virtuellen Raum [*3D-CAD-Modell*] erstellt werden kann.²¹³ Darüber hinaus sind Kenntnisse im Umgang mit 3D-CAD Software, 3D-Ausgabe-Daten und ihrer Datenschnittstelle [*STL*] für die Serienfertigung notwendig.²¹⁴ Die folgende Abbildung stellt einen möglichen Prozess dar, welcher durch den Facharbeiter der Rapid-Technologien durchlaufen werden kann. Der Prozess verläuft von einem 3D-CAD-Datenmodell hin zu der Herstellung eines physikalischen Prototyps. An den Facharbeiter bestehen außerdem Anforderungen im Sinne der Modellerstellung und der 3D-Modell-Datenhandhabung. Der Facharbeiter muss die Modell-Daten entsprechend der Anforderungen schnittstellenspezifisch konvertieren und an die Produktions- bzw. Prototypenfertigung übermitteln. Anhand von Prototypen können Testverfahren durchgeführt werden, innerhalb derer die Form, Passung und Funktion eines Modells überprüft werden kann.

²⁰⁷ Vgl. Thum, Martin: (2011), S. 36

²⁰⁸ Vgl. Fastermann, Petra: (2013), S.83

²⁰⁹ Bader, Reinhard: (2004), S.21

²¹⁰ Ebd.

²¹¹ Hämmerle, Hannes: (2014)

²¹² Vgl. Izu1prototypen: (02.02.2014)

²¹³ Vgl. Fastermann, Petra: (2014), S.46

²¹⁴ Vgl. Fastermann, Petra: (2014), S.45

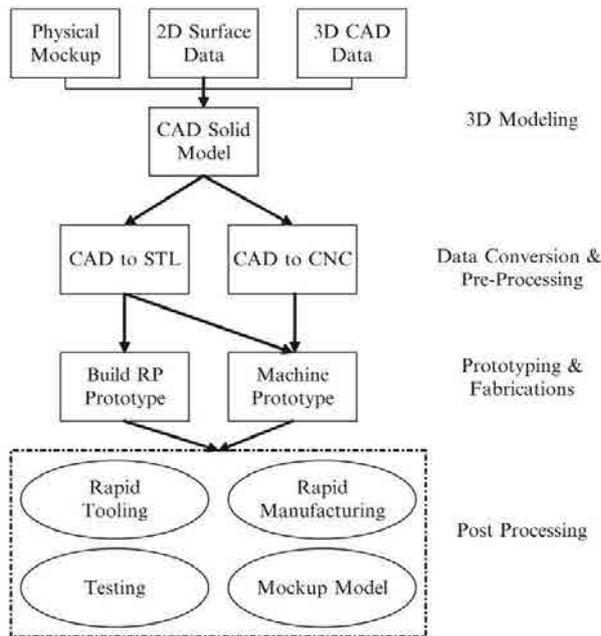


Abbildung 19 | Rapid Prototyping zu Manufacturing im Prozess, Rapid Prototyping

Im Bereich des Rapid Tooling können beispielsweise Werkzeuge für die visuelle Inspektion und ergonomische Auswertung analysiert werden. Ein weiteres Einsatzgebiet der Fertigung sind Mock-up-Modelle [ein maßstabgetreues funktionsloses Modell, des zu fertigenden Produkts]²¹⁵, welche der vorherigen Veranschaulichung des Modells dienen. Weitere Einsatzmöglichkeiten bestehen im Bereich des Rapid Manufacturing. Ausgehend vom Rapid Manufacturing kann in die Serienfertigung übergegangen werden, um Produkte anforderungsspezifisch herzustellen. Somit kann ein neues Produkt im Sinne der NPD [new product development] auf den Markt gebracht werden.

Damit ein Produkt in die Serienfertigung gelangen kann, sind Teilprozesse erforderlich, welche zunächst primär zu durchlaufen sind. So kommen auf den Facharbeiter Anforderungen im Sinne einer lösungsorientierten, analytischen und konzeptionellen Vorgehensweise zu, welche für die Serienfertigung benötigt wird. Grundvoraussetzungen sind das Wissen über das jeweilige Fertigungsverfahren und seine Funktion in der Prozesskette additiver Fertigungsverfahren. Eine Möglichkeit der Produktentwicklung teilt sich in fünf Abschnitte [Teilprozesse] auf:²¹⁶

1. Kundenauftrag
2. Ideen / Vorlagen
3. Planen
4. Konzipieren
5. Konstruieren
6. Ausarbeiten
7. Herstellen / Fertigen

²¹⁵ Vgl. Newman, Larry: (2003), S.187

²¹⁶ Vgl. Bertsche, Bernd; Bullinger, Hans-Jörg: (2007), S.23

Nach Abschließen jeder Phrasierung folgt ein Bewertungs- und Auswahlprozess.²¹⁷ Innerhalb dieser Prozesse können Fehler entdeckt und behoben werden: *„Je später der Fehler gefunden wird, desto zeit- und kostenaufwändiger sind die anfallenden Korrekturmaßnahmen.“*²¹⁸ Innerhalb der Prozesskette der Fertigung, können alle Rapid-Technologien verortet werden. Hierzu bedarf es dem fachlichen Wissen und der Kompetenz in der gezielten Bedienung und Anwendung der jeweiligen Technologien. Das Rapid Prototyping wird nach dem Zweck der Modellerstellung - Konzeptmodell, Geometriemodell oder Funktionsmodell - eingesetzt.²¹⁹ Das Wissen über die unterschiedlichen Modelle wird bei dem ausgebildeten Facharbeiter vorausgesetzt: Ein Konzeptmodell weist keinerlei mechanische sowie funktionelle Eigenschaften auf. Die Relevanz besteht in der Bewertung der Beschaffenheit des Endproduktes und dient der Veranschaulichung der Designvarianten.²²⁰ Das Geometriemodell dient der Überprüfung der Maßhaltigkeit und Toleranzen des Endproduktes. Innerhalb dieser sind die funktionalen und materiellen Eigenschaften nicht relevant.²²¹ Ein Funktionsmodell muss kurzzeitig ähnlichen Belastungen standhalten, wie das spätere Endprodukt. Ausgebildete Fachkräfte können somit anhand der Prototypen die Anforderungen an das Endprodukt verifizieren und validieren. Produktsimulationen, wie beispielsweise die Belastungssimulation, können durch ausgebildete Fachkräfte, welche eine Weiterbildung in der Produktsimulationen aufweisen, vorab bereits am Rechner virtuell simuliert und analysiert werden.²²² Durch diese Methodik können ebenfalls Anforderungen an das Produkt, vor der Serienfertigung analysiert werden. Anforderungen an den Facharbeiter sind kongruente und inkongruente Kenntnisse in Bezug auf Werkstoffe, welche unter anderem auf Gipspulverbasis, Metallbasis und Kunststoffbasis bspw. ABS [*Acrylnitril-Butadien-Styrol*], PE [*Polyethylen*], PP [*Polypropylen*], basieren. Weitere Anforderungen an den Facharbeiter sind Kenntnisse innerhalb einer Materialprüfung. Diese *„dient in allen Stadien des Materialkreislaufes, der Eigenschafts-, Qualitäts- und Sicherheitsanalyse von Materialien und der Beurteilung ihrer funktionellen, wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Anwendung. [...] Grundlegende Aufgaben der Materialprüfung sind: Bestimmung des Materialverhaltens unter den verschiedenen Beanspruchungen, mechanischer sowie thermischer Art. [...] Entwicklung und Anwendung von Methoden zur Beanspruchungsanalyse und anwendungsorientierten Beurteilung von Werkstoffen, Bauteilen und Konstruktionen“*²²³ können unter anderem durch die Überprüfung der Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Temperaturbeständigkeit und Schlagzähigkeit, bereits vor der Serienfertigung vom Facharbeiter analysiert und auf ihre Validität geprüft werden.²²⁴ Weitere Kompetenzen und Kenntnisse werden in der selbstständigen Einrichtung und Bedienung von Produktionsanlagen zur Herstellung von Erzeugnissen vorausgesetzt. Die Kontrollierung und Optimierung des Produktionsprozesses mit der jeweiligen Durchführung von Mess- und Prüftätigkeiten [Qualitätssicherung] und der Nachbearbeitung der Modelle [Pre-Processing] mit Hilfe von Werkzeugen, werden ebenfalls vorausgesetzt.²²⁵ Betriebliche Anforderungen innerhalb der Fertigung, beinhalten Anforderungen an den wirtschaftlichen Nutzen für die Unternehmen, welche additive Fertigungsverfahren gewinnbringend einsetzen wollen. Anforderungen an die Fertigung sind zeitwirtschaftliche, materialwirtschaftliche und kostenkontrollierende Aspekte, die im Sinne eines Soll-Ist-Vergleichs bestehen.²²⁶ Somit stehen die Fachkräfte ebenfalls innerhalb einer fortlaufenden Optimierung des laufenden Fertigungsprozesses, der ein vertieftes Wissen über die Anwendung und den Einsatz der Rapid-Technologien, voraussetzt.

²¹⁷ Ebd.

²¹⁸ Bertsche, Bernd; Bullinger, Hans-Jörg: (2007), S.23

²¹⁹ Vgl. Bertsche, Bernd; Bullinger, Hans-Jörg: (2007), S.23 f.

²²⁰ Ebd.

²²¹ Ebd.

²²² Vgl. Bertsche, Bernd; Bullinger, Hans-Jörg: (2007), S.24

²²³ Czichos,Horst; Skrotzki,Birgit; Simon,Franz-Georg: (2014), S.89

²²⁴ Vgl. Czichos,Horst; Skrotzki,Birgit; Simon,Franz-Georg: (2014), S.89

²²⁵ Vgl. Bertsche, Bernd; Bullinger, Hans-Jörg: (2007), S.408 ff.

²²⁶ Vgl. Thum, Martin: (2011), S. 36

13. Schulische Anforderungen

Neben den betrieblichen Anforderungen, kommen schulische Anforderungen an die Umsetzung einer Lerneinheit hinzu. So ist es unter anderem die Aufgabe der beruflichen Bildung, den Unternehmen einen qualifizierten Fachkräftenachwuchs zu sichern.²²⁷ Um dies zu erreichen, besteht neben der Vermittlung von Fachkenntnissen, die Bedeutsamkeit in der Vermittlung von Schlüsselqualifikationen und Kompetenzen, welche für die betrieblich-praktische Tätigkeit der Fachkräfte notwendig sind. Eine weitere Aufgabe der beruflichen Bildung ist es, grundlegende, spezifische und betriebliche Erfahrungssituationen mit den Schülerinnen und Schülern herauszuarbeiten und diese zu erweitern.²²⁸

So kommen Anforderungen an die Persönlichkeitsentwicklung der zukünftigen Fachkräfte hinzu. Innerhalb der Empfehlungen der Kultusministerkonferenz zur kulturellen Kinder- und Jugendbildung, welche sich ebenfalls auf die berufsbildenden Schulen beziehen, verorten sich Ziele und Grundsätze zur Persönlichkeitsentwicklung von Schülerinnen und Schülern. So ist die *„kulturelle Bildung für die Persönlichkeitsentwicklung junger Menschen unverzichtbar [...] Sie verbessert die Bedingungen für eine gelingende Bildungsbiografie und ermöglicht den Erwerb kognitiver und kreativer Kompetenzen. Sie trägt zur emotionalen und sozialen Entwicklung aller Heranwachsenden und zu ihrer Integration in die Gemeinschaft bei und ist somit Grundbedingung gesellschaftlicher Teilhabe.“*²²⁹ Durch die Förderung der drei psychologischen Grundbedürfnisse, die zufolge der Selbstbestimmungstheorie der Motivation, in den Teilbereichen der Autonomie, sozialen Eingebundenheit und Fachkompetenz bestehen, können innerhalb einer Lerneinheit mit additiven Fertigungsverfahren, Problemlösefähigkeiten gestärkt und selbstständiges Lernen gefördert werden.²³⁰ *„Eine Gesellschaft, die die kulturelle Bildung der Heranwachsenden stärkt, schafft damit zugleich wichtige Grundlagen ihrer eigenen Zukunftsfähigkeit.“*²³¹ Neben der Vermittlung von Schlüsselkompetenzen im Umgang mit additiven Fertigungsverfahren, sind Kompetenzen im Sinne der Humankompetenz: *„Die Fähigkeit und Bereitschaft des Menschen, als Individuum die Entwicklungschancen, Anforderungen und Einschränkungen im Beruf, Familie und öffentlichen Leben zu klären, zu durchdenken und beurteilen, eigene Begabungen zu entfalten sowie Lebenspläne zu fassen und fortzuentwickeln.“*²³² und der Sozialkompetenz: *„Die Fähigkeit und Bereitschaft, soziale Beziehungen und Interesselagen, Zuwendungen und Spannungen zu erfassen und zu verstehen sowie mit anderen rational und verantwortungsbewusst auseinander zu setzen und zu verständigen“*²³³ von Belang. Die Vermittlung von Entwicklungschancen, das Fördern von reflektiertem und verantwortungsbewusstem Handeln und das Fördern von Kommunikationsfähigkeiten, welche zur Zusammenarbeit hinführen, gehören zu den Anforderungen der beruflichen Bildung.

Der Bildungsauftrag der Berufsschule, welcher eine Vernetzung der Lernbereiche der berufsbezogenen, mit denen der allgemeinbildenden Lernbereiche fordert, wird durch die Dualität, also den Austausch zwischen der beruflichen Bildung und den betrieblichen Instanzen erreicht.²³⁴ Neben der Persönlichkeitsentwicklung und der Förderung von Kernkompetenzen, gehört die Vermittlung von Inhalten zu den Anforderungen der beruflichen Bildung. So wird neben dem Praxisbezug durch eine entsprechende Lerneinheit, ein fundiertes Wissen über die theoretischen Hintergründe, wie beispielsweise der Funktionsweisen und ihrer jeweiligen Vor- und Nachteile und

²²⁷ Vgl. Kultusministerkonferenz: (23.10.1998), S.1

²²⁸ Vgl. Ebd, S.3-4

²²⁹ Kultusministerkonferenz: (10.10.2013), S.2 f.

²³⁰ Ryan; Deci: (2000),55, 68-78.

²³¹ Kultusministerkonferenz: (10.10.2013), S.2

²³² Bader, Reinhard: (2004),S.21

²³³ Ebd.

²³⁴ Vgl. Deisenroth, Holde: (2004), S.68

das notwendige Wissen über die Werkstoffe der verschiedenen additiven Fertigungsverfahren, vermittelt. Schulungen in Bezug auf die benötigten Software-Kenntnisse können, sofern die Möglichkeit der Anschaffung besteht, innerhalb differenzierter Workshops vermittelt werden. Das Fördern des räumlichen Denkens, z. B. durch das Erlernen von Skizziertechniken, in denen die Schülerinnen und Schüler vorgegebene Gegenstände perspektivisch und realitätsgetreu in den drei Dimensionen darstellen, gehört ebenfalls zu den Grundlagen, welche den zukünftigen Fachkräften, vermittelt werden sollen. Diese Kompetenz wird benötigt, um das Vorstellungsvermögen und die technische Herangehensweise der Fachkräfte für ihren Berufsalltag zu schulen. Eine weitere Aufgabe der berufsbildenden Schulen, ist das ständige Bemühen um Aktualität, damit dem Stand der Entwicklung Folge geleistet werden kann. Diese Kompetenz wird benötigt, damit die Schülerinnen und Schüler Lerninhalte vermittelt bekommen, welche dem neusten Stand der Technik gerecht werden. Insofern bedarf es einer ständigen Weiterbildung der Lehrkraft, gemäß einem lebenslangen Lernen.²³⁵ Zum lebenslangen Lernen gehört ebenfalls das Wissen über die verschiedenen Lerntheorien, welche durch die Lehrkraft Anwendung finden. Die Lerntheorie des Konstruktivismus spielt in der Umsetzung und Vermittlung einer Lerneinheit eine bedeutsame Rolle, da diese auf der Annahme basiert, dass Wissen ein informationell geschlossenes System ist, welches konstruiert wird. Wissen bedeutet nach dem Konstruktivismus, Lernziele und komplexe Situationen zu bewältigen.²³⁶ So kann die Lehrkraft anhand einer beispielhaften Lerneinheit, welche in Form einer Projekteinheit in den Unterricht des Berufsfeldes Bautechnik integriert wird, Kompetenzen und Kenntnisse im Umgang mit additiven Fertigungsverfahren, vermitteln.

²³⁵ Vgl. Kultusministerkonferenz: (1997)

²³⁶ Vgl. Uni-Köln: (27.03.2014)

14. Anforderungen an die Lernumgebung

Um eine Lerneinheit im Bereich der additiven Fertigungsverfahren, speziell dem Three Dimensional Printing [*3DP*] Verfahren, durchzuführen, werden Anforderungen an die Lernumgebung gestellt. Hierbei definiert sich die Lernumgebung aus dem Lernort, in dem die Schülerinnen und Schüler die additiven Fertigungsverfahren theoriegeleitet lernen und einen Transfer zur Praxis herstellen. Zu der Lernumgebung gehören alle Gerätschaften und Materialien, welche mit dem Lerninhalt in Bezug stehen. Anforderungen an die Lernumgebung bestehen, neben der Anschaffung eines fähigen Gerätes für das Three Dimensional Printing [*3DP*], in den Materialien, aus denen Produkte auf Gipspulverbasis gefertigt werden. Hierbei wird der technologische Fokus der Lerneinheit auf das Three Dimensional Printing [*3DP*] Verfahren gesetzt. Dieses Verfahren arbeitet mit preiswerten Gipspulverbasiswerkstoffen, mit denen innerhalb der beruflichen Bildung, Produkte gefertigt werden können, die in Bezug auf metallische Werkstoffe preiswerter sind. Aufgrund des aktuellen Eisenpreises, welcher auf einem Aktien-Index von 148.09\$ pro Tonne steht²³⁷, wird der kostengünstigere Gips, bevorzugt verwendet. Die Lerneinheit mit additiven Fertigungsverfahren verfolgt das Ziel der anwendungsbezogenen Realisierung eines realitätsnahen Kundenauftrags [*Briefing*], welche zu einem Endprodukt führt. Die Förderung von räumlichem Denken, z. B. durch das Erlernen von Skizziertechniken, innerhalb dieser die Schülerinnen und Schüler vorgegebene Gegenstände perspektivisch und realitätsgetreu in den drei Dimensionen darstellen sollen, ist bedeutsam, um das Vorstellungsvermögen und die technische Herangehensweise der zukünftigen Fachkräfte zu schulen.

Während der Durchführung einer Lerneinheit wird ein beständiger Raum, welcher speziell für die Durchführung der Lerneinheiten zur Verfügung steht, empfohlen. Diese Empfehlung ist notwendig, um für die Dauer der Lerneinheit einen Raum zu erhalten, innerhalb diesem die Schülerinnen und Schüler, welche das Rapid Manufacturing kennenlernen, vernetzen, ausführen und weiterentwickeln sollen, arbeiten können. So fokussieren sich die Schülerinnen und Schüler innerhalb dieser speziellen Räumlichkeit ausschließlich auf die vermittelten Lerneinheiten, welche in Bezug zu den additiven Fertigungsverfahren stehen. In diesen Räumlichkeiten können die Gipspulverbasiswerkstoffe und weitere Stoffe für das Three Dimensional Printing [*3DP*] gelagert werden, sofern es sich nicht um Gefahr- bzw. gesundheitsgefährdende Stoffe handelt.

Neben der Gegenstands- und Zukunftsbedeutung²³⁸ des Rapid Manufacturing innerhalb der Prozesskette der Produktion, muss die schulische Lernumgebung den Anforderungen der Produktion gerecht werden. Anhand einer beispielhaften Lerneinheit, welche in Form einer Projekteinheit in den Unterricht des Berufsfeldes Bautechnik integriert wird, ist es von Bedeutung, dass die Lehrkraft den Schülerinnen und Schülern die Produktionskette anhand eines handlungsorientierten Unterrichts näherbringt. Technologisches Wissen, beispielsweise in Bezug auf den Druckkopf und seine Funktionen, können innerhalb einer Lerneinheit vermittelt werden. Der Einstieg in das Three Dimensional Printing [*3DP*]-Verfahren, kann anhand des Prinzips eines Inkjet-Verfahren erläutert werden. Außerdem können Werkstoffe, wie Holzfaserstoff-Gips-Gemische und ihre Aufbauweise in reduzierter, den Schülerinnen und Schülern verständlicher Form, erläutert werden.

Weitere Anforderungen an die Schülerinnen und Schüler, bestehen in der Sichtung, Selektion und Verarbeitung von Informationen aus ihrer Lernumgebung. Innerhalb dieser sollen die Schülerinnen und Schüler die sinnvolle Nutzung der technischen Funktionen innerhalb von Lerneinheiten lernen, verstehen, anwenden, analysieren, synthetisieren und evaluieren können.²³⁹ Des Weiteren kommen metakognitive Anforderungen durch die Lernumgebung hinzu. Die Schülerinnen und Schüler sollen innerhalb des Lernprozesses ihre Ziele setzen, transparent halten

²³⁷ Vgl. trendlink: (27.03.2014)

²³⁸ Meinert, Meyer; Hilbert Meyer: (2007), S. 270 ff

²³⁹ Taxonomie Bloom: (20.03.2014)

und dementsprechend planen und einen Zeit- und Arbeitsplan erstellen, in dem sie ihre Einschätzungen verschriftlichen. Hierzu gehört das Durchführen und Überwachen der einzelnen Produktionsschritte, ausgehend von der Skizze zum fertigen Endprodukt. Der Lernprozess und das Lernprodukt sollen hierbei evaluiert und reflektiert werden.²⁴⁰

Die Tätigkeiten der Lehrkräfte bestehen demgegenüber in der Anleitung der Schülerinnen und Schüler, sodass die Lehrkräfte als Coach oder Trainer agieren. Durch das formative Assessment, dem fortlaufenden Feedback einer Lerneinheit, wird intern modelliert.²⁴¹ Anforderungen an die berufliche Bildung kommen im Sinne der Flexibilisierung, Differenzierung und Individualisierung einer Lerneinheit hinzu. Bei der Flexibilisierung wird die Lernumgebung den veränderten technischen und ökonomischen Bedingungen angepasst. Durch die Differenzierung werden die unterschiedlichen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler nach Interesse, Lernstand und kognitiven Fähigkeiten anhand von Fördermaßnahmen differenziert. Bei der Individualisierung wird die Lerneinheit an den Lernvoraussetzungen der Lernenden ausgerichtet und orientiert sich an dem zu lernendem Stoff der beruflichen Bildung.²⁴² Weitere Anforderungen werden an die Lehrkräfte selbst gestellt. Diese müssen die kognitiven Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler in übergreifenden und komplexen Strukturen fördern und Lernumgebungen schaffen, welche Problemlösefähigkeiten fördern.

Nach einer Empfehlung der Kultusministerkonferenz [KMK] sollen sich die Lehrpläne der beruflichen Bildung an der beruflichen Handlungskompetenz ausrichten.²⁴³ Bevor eine Lerneinheit realisiert wird, müssen die Projektziele genau beschrieben werden, damit die Schülerinnen und Schüler Klarheit über das Ziel der jeweiligen Lerneinheit erhalten. Nach der Zielformulierung folgt ein Kundenauftrag [Briefing], in dem das zu realisierende Produkt näher definiert wird. Die Zielgrößen werden den Schülerinnen und Schülern vor der Realisierung einer Lerneinheit nähergebracht. Ebenfalls spielen die Zielgrößen Zeit, Ökonomie und Qualität bei der Realisierung eines Endproduktes eine bedeutsame Rolle. Die Zielgröße Zeit führt zu kürzeren Entwicklungsphasen, sodass sich Produktionen, aufgrund des Rapid Manufacturing, schneller den Marktbedingungen anpassen können. Ökonomische Aspekte des Rapid Manufacturing sind das frühe Ergebnisfeedback und die hohe Produktionsqualität. Die Produktionsqualität wird durch die frühzeitige Fehleranalyse anhand eines Prototyps sichergestellt. Bei der Produktrealisierung in den einzelnen Phasierungen, bis zur Fertigung des Endproduktes, stehen die Zielgrößen in einer ständigen Synthese. Durch eine Differenzierung des Kundenauftrags kann den unterschiedlichen kognitiven Anstrengungen der Schülerinnen und Schüler entgegengewirkt werden. Es folgen beispielhafte Meilensteine, welche eine Lerneinheit schrittweise zum Ziel führen können. Die einzelnen Meilensteine des Arbeitsprozesses, welche vor der Ankündigung einer Lerneinheit vermittelt werden, dienen den Schülerinnen und Schülern als Zielführung.

²⁴⁰ CMU: (20.03.2014)

²⁴¹ Vgl. Baumgartner; Payr: (1997), S.110 f.

²⁴² Vgl. Sloane; Twardy; Buschfeld: (2004), S. 275 f

²⁴³ Vgl. Kultusministerkonferenz: (05.10.2000), S. 9

Im Folgenden werden die Meilensteine eines Arbeitsprozesses vorgestellt.²⁴⁴

Zielsetzung: (Beispiel: Iterationsschleife) Innerhalb der *Zielsetzung* wird zunächst über den Arbeitsauftrag informiert. Binnen dieser wird hinterfragt, was der Auftraggeber von der Fachkraft, welche den Arbeitsauftrag bearbeitet, erwartet. Die *Zielsetzung* des Arbeitsauftrags, muss, wie innerhalb einer Iterationsschleife, ständig vor Augen gehalten werden. Das heißt, dass die Zielsetzung [ein Meilenstein] übergreifend auf die weiteren sechs Meilensteinen übertragen werden muss, um eine Überprüfung zu veranlassen.

Planung: (Beispiel: Zeit- und Arbeitsplan erstellen) In der *Planung* wird der zeitliche Ablauf koordiniert und die Ablaufschritte, die für eine Bearbeitung eines Kundenauftrags nötig sind, geplant. Hierzu kann ein Zeit- sowie ein Arbeitsplan erstellt werden, oder auf ein Gantt-Diagramm zugegriffen werden, um die Zielsetzung zu erreichen.

Konzipieren: (Beispiel: Skizzieren in verschiedenen Perspektiven / Virtuelles Modell CAD) Der zu konstruierende Gegenstand, bzw. das Objekt muss zunächst vorab skizziert / zeichnerisch dargestellt werden, um sofern kein Beispielstück vorhanden ist, Fehler bereits vor der Konstruktion aufzuspüren und zu beheben. Außerdem dienen die Skizzen als hilfreiche Unterstützung bei der Visualisierung des Gegenstandes, dem Arbeitsauftrag. Das Konzipieren gehört zu einer Herangehensweise, in der bestimmte Charakteristika, Funktionen und Erscheinungsbilder des zu konstruierenden Gegenstandes vorab festgelegt werden. Innerhalb des Meilensteinsverortet sich ebenfalls die Skizze.

Konstruieren: (Beispiel: Virtuelles Modell in CAD) Beim *Konstruieren*, wird der vorab konzipierte Gegenstand des Arbeitsauftrags virtuell in CAD modelliert. Innerhalb des Konstruierens dient die Konzeption, welche vorab bereits erstellt wurde, als Leitfaden bei der Produktion. Zusätzlich werden notwendige Stützkonstruktionen berechnet.

Ausarbeiten: (Beispiel: Stützkonstruktion anbringen) Innerhalb der *Ausarbeitung* finden detailliertere Ausführungen an dem virtuellen 3D Modell statt. Die letzten Fehler werden behoben und die Testverfahren, sofern diese benötigt werden, durchgeführt. Werkstoffe, welche auftragsbezogen sind, werden gewählt. Es werden die Stützkonstruktionen angebracht.

Herstellen: Beim Herstellen wird der Gegenstand, welcher konstruiert und ausgearbeitet wurde, mit einem additiven Fertigungsverfahren schnittstellenspezifisch generiert. Die benötigten Werkstoffe werden vorab auf den Fertigungsprozess abgestimmt.

Nachbearbeiten: (Beispiel: Stützkonstruktionen entfernen) Beim Nachbearbeiten wird die Oberflächenbeschaffenheit je nach Arbeitsanforderung bearbeitet. Dies kann unter anderem durch Schleifen, Lackieren, Beschichten, oder Galvanisieren geschehen. Die zuvor generierten Stützkonstruktionen werden entfernt.

²⁴⁴ Vgl. Bertsche, Bernd; Bullinger, Hans-Jörg: (2007), S.23

Die zielführenden Meilensteine eines Arbeitsprozesses verketteten sich mit dem Lernprozess einer vollständigen Handlung. Dieser Prozess dient der Kohärenz des dualen Systems der beruflichen Bildung und der notwendigen Konformität, welche sich durch das Lernfeldkonzept der Kultusministerkonferenz ergibt. Das Modell der vollständigen Handlung lässt sich folgend darstellen:

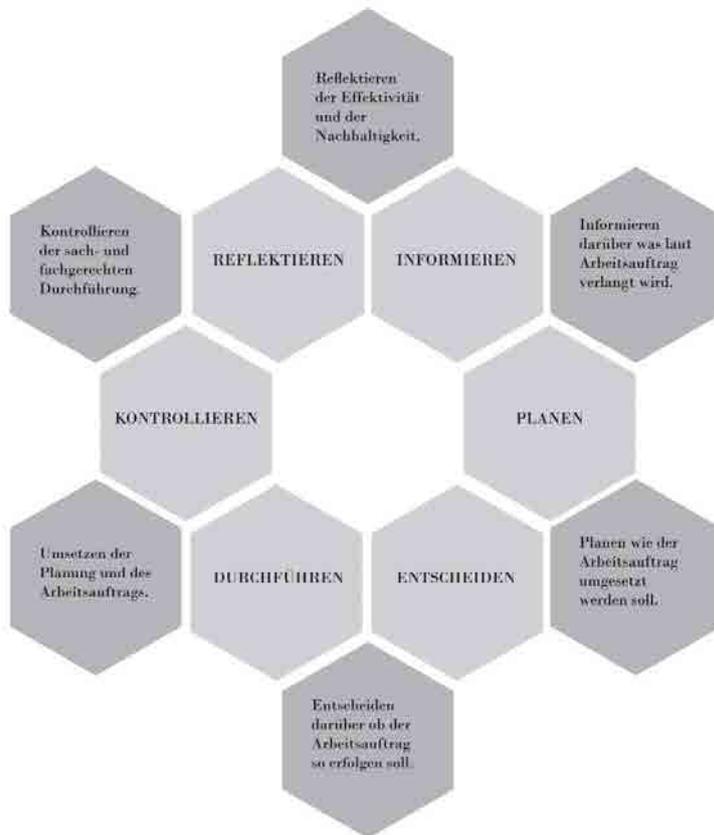


Abbildung 20 | Vollständige Handlung

Informieren darüber, was laut Arbeitsauftrag verlangt wird.

Planen, wie der Arbeitsauftrag umgesetzt werden soll.

Durchführen der Arbeitsschritte innerhalb eines Teams oder in eigenständiger Arbeit.

Kontrollieren der sach- und fachgerechten Durchführung der Arbeitsschritte.

Reflektieren der Effektivität und der Nachhaltigkeit des durchgeführten Arbeitsauftrags.

Die Schülerinnen und Schüler sollen, sofern es den curricularen Vorgaben entspricht, Problemlösefähigkeiten bilden und mehrere Lösungsvarianten für die Erfüllung eines Kundenauftrags finden. Aufgrund der Integration der gemeinsamen Wissensbasis, sollen die Schülerinnen und Schüler ihr erlangtes Fach- und Erfahrungswissen dokumentieren und mit den Teilnehmern der Lerneinheit reflektieren. Um eine Lerneinheit im Bereich der additiven Fertigungsverfahren zu ermöglichen, knüpft diese eng an die finanziellen Aspekte der Kosten- und Nützlichkeitsrechnung an, um Anschaffungsmaßnahmen für eine Projekteinheit zu realisieren.

14.1. 3D-Drucker für die berufliche Bildung

Der Fokus innerhalb dieses Abschnitts wird auf 3D-Drucker gerichtet, welche den Anforderungen einer Lerneinheit innerhalb der beruflichen Bildung genügen sollen. Die Anforderungen an einen 3D-Drucker setzen sich aus den Kategorien Preis, Stromverbrauch, Druckgröße, Gerätgröße, Auflösung, Geruchs- und Staubbelästigung und Druckgeschwindigkeit, zusammen. Die 3D-Drucker werden in den zuvor genannten Kategorien auf ihre Tauglichkeit innerhalb einer Lerneinheit der beruflichen Bildung hin untersucht. Neben dem Kostenfaktor der Anschaffung ist der Kostenfaktor, der sich aus dem Stromverbrauch ergibt, ebenfalls ein wichtiger Punkt bei der Anschaffung eines 3D Druckers. Die maximale verfügbare Druckgröße ist relevant für die Umsetzungsfreiheit individueller Größen und Ausführungen von Bauteilen sowie Objekten. Die Druckgeschwindigkeit bzw. Schichtgeschwindigkeit ist relevant in der Ausführung einer Projekteinheit. Häufig besteht eine Unterrichtseinheit innerhalb der beruflichen Bildung aus 45 Minuten. Diese setzt eine schnellere Druckgeschwindigkeit voraus, damit das zu fertigende Produkt auch innerhalb einer kürzeren Zeit, für die Begutachtung der Schülerinnen und Schüler einer Lerneinheit, zur Verfügung steht. Die Kategorie der Geruchs- und Staubbelästigung spielt bei der Ausführung einer Projekteinheit ebenfalls eine erhebliche Rolle. Diese wird subjektiv operationalisiert. Die Kategorie Geruchs- und Staubbelästigung hat ihre Relevanz, da bei einer verstärkten Geruchs- und Staubbelästigung, geeignete Maßnahmen eingeleitet werden müssen, welche zum Gesundheitsschutz der Schülerinnen und Schüler beitragen. Für die Begutachtung, wurden aus der Bandbreite an 3D Druckern zwei Modelle herausgesucht, welche innerhalb der Preis-Leistungskategorie, von Relevanz für das Berufsfeld des Stuckateurs/-in sind. Diese werden Modelle werden in den zuvor festgelegten Kategorien begutachtet und auf ihre Tauglichkeit innerhalb einer Lerneinheit hin untersucht.

Tabelle 1.: DESIGNmate Cx im Vergleich zum ZPrinter-650

<i>DESIGNmate Cx</i> ²⁴⁵	<i>ZPrinter-650</i> ²⁴⁶
Preis: 39.274,00 € (-)	Preis: 39 344, 00 € (-)
Stromverbrauch: ca. 780 W (-)	Stromverbrauch: ca. 780 W (+)
Druckgröße: 254 x 356 x 203 mm (+)	Druckgröße: 254 x 381 x 203 mm (+)
Gerätegröße: 107x79x127 cm (+)	Gerätegröße: 188 x 74 x 145 cm (+)
Auflösung: 600 x 540 dpi (+)	Auflösung: 600 x 540 dpi (+)
Druckgeschwindigkeit: 2 layer pro minute (+)	Druckgeschwindigkeit: 28 mm/Stunde (-)
Druckköpfe: 4 (+)	Druckköpfe: 4 (+)
Geruchs- und Staubbentwicklung: (+)	Geruchs- und Staubbentwicklung: (+)

Legende:

hervorragend (++) | gut (+) | schlecht (-) | sehr schlecht (--)

Ergebnis: Aus dem Datenblatt kann keine genaue objektive Prognose über die Qualität der generierten Objekte vorausgesagt werden. Diese ist innerhalb eines Anwendungszeitraumes [Testphase] zu operationalisieren. Aus diesem Grund wurde der „DESIGNmate Cx“ als Grundlage für eine Kalkulation gewählt. Der ZPrinter-650 erfüllt dieselben Anforderungen.

²⁴⁵ Vgl. Contex: (05.11.2013)

²⁴⁶ Vgl. zcorp: (05.11.2013)

15. Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kalkulationen im Sinne der Entwicklungs- und Anschaffungskosten, spielen häufig innerhalb einer Umsetzung von Unterrichtsprojekten, eine erhebliche Rolle. So muss eine institutionelle Einrichtung, wie die eines Berufskollegs, bereits vorab eine ungefähre Prognose der Kosten erhalten und diese der entsprechenden Behörde übermitteln, um beispielsweise Fördergelder für die Realisierung eines Unterrichtsprojektes zu erhalten.²⁴⁷ Es werden folgende Kosten für die Umsetzung einer Lerneinheit ermittelt: Kosten einer Lerneinheit, Kosten der Anschaffung eines Gerätes, der Bedarf an Strom und seine Kosten, der Bedarf an Räumlichkeiten für die Nutzung des Gerätes und dadurch entstehende Kosten, Kosten für das Material, die Werkstoffe und die Instandhaltung. Für die Kalkulation der Kostenplanung und den Maschinenstundensatz werden folgende Formeln verwendet:

Formel der Kostenplanung: $K = V \cdot p$

Formel für den Maschinenstundensatz = Maschinenabhängige Kosten \div Laufstunden.²⁴⁸

Es folgen Kalkulationen für die oben genannten Kostenfaktoren für eine Lerneinheit. Das Gerät mit der Namensgebung „DESIGNmate Cx“ aus der vorhergegangenen Begutachtung, wurde beispielhaft als Kalkulationsgegenstand verwendet.

Der Stromverbrauch einer Maschine wird ermittelt

Gegeben sind:

- Elektrizitätswerk: ca. 0,24 € pro KWh
- Verbrauch DESIGNmate Cx: 780 W = 0,780 KWh
- Fertigungszeit: Das Gerät baut mit einer Geschwindigkeit von max. 5,0 cm Höhe je Stunde auf. Ein Modell einfarbig mit einer Abmessung von 80 x 40 x 20 cm wird in ca. 4 Stunden generiert.²⁴⁹

Stromverbrauch bei einer 4 Std. Fertigungszeit:

Rechnung: 0,780 KWh \cdot 4 = 3,12 KWh

Formel: Verbrauch (KWh) \cdot Fertigungszeit (h) = Gesamtstromverbrauch Fertigung (€)

Stromkosten einer 1. Std. Lerneinheit:

Rechnung: 0,24 € \cdot 0,780 KWh = 0,1872 €

Formel: Preis Elektrizitätswerk KWh (€) \cdot Verbrauch Gerät (KWh) = Stromkosten 1.Std Unterrichtseinheit (€)

Stromkosten einer 4. Std. Lerneinheit:

Rechnung: 0,24 € \cdot 0,780 KWh = 0,1872 € \cdot 4 = 0,7488 \sim 0,75 €

Formel: Preis Elektrizitätswerk KWh (€) \cdot Verbrauch Gerät (KWh) = Stromkosten 1.Std Unterrichtseinheit

\cdot 4 Stunden = Stromkosten für 4.Std Unterrichtseinheiten (€)

Stromkosten Lerneinheit aller 3 Stufen:

Rechnung: 0,75€ \cdot 3 = 2,25 €

Formel: Stromkosten für 4.Std Unterrichtseinheiten (€) \cdot 3 Stufen (Unter-, Mittel-, Oberstufe) = Stromkosten Lerneinheit von drei Ausbildungsstufen

²⁴⁷ Ministerium für Arbeit, Integration und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen: (20.03.2014), ESF-Förderrichtlinie

²⁴⁸ Vgl. Controlling Portal: (20.03.2014)

²⁴⁹ Vgl. Kubikwerk: (20.03.2013)

Stromkosten Lerneinheit aller 3 Stufen pro Monat

Rechnung: $2,25 \text{ €} \cdot 4 = 9 \text{ €}$

Formel: Stromkosten 3 Stufen (Unter-, Mittel-, Oberstufe) \cdot 4 Wochen = Stromkosten (€) im Monat

Stromkosten Lerneinheit aller 3 Stufen im Jahr

Rechnung: $2,25 \text{ €} \cdot 4 \cdot 12 = 108 \text{ €}$

Formel: Stromkosten 3 Stufen (Unter-, Mittel-, Oberstufe) \cdot 4 Wochen \cdot 12 Monate = Stromkosten (€) im Jahr

Effektive Maschinenlaufzeit im Jahr

Rechnung: $2 \text{ h} \cdot 3 = 6 \text{ h} \cdot 4 = 24 \text{ h} \cdot 12 = 288 \text{ h} - 71 = 217 \text{ h}$

Formel: Unterrichtsstunden (h) \cdot 3 Stufen (Unter-, Mittel-, Oberstufe) = Effektive Stundenzahl pro Woche (h) \cdot 4 Wochen = Effektive Stundenzahl pro Monat (h) \cdot 12 Monate = Effektive Stundenzahl pro Jahr (h)

- Ferien und Feiertage

Der Raumbedarf einer Maschine wird ermittelt

Raumbedarf für Gerät, Material-, sowie Werkzeugbedarf

Rechnung: $357 \times 342 \times 388 \text{ mm} = 4 \text{ qm}$

Formel: $a \cdot b \cdot c = \text{qm}$

Somit kann das Gerät in einen Arbeits- bzw. Unterrichtsraum gestellt werden, ohne einen größeren Platz zu gebrauchen.

Jährliche Raumkostensatz

Rechnung: $80 \text{ qm} = 595 \text{ €} \div 1 \text{ qm} = 7,4375 \text{ € pro qm} \cdot 4 \text{ qm} = 29,75 \text{ €} \cdot 12 \text{ Monate} = 357 \text{ €}$

Formel: Raumgröße (qm) = Kosten pro Monat (€) \div 1 qm = Preis (€) pro qm \cdot Raumbedarf für Gerät, Material-, sowie Werkzeugbedarf (qm) = Kosten pro Monat (€) \cdot 12 Monate = Kosten pro Jahr (€)

Der Raumkostensatz kann nicht auf die effektive Maschinenlaufzeit im Jahr bezogen werden, da die Abbuchungen der Mietkosten monatlich erfolgen.

Der Materialverbrauch einer Lerneinheit wird ermittelt

Materialverbrauchs-kosten pro Jahr

Rechnung: $1 \text{ kg} = 1,93 \text{ €} \cdot 3 = 5,79 \text{ €} \cdot 144 = 833,76 \text{ €}$

Formel: Gesamtgewicht Material (Kg) = Preis (€) \div 1 Kg = Preis pro Kilo (€) \cdot 3 Stufen (Unter-, Mittel-, Oberstufe) = Preis pro Woche (€) \cdot Unterrichtseinheiten = Preis pro Jahr (€)

Materialverbrauch pro Jahr

Rechnung: $144 \cdot 3 = 432 \text{ Kg je Klasse pro Jahr}$

Formel: Unterrichtseinheiten \cdot 3 Stufen (Unter-, Mittel-, Oberstufe) je Kg = Materialverbrauch pro Jahr
Somit wird pro Tag 1 kg Material bzw. Werkstoff pro Unterrichtseinheit und Stufe zur Verfügung gestellt.

Folglich werden die Gesamtkosten für die Umsetzung einer Lerneinheit tabellarisch gelistet. Für die Instandhaltung ist ein ungefährender Prozentsatz ermittelt worden, der sich aus der Kalkulations-Literatur²⁵⁰ des Wirtschaftsektors ergibt. Der Prozentsatz ermittelt die jährlichen Instandhaltungskosten aus dem Faktor der Gesamtkosten.

Tabelle 2.: Gesamtkostentabelle für die Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kostenart	Berechnung bzw. Einflussgrößen
Anschaffungskosten	39.274,00 €
Stromkosten/Jährliche Unterrichtseinheiten (Energie)	108 €
Materialkosten/ Jährliche Unterrichtseinheiten	833,76 € / 432 Kg pro Lerneinheit in drei Stufen pro Woche.
Instandhaltungsprozentsatz	2 %
Raumkostensatz/ Jahr	357 €
jährliche Laufzeit	217 Stunden
Gesamtkosten im ersten Anschaffungsjahr	41.384,22€

So ergibt sich aus der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung folgendes Ergebnis:

Die Maschinenlaufstunden pro Jahr betragen 217 Stunden. Die Kosten pro Unterrichtseinheit kalkulieren sich aus Maschinen-, Strom-, Raum-, Instandhaltungs- und Materialkosten.

Nur auf die Material- und Stromkosten bezogen, ergeben sich Kosten von 2,12 € für eine einzelne Unterrichtseinheit. Somit lässt sich aus der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung erkennen, dass der größte Kostenfaktor die Anschaffung eines 3DP fähigen Gerätes ist. Diesbezüglich bedarf es eines staatlichen Förderprogramms, um eine innovative Lerneinheit mit dem Fokus auf Rapid Manufacturing, zu realisieren.²⁵¹

²⁵⁰ Vgl. Böge, Alfred: (2007), S. 11 f.

²⁵¹ Vgl. Ministerium für Arbeit, Integration und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen: (20.03.2014), ESF-Förderrichtlinie

16. Rapid Manufacturing: Stuckherstellung

Die folgende Abbildung verdeutlicht eine mögliche Form der Implementierung von additiven Fertigungsverfahren in die Gesamtprozesskette der traditionellen Stuckherstellung. Durch das Rapid Manufacturing ist es möglich, die innovative Technologie verfahrensspezifisch in den sich kaum veränderten traditionellen Herstellungsprozess des Stuckateurs/-in zu implementieren und Lerneinheiten in Bezug auf diesen durchzuführen. Die Gesamtprozesskette der Stuckherstellung und der innerhalb dieser inkludierten Rapid Manufacturing beginnt mit einem Kundenauftrag [Briefing] und der mit dieser verknüpften Zielsetzung. Innerhalb des Kundenauftrags werden kunden- und produktspezifische Anforderungen an einen Arbeitsauftrag definiert. Daraufhin werden erste Ansätze der Produktrealisation anhand von Skizzen, technischen Zeichnungen und weiteren möglichen Formen visualisiert und mit dem Auftraggeber, bzw. Kunden besprochen. Nach der kundenspezifischen Besprechung wird, sofern die Notwendigkeit einer Verbesserung besteht, der Schritt der Visualisierung wiederholt, um die Darstellungsformen so zu verändern, dass die Kundenzufriedenheit gewährleistet ist. Nach einer erfolgreichen Optimierung und Auftragsbestätigung seitens des Auftragsgebers, folgen Prozessschritte der Arbeitsvorplanung.

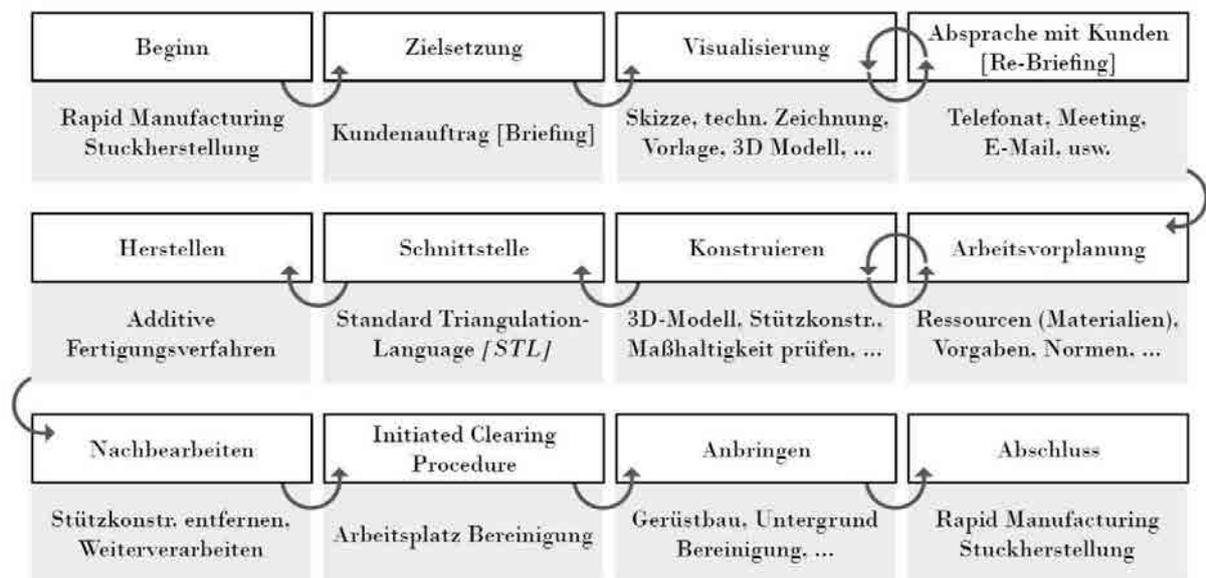


Abbildung 21 Gesamtprozesskette der Stuckherstellung durch ein inkludiertes Rapid Manufacturing

Die Arbeitsvorplanung lässt sich als planerische Herangehensweise an einen Arbeitsauftrag beschreiben. Innerhalb dieser Vorplanung werden unter anderem Ressourcen wie Materialien und verfahrensrelevante Komponenten geplant und organisiert (*siehe Kapitel: 7. „Prozesskette: Arbeitsvorplanung“*). Im darauf folgenden Schritt werden erste 3D-Konstruktionen anhand der Vorgaben und der erarbeiteten Visualisierungen, welche durch den Auftraggeber abgenommen wurden, durchgeführt. Innerhalb dieser Teilkomponente wird das 3D-Modell auf seine Maßhaltigkeit hin überprüft und technisch bedingte Stützkonstruktionen einberechnet. Innerhalb der Teilkomponente Konstruktion, kann auf die Arbeitsvorplanung zurückgegriffen werden, um beispielsweise produkt- und materialspezifische Vorgaben und Normierungen zu berücksichtigen. Nachfolgend der Fertigstellung des 3D-Modells werden die Modell-Daten entsprechend der Anforderungen schnittstellenspezifisch konvertiert, um an den Herstellungsprozess der additiven Fertigungsverfahren, übermittelt zu werden. So folgt der selektive Herstellungsprozess des additiven Fertigungsverfahrens (*siehe Kapitel: 11. Three Dimensional Printing*). Nach dem Abschließen des Fertigungsverfahrens, unter Berücksichtigung der jeweiligen Trocken- und Härtezeiten, folgt die Nachbearbeitung des gefertigten Produktes. Binnen dieses Prozesses, werden

die Stützkonstruktionen entfernt und das Produkt veredelt. Es folgt die „Initiated Clearing Procedure“. Dieser Prozess dient der Bereinigung des Arbeitsplatzes. So kann ein Folgeauftrag begonnen werden, welcher durch Restbestände der alten Produktion, nicht gefährdet wird. Die Gesamtprozesskette schließt mit dem Anbringen der Stuckelemente ab. Innerhalb dieser Teilkomponente werden unter anderem arbeitssicherheitstechnische und gerüstbautechnische Aspekte und optimierende Eigenschaften der Untergrundbeschaffenheit, welche für die fachgerechte Anbringung der Stuckelemente notwendig sind, angewandt.

17. Lerneinheiten innerhalb des Lernfeldkonzeptes

Die Lerneinheiten der additiven Fertigungsverfahren beinhalten Unterrichtseinheiten, welche auf den Ausbildungsberuf Ausbaufacharbeiter/-in im Schwerpunkt Stuckateurarbeiten (1. Stufe) und dem Ausbildungsberuf Stuckateur/in (1. Und 2. Stufe) aufbauen. Folgende Lernfelder werden durch die folgenden Lerneinheiten aufgegriffen:

Lernfeld 9	2. Ausbildungsjahr	Ziehen und Ansetzen eines Stuckprofils	80
Lernfeld 10	2. Ausbildungsjahr	Herstellen einer Wand in Trockenbauweise	80
Lernfeld 12	3. Ausbildungsjahr	Herstellen eines Antragstück	60
Lernfeld 15	3. Ausbildungsjahr	Sanieren eines Bauteils	20 ²⁵²

Innerhalb der zuvor gelisteten Ausbildungsstufen erhalten die zukünftigen Fachkräfte der additiven Fertigungsverfahren verschiedene Teilkompetenzen, innerhalb dieser sie ihr fundiertes Wissen über die theoretischen Hintergründe, beispielsweise der Funktionsweisen und die jeweiligen Vor- und Nachteile der Fertigungsverfahren, erlangen. Die Schülerinnen und Schüler sollen die additiven Fertigungsverfahren näher kennenlernen und ihr Wissen innerhalb dieser Technologien vertiefen. Des Weiteren sollen die ersten praktischen Erfahrungen im Umgang mit Rapid-Technologien gesammelt werden. Innerhalb der Lerneinheiten sollen sie eine 3D-CAD-Konstruktionssoftware, schrittweise angeleitet, in ihren Grundzügen kennenlernen und verwenden können. Die Schülerinnen und Schüler sollen selbstständig Arbeiten und das Durchführen von Arbeitsaufträgen mit der Kenntnis des nötigen Arbeitsprozesses innerhalb eines Teams erlernen und anwenden können. Sie sollen die verschiedenen Teilkomponenten der additiven Fertigungsverfahren kennenlernen, Fachbegriffe verstehen und in ihrem Umgang mit diesen verwenden können.

So werden Kompetenzen und Grundvoraussetzungen, über das jeweilige Fertigungsverfahren und seine Funktion in der Prozesskette additiver Fertigungsverfahren vermittelt. Die Schülerinnen und Schüler lernen nach Abschluss jeder Phrasierung das bewerten und reflektieren ihrer Arbeit. So werden weitere Kompetenzen und Kenntnisse in der selbstständigen Einrichtung und Bedienung von Produktionsanlagen, zur Herstellung von Erzeugnissen und die Kontrollierung und Optimierung des Produktionsprozesses mit der jeweiligen Durchführung von Mess- und Prüftätigkeiten der Qualitätssicherung und der Nachbearbeitung der Modelle mit den benötigten Werkzeugen vermittelt.

Die folgenden Lerneinheiten beginnen ab dem 2. Ausbildungsjahr und enden im 3. Ausbildungsjahr des Ausbildungsberuf Stuckateur/-in. Das 1. Ausbildungsjahr dient der Grundbildung aller Berufe des zugehörigen angegebenen Berufsfeldes Bautechnik. Ab dem 2. Ausbildungsjahr beginnt der Schwerpunkt Stukkateurarbeiten des Ausbaufacharbeiter/-in.²⁵³ Innerhalb des 2. und 3. Ausbildungsjahres können Lerneinheiten der additiven Fertigungsverfahren implementiert werden, da grundlegende Voraussetzungen bereits in der Grundbildung geschaffen sind.

²⁵² Kultusministerkonferenz: (05.02.1999), S.61

²⁵³ Vgl. Ebd.

2. Ausbildungsjahr

Dauer der Lerneinheit: 4 Wochen (je 4 Unterrichtsstunden pro Woche)
= 16 /160 Stunden für die Lernfelder 9 und 10

Die in dieser Lerneinheit zu vermittelnden Kompetenzen:

- Das Wissen innerhalb der additiven Fertigungsverfahren und ihrer Technologien vertiefen.
- Erste praktische Erfahrungen im Umgang mit 3D Druck sammeln.
- 3D-CAD-Konstruktionssoftware in ihren Grundzügen kennenlernen.
- Fachbegriffe lernen und verstehen.

Die folgenden Lerneinheiten können in das 9. Lernfeld des Ausbaufacharbeiter/-in, Schwerpunkt Stukkateurarbeiten: „Ziehen und Ansetzen eines Stuckprofils“²⁵⁴, eingebunden werden. Die Zielformulierungen für dieses Lernfeld lauten folgend: „Die Schülerinnen und Schüler entwerfen eine Decke mit umlaufendem Gesims. Sie bestimmen ein Gesimsprofil mit vier Kanten und ermitteln die Arbeitsschritte zu dessen Herstellung auf dem Ziehtisch sowie des Ansetzens an der Decke. [...]Die Schülerinnen und Schüler zeichnen die Deckenuntersicht, den Gesimsprofilschnitt und ermitteln den Baustoffbedarf.“²⁵⁵

Inhalte

Stuckgips, Gesimsprofilarten, Baustile, Mörtelzusammensetzung, Einputzen

Des Weiteren können die Lerneinheiten ebenfalls im 10. Lernfeld: „Herstellen einer Wand in Trockenbauweise“²⁵⁶ eingebunden werden. Die Zielformulierungen für dieses Lernfeld lauten folgend: „Die Schülerinnen und Schüler fertigen unter Verwendung von Produktinformationen Ausführungs- und Detailzeichnungen an. [...] Auf der Basis zeichnerischer und planerischer Vorgaben werden Mengenermittlungen durchgeführt.“²⁵⁷

Inhalte

Gipsbaustoffe, Einbauteile, Aufmaß, Abrechnung

Anmerkung

Die jeweils definierten Kompetenzen und die vorliegenden Lerneinheiten können innerhalb der vorgestellten Lernfelder behandelt und durchgeführt werden.

²⁵⁴ Kultusministerkonferenz: (25.03.2004), S. 9

²⁵⁵ Kultusministerkonferenz: (25.03.2004), S.10

²⁵⁶ Ebd.

²⁵⁷ Kultusministerkonferenz: (25.03.2004), S.10

1. WOCHE

- **Einstieg | 35 Minuten**

Es wird ein Stuckelement präsentiert, welches mit einem additiven Fertigungsverfahren gefertigt wurde. Mögliche Fragen an die Schülerinnen und Schüler könnten folgend lauten: „Was meint ihr, wie ist dieses Stuckelement gefertigt worden?“ [...] „Könntet ihr euch vorstellen, dass dieses Teilelement in einem Arbeitsprozess gefertigt wurde?“

Ziel: Die Schülerinnen und Schüler sollen ihr vorhandenes Wissen im Bereich der Fertigung klarlegen, um durch sukzessive Elaboration auf den 3D Druck zu gelangen.

- **Erarbeitung | 95 Minuten**

Aufgaben [Gruppen je max. 4 Personen]

1. Was ist 3D Druck? – Kleine Einführung in die Rapid-Technologien.
2. Was sind die verschiedenen Verfahren der Rapid-Technologien?
3. Wie funktioniert das Three Dimensional Printing [3DP]?
4. Praktische Aufgabe [Einzelarbeit]: Die Schülerinnen und Schüler erhalten ein Aufgabenblatt, innerhalb diesem sie eine vereinfachte Schachfigur [Turm] mit Hilfe einer schrittweisen Anleitung innerhalb der CAD-Konstruktionssoftware SolidWorks modellieren sollen.
5. Skizzieren eines Bauelementes in seinen verschiedenen Ansichten.
6. Die Schülerinnen und Schüler planen die erforderlichen Arbeitsschritte und Werkzeuge. Sie nutzen hierbei das vorhandene Wissen über die zielführenden Meilensteine des Arbeitsprozesses, welche mit dem Lernprozess der vollständigen Handlung verbunden sind.

- **Sicherung | 50 Minuten**

1. Die oben aufgeführten Aufgaben werden beantwortet. Dabei sollen die Schülerinnen und Schüler die Ergebnisse zu den Aufgaben selbstständig innerhalb der Klassengemeinschaft vorstellen. Die Lehrkraft wirkt hierbei unterstützend und ergänzend.
2. Die Schülerinnen und Schüler sollen ihre Ergebnisse und die Arbeitsschritte und die Werkzeuge, welche sie verwendet haben, vorstellen. Anschließend wird der 3D Drucker durch die zuständige Lehrkraft vorgestellt. Das Prinzip des Three Dimensional Printing [3DP] wird erklärt. Die Lehrkraft startet den 3D Drucker und erklärt die jeweiligen Einstellungen des additiven Fertigungsverfahrens. Der 3D Drucker generiert schichtweise eine Schachfigur: den Turm.

- **Insgesamt: 2 x 45 Minuten = 2 Unterrichtsstunden**

2. WOCHE

- **Einstieg | 35 Minuten**

Die Schülerinnen und Schüler sollen die letzte Unterrichtsstunde reflektieren. Sie sollen den anderen Teilnehmern die vergangene Lerneinheit reflektieren. Vereinzelt Schülerinnen und Schüler sollen versuchen, das Three Dimensional Printing [3DP] Verfahren eigenständig zu erklären.

- **Erarbeitung | 95 Minuten**

Aufgaben [Gruppen je max. 4 Personen]

1. Was ist ein STL-Format?
2. Was ist ein CAD-Programm?
3. Was sind NURBS?
4. Praktische Aufgabe [Einzelarbeit]: Informieren Sie sich über die fünf Abschnitte [Teilprozesse] der Produktentwicklung und beachten Sie die fünf Teilprozesse in ihrer Planung.
 - a.) Kundenauftrag
 - b.) Ideen
 - c.) Planen
 - d.) Konzipieren
 - e.) Konstruieren
 - f.) Ausarbeiten
 - g.) Herstellen
5. Praktische Aufgabe [Einzelarbeit]: Die Schülerinnen und Schüler erhalten ein Aufgabenblatt, innerhalb dieses sie eine Schachfigur [Springer] mit Hilfe einer schrittweisen Anleitung in der CAD-Konstruktionssoftware SolidWorks modellieren sollen.
6. Skizzieren eines Bauelementes in seinen verschiedenen Ansichten.
7. Die Schülerinnen und Schüler planen die erforderlichen Arbeitsschritte und Werkzeuge. Sie nutzen das vorhandene Wissen über die zielführenden Meilensteine des Arbeitsprozesses, welche mit dem Lernprozess der vollständigen Handlung verbunden sind.

- **Sicherung | 50 Minuten**

1. Die von der Lehrkraft gestellten Aufgaben werden durch die Gruppen beantwortet. Dabei sollen die Gruppen die Antworten zu den Aufgaben selbstständig erläutern. Die Lehrkraft wirkt hier unterstützend.
2. Anschließend wird eine der Schachfiguren, welche die Gruppen erstellt haben, umgesetzt. Hierzu bittet die Lehrkraft dieses Mal die Schülerinnen und Schüler zum 3D Drucker, um die Einstellungen von der letzten Unterrichtseinheit letzten zu erläutern, damit die Schachfigur, welche sich als ein Datenvolumen auf einem Stick befindet, zu einem physikalischen Gebilde gefertigt werden kann.

- **Insgesamt: 2 x 45 Minuten = 2 Unterrichtsstunden**

3. und 4. WOCHE

- **Einstieg | 45 Minuten**

Die Schülerinnen und Schülern erhalten einen Kundenauftrag, innerhalb diesem sie ein Projekt realisieren sollen. Es soll ein Produkt hergestellt werden, welches sich in der Residenz Würzburg, innerhalb der Hofkirche befindet. Bei dem Produkt handelt es sich um Elemente der stuckierten Raumschale. Das Endprodukt soll durch den Fertigungsprozess des Rapid Manufacturing [*schnelle Produktion*] gefertigt werden.

Kundenauftrag

Ihr Unternehmen hat einen Arbeitsauftrag der Stadt Würzburg erhalten, für diese Sie arbeiten in der Residenz Würzburg, spezifischer der Hofkirche durchführen sollen. Die Residenz Würzburg wurde 1981 von der UNESCO auf die Liste des Weltkulturerbes aufgenommen. Wobei die Hofkirche als einer der „vollkommensten Sakralbauten des 18. Jahrhunderts in Deutschland“²⁵⁸ bezeichnet wird. Die Kirche erlitt im Zweiten Weltkrieg schwere Schäden, wobei der gesamte Komplex Witterungseinflüssen unterlegen war.

„Im Jahr 1999 lösten sich größere Brocken aus der stuckierten Raumschale und stürzten zu Boden. Zum Schutz der zahlreichen Besucher der Hofkirche musste ein Sicherheitsnetz unter das Gewölbe gespannt werden. [...] Das durch extreme jahreszeitlichen Klimawechsel aktivierte bauschädliche Salz Magnesiumsulfat - ein erheblicher Anteil wurde über Ergänzungsmaterialien eingebracht -, sprengte durch Volumenvergrößerung Stuck, Vergoldungen und Marmorierungen und zerstörte somit die Raumschale.“²⁵⁹

Ihr Team entschied, sich Gedanken über mögliche Lösungsvarianten zu machen, um die zerstörten in Auftrag gegebenen Stuckelemente originalgetreu zu reproduzieren. Hierzu entschloss sich Ihr Team die Reproduzierung der irreparablen Schäden mit dem Einsatz der Rapid-Technologien, dem Three Dimensional Printing [*3DP*] zu lösen.



Abbildung 22 | Residenz Würzburg

²⁵⁸ Residenz Würzburg; (24.10.2014)

²⁵⁹ Ebd.

Restaurierende Stuckelemente

Die zu reproduzierenden Elemente werden Ihnen für die Erfassung mittels 3D-Scanner zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich bei den zu reproduzierenden Elementen um ein Stuck-Medaillon, welches im Maßstab 1:1, mit Hilfe eines 3D-Scanners reproduziert werden soll. Bei der Reproduktion sollen die entsprechenden fehlerhaften Stellen behoben und virtuell ausgebessert werden. Des Weiteren sollen zerstörte Stuckornamentelemente, welche fotografisch dokumentiert wurden, mittels CAD-Konstruktionssoftware rekonstruiert und durch den Einsatz generativer Fertigungsverfahren generiert werden.

- **Erarbeitung | 6x 45 Minuten**
Aufgaben [*Gruppen je max. 4 Personen*]

Informieren

Informieren Sie sich über die Bestandteile des Arbeitsauftrages. Hierzu gehören Informationen zum Restaurierungsgegenstand, die Beschaffenheit der Stuckelemente, die fehlerhaften Stellen am Gegenstand selbst, Lage, Position und Maße der Stuckelemente. Des Weiteren sorgen Sie dafür, dass Sie das Fotomaterial für die Rekonstruktion durch ihre Lehrkraft erhalten. Führen Sie einen 3D-Scann des Stuck-Medaillons durch, damit Sie die digitalen Daten für das Weiterverarbeiten mittels 3D-CAD-Konstruktionssoftware SolidWorks zur Verfügung haben.

Planen

Planen Sie gemeinsam mit Ihrem Team mittels Arbeitsablaufs-Flussdiagramm (Gantt-Diagramm) die Herangehensweise an Ihren Arbeitsauftrag. Erstellen Sie ein Übersichtsplakat Ihrer Herangehensweise in digitaler sowie analoger Variante, hängen Sie dieses für Ihr Team einsehbar auf. Reflektieren Sie ihre Herangehensweise, um mögliche Fehler, vor der Durchführung ihres Arbeitsauftrages aufzudecken.

Durchführen

Aufgabe 1: Erfassen Sie die zu reproduzierenden Elemente gemeinsam mit Ihrem Team mit Hilfe eines 3D-Scanners. Erfassen Sie das Stuck-Medaillon im Maßstab 1:1 und beheben Sie gemeinsam mit Ihrem Team die fehlerhaften Teilelemente des dreidimensional erfassten Stuck-Medaillons. Nachfolgend einer Bearbeitung wird das Datenmodell auf eine spezifische Schnittstelle [*STL*] an eine auf additiven Fertigungsverfahren basierende Vorrichtung [*Output*] transferiert. Weitere Instruktionen, welche die manuelle Weiterbearbeitung des Stuck-Medaillons betreffen, erhalten Sie beim Generieren des Stuck-Medaillons von Ihrer Lehrkraft persönlich.

Aufgabe 2: Die zerstörten Stuckornamentelemente, welche fotografisch dokumentiert wurden, sollen mittels 3D-CAD-Konstruktionssoftware rekonstruiert und durch den Einsatz generativer Fertigungsverfahren generiert werden. Hierzu machen Sie sich jeweils in Einzelarbeit Gedanken, wie Sie diese Aufgabe lösen können.

Grundvoraussetzungen für das Fertigen des zerstörten Stuckornamentelementes ist das Wissen über das jeweilige Fertigungsverfahren des Three Dimensional Printing [*3DP*], seine Funktion in der Prozesskette additiver Fertigungsverfahren und die bereits behandelten fünf Abschnitte [*Teilprozesse*] der Produktentwicklung.

Erstellen Sie jeweils eine grobe Skizze ihrer Ideen, welche an den dokumentierten Fotos des zerstörten Stuckornamentelements angelehnt sind. Nachdem Sie jeweils eine Idee [*Herangehensweise*] grob skizziert haben, entscheiden Sie sich für eine von vier möglichen Herangehensweisen aus Ihrem Team und erstellen hierzu eine detaillierte Feinskizze.

Stellen Sie Ihre Ideen räumlich in ihren verschiedenen Gesichtspunkten [*Ansichten*] dar. Überprüfen Sie ihre Ideen unter dem kritischen Blickwinkel der Zeit, Qualität und Ökonomie.

Aufgabe 3: Informieren Sie sich bei ihrer Lehrkraft über Gipspulverbasiswerkstoffe. Sie erhalten Informationen über die Beschaffenheit, Handhabung und den Aggregatzustand [*Abbindeverhalten*] der Gipspulverbasiswerkstoffe. Dieses Wissen benötigen Sie bei der späteren Umsetzung durch das Fertigungsverfahren des Three Dimensional Printing [*3DP*].

Aufgabe 4: Setzen Sie ihre detailliert ausgearbeitete Feinskizze gemeinsam mit ihrem Team in ein virtuelles 3D CAD Datenmodell um. Das Datenmodell soll gegen Abschluss des Arbeitsauftrags ein physikalischer Prototyp werden. Anhand des Prototypen, werden Sie Testverfahren durchführen, innerhalb dieser die Form, Passung und Funktion ihrer Modells überprüft wird. Beachten Sie, dass die Modell-Daten entsprechend der Anforderungen schnittstellenspezifisch konvertiert und an die Produktion bzw. Prototypen-Fertigung übermittelt werden müssen.

Anmerkung: Dokumentieren Sie Ihre Herangehensweise, machen Sie sich Notizen zu Ihrer Planung und sammeln Sie Ihre Ideen in einer gemeinsamen Projektmappe.

- **Sicherung | 45 Minuten**

Kontrollieren

Kontrollieren Sie, ob Sie den Kundenauftrag [*Briefing*] sachgerecht durchgeführt haben. Gehen Sie gemeinsam mit Ihrem Team alle Punkte Ihrer Planung und die des Arbeitsauftrags durch.

Reflektieren

Reflektieren Sie Ihre Herangehensweise unter einem kritischen Blickwinkel der Zeit, Qualität, Ökonomie und listen Sie die jeweiligen Vor- und Nachteile auf einem Übersichtsplakat auf.

Synthetisieren

Synthetisieren Sie die in der Reflektion erfolgte Vor- und Nachteilsliste und versuchen Sie gemeinsam mit ihrem Team Verbesserungen für die kommenden Projekteinheiten zu finden. Evaluieren Sie diese, indem Sie ihre Planung entsprechend korrigieren.

- **Insgesamt: 4 x 45 Minuten = 4 Unterrichtsstunden**

3. Ausbildungsjahr

Dauer der Lerneinheit: 1 Woche (je 4 Unterrichtsstunden pro Woche)
= 4/160 Stunden für die Lernfelder 12 und 15

Die in dieser Lerneinheit zu vermittelnden Kompetenzen:

- Kenntnisse in der selbstständigen Einrichtung und Bedienung von Produktionsanlagen zur Herstellung von Erzeugnissen.
- Teamfähigkeit: Realisation von Kundenaufträgen im Team.
- Kenntnisse über die Funktion in der Prozesskette additiver Fertigungsverfahren verstehen.
- Durchführung von Mess- und Prüftätigkeiten der Qualitätssicherung und der Nachbearbeitung der Modelle mit den benötigten Werkzeugen vermittelt.
- Bewerten und Reflektieren des Arbeitsprozesses.
- 3D-CAD-Konstruktionssoftware in ihren Grundzügen vertiefen.
- Fachbegriffe verstehen und in ihrem Umgang mit diesen verwenden können.

Die vorliegende Lerneinheit kann in das 12. Lernfeld des 3. Ausbildungsjahres: „Herstellen von Antragsstück“²⁶⁰ eingebunden werden. Die Zielformulierungen für dieses Lernfeld lauten folgend: „Die Schülerinnen und Schüler erstellen einen Plan zur Gestaltung eines Wandspiegels. Sie entwerfen Profile und legen die Arbeitsschritte für das Ziehen vor Ort fest. Sie planen eine auf die Stuckumrahmung abgestimmte farbige Spiegelrückwand. Sie zeichnen die Ansicht und Schnitte und beurteilen das Ergebnis unter gestalterischen Aspekten.“²⁶¹

Inhalte

Stuckprofile, Modellierung, Baugeschichte

Des Weiteren können die Lerneinheiten ebenfalls im 15. Lernfeld: „Sanieren eines Bauteils“²⁶² eingebunden werden. Die Zielformulierungen für dieses Lernfeld lauten folgend: „Sie beschreiben den Arbeitsablauf der Untersuchung und erkennen die Wechselwirkung von Ursachen und Schäden. [...] Die Schülerinnen und Schüler wählen Maßnahmen zur Sicherung, Ergänzung und Aufarbeitung der Bausubstanz. [...] Sie bestimmen Werkzeuge und Geräte für die Ausführung, erstellen eine zeichnerische Dokumentation und fertigen Schnitte und Ansichten des Bauteiles an.“²⁶³

Inhalte

Sanierputz, Oberflächenbehandlung

Anmerkung

Die jeweils definierten Kompetenzen und die vorliegenden Lerneinheiten können innerhalb der vorgestellten Lernfelder behandelt und durchgeführt werden.

²⁶⁰ Kultusministerkonferenz: (25.03.2004), S.18

²⁶¹ Ebd.

²⁶² Ebd.

²⁶³ Kultusministerkonferenz: (25.03.2004), S.10

1. WOCHE

- **Einstieg | 45 Minuten**

Die Schülerinnen und Schülern erhalten einen Kundenauftrag, innerhalb diesem sie ein Projekt realisieren sollen. Bei dem Produkt handelt es sich um eine individuelle Stuckrosette, welche die Raumschale des Eingangsbereichs der Neugotischen Martinikirche schmücken soll. Das Endprodukt soll durch den Fertigungsprozess des Rapid Manufacturing [*schnelle Produktion*] gefertigt werden. Die Schülerinnen und Schüler sollen eigenständig den Lernprozess planen, ihre Ziele setzen, kennen und einen Zeit- und Arbeitsplan erstellen. Des Weiteren sollen die Schülerinnen und Schüler ihre Ideen in Solid Works realisieren und den Teilnehmern der Lerneinheit vorstellen. Gegen Abschluss des Kundenauftrags, soll aus dem virtuellen Modell ein physikalisches Produkt generiert werden.

Kundenauftrag

Ihr Unternehmen hat einen Arbeitsauftrag vom Unternehmen „Glück und Seligkeit“ erhalten. Sie sollen eine individuelle Stuckrosette, welche die Raumschale des Eingangsbereichs der Neugotischen Martinikirche schmücken soll, gestalten. Der Auftraggeber, wollte sich von der traditionellen Kirche lösen und der Moderne ein Stück entgegenkommen. Er entschied sich, Sie für den Entwurf und die Realisation der Stuckrosette in Auftrag zu nehmen. Sie haben bei der Gestaltung der Stuckrosette kreative Freiheit. Hierzu besteht die Vorgabe des Unternehmens, dass die Umsetzung durch das Fertigungsverfahren des Three Dimensional Printing [*3DP*] erfolgen soll.

- **Erarbeitung | 3x 45 Minuten**

Aufgaben [*Gruppen je max. 4 Personen*]

Informieren

Informieren Sie sich über die Bestandteile des Arbeitsauftrages. Erkundigen Sie sich in den beigelegten Unterlagen des Auftraggebers über messtechnische Angaben.

Planen

Planen Sie mittels Arbeitsablaufs-Flussdiagramm [*Gantt-Diagramm*], die Herangehensweise an Ihren Arbeitsauftrag. Erstellen Sie ein Übersichtsblatt in digitaler sowie analoger Variante. Reflektieren Sie ihre Herangehensweise, um mögliche Fehler vor der Durchführung ihres Arbeitsauftrages aufzudecken.

Verschriftlichen Sie Ihre Produktionsschritte von der Skizze zum fertigen Endprodukt und erstellen Sie Meilensteine und Produktionsschritte.

Durchführen

Aufgabe 1: Sammeln Sie Ideen für den Entwurf einer Stuckrosette. Erstellen Sie hierzu mehrere Skizzen, nutzen Sie Ihr Wissen der verschiedenen Perspektiven und Blickwinkel. Sie können hierzu die Kreativitätstechnik des Brainstormings nutzen.

Aufgabe 2: Entscheiden Sie sich für eine Idee und modellieren Sie diese innerhalb der CAD Software Solid Works.

Aufgabe 3: Nachfolgend einer Bearbeitung wird das Datenmodell auf eine spezifische Schnittstelle [STL] an eine auf additiven Fertigungsverfahren basierende Vorrichtung [Output] transferiert. Beachten Sie, dass die Modell-Daten entsprechend der Anforderungen, Schnittstellen und Fertigungsverfahren spezifisch konvertiert und an die Produktion bzw. Prototypen Fertigung übermittelt werden müssen.

Aufgabe 4: Nutzen Sie ihr Wissen über die Gipspulverbasiswerkstoffe. Wenden Sie ihr Wissen über die Beschaffenheit, Handhabung und den Aggregatzustand der Gipspulverbasiswerkstoffe an.

Aufgabe 5: Setzen Sie ihr virtuelles 3D-Datenmodell, mit Hilfe des Three Dimensional Printing Verfahrens um.

Aufgabe 6: Führen Sie mit der generierten Stuckrosette Testverfahren durch, innerhalb derer Sie die Form, Passung und Funktion ihrer Modells überprüfen müssen.

- **Sicherung | 45 Minuten**

1. Reflektieren Sie Ihre Herangehensweise unter einem kritischen Blickwinkel und führen Sie innerhalb der Konstruktion in Solid Works Mess- und Prüftätigkeiten [Qualitätssicherung] durch.

- **Insgesamt: 5 x 45 Minuten = 5 Unterrichtsstunden**

18. Zusammenfassung

Infolge des demografischen Wandels verstärkt sich der Bedarf an Arbeitskräften.²⁶⁴ Die Marktsituation fordert stets nach innovativen Produkten in einer immer kürzeren Fertigungszeit [*Ökonomisierung*].²⁶⁵ Somit sind Kenntnisse in Bezug auf die Anforderungen und Bedingungen einer Prozesskette bis hin zur Fertigung eines Endproduktes notwendig. So besteht ein Bedarf an Fachkräften, welche die nötigen Schlüsselqualifikationen und Fachkompetenzen besitzen. Aufgrund der steigenden Entwicklung und Anwendung von additiven Fertigungsverfahren und den zugehörigen Rapid-Technologien erhält diese innovative Technologie innerhalb der betrieblichen Strukturen und im schulischen Kontext eine ansteigende Bedeutung.²⁶⁶ Der in diesem Bezug verbundene Bedarf an Fachkräften führt innerhalb der beruflichen Bildung langfristig zu einer Umstrukturierung und einem Angleichen der Lerneinheiten an diese Technologien. Es ist unter anderem die Aufgabe der beruflichen Bildung, den Unternehmen einen qualifizierten Fachkräftenachwuchs zu sichern.²⁶⁷ So führte die Herangehensweise der strukturellen Form dieser Arbeit hin zur Implementierung des Einsatzgebietes Rapid Manufacturing in den schulischen Kontext.

Dahingehend lag der Fokus dieser Arbeit auf der Berufsausbildung des Stuckateurs/-in, welche beispielhaft für die Implementierung der innovativen Rapid-Technologien ist. Der Tätigkeitsbereich des Stuckateur-Handwerks mit den verbundenen Teilprozessen einer Fertigung, unterlag bisweilen kaum Veränderungen, somit waren innerhalb dieses Tätigkeitsfeldes traditionelle Herstellungsweisen des Stuckhandwerks beständig.²⁶⁸ Dies gab den Anlass, innerhalb dieser Arbeit vorab das Tätigkeitsfeld des traditionellen Stuckateurs/-in zu analysieren und die jeweiligen Prozessketten der Fertigung von der Arbeitsvorplanung über die individuellen Fertigungsverfahren der Stuckformen, Gesimseprofilen und Blechschablonen bis hin zur Anbringung von Stuckelementen durchzudringen, um Möglichkeiten einer Implementierung innerhalb der traditionellen Fertigungsverfahren zu gewährleisten. Somit wurden Voraussetzungen für fachspezifische Fachkräfte des Rapid Manufacturing geschaffen, welche die notwendigen Schlüsselkompetenzen in Bezug auf diese Technologien besitzen.

Für die Realisierung von Produkten innerhalb eines Fertigungsprozesses des Rapid Manufacturing bedarf es der notwendigen Voraussetzung auf Basis von rechnerinternen, dreidimensionalen Datenmodellen.²⁶⁹ Bedeutsam ist hier ein de facto effektives dreidimensionales Vorstellungsvermögen für das Verständnis der Datenhandhabung. Ein wesentlicher Vorteil von Rapid Manufacturing ist es, dass es keiner zusätzlichen Instrumente binnen einer Prozesskette bedarf. Somit sind Montage- und Prozessparameter innerhalb eines „*production process*“ nicht erforderlich. Dahingehend können Bauteile mit komplexen geometrischen Formen und hohen Details in einer kürzeren Zeit generiert werden.²⁷⁰ Durch die Berücksichtigung der Vorteile, welche sich durch die Zeit-, Kosten- und Qualität innerhalb der Rapid-Technologien ergeben, werden diese Teilkomponenten für die Betriebe stetig attraktiver.²⁷¹ Die frühe Ergebnisrückmeldung der realisierten Produkte wirkt sich ebenfalls vorteilhaft auf eine an diese gekoppelte Qualitätssicherung aus.²⁷²

²⁶⁴ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: (2013), S. 116 ff.

²⁶⁵ Vgl. Brecher, Christian: (2011), S. 468

²⁶⁶ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: (2013), S. 116 ff.

²⁶⁷ Vgl. Kultusministerkonferenz: (23.10.1998), S.1

²⁶⁸ Vgl. Tabelle 1: Ausbildungsberuf Stuckateur/-in

²⁶⁹ Vgl. Fastermann, Petra: (2013), S.5

²⁷⁰ Vgl. Thum, Martin: (2011), S. 35

²⁷¹ Vgl. Bergmann, Garrecht: (2008), S.228

²⁷² Vgl. Brecher, Christian: (2011), S. 468

Zudem ergeben sich Anpassungsmöglichkeiten an die unterschiedlichen Marktbedingungen und die individuellen Bedürfnisse der „group of customers“ mit der Gewährleistung einer abgestimmten Serienfertigungsqualität.²⁷³

Anhand einer beispielhaften Lerneinheit, welche in Form einer Projekteinheit in den Unterricht des Berufsfeldes Bautechnik integriert wird, sollen Schülerinnen und Schüler ihre Kompetenzen mit dem Three Dimensional Printing [3DP] Verfahren erweitern, um somit ihr Wissen für den Umgang mit additiven Fertigungsverfahren zu stärken. Innerhalb dieser Lerneinheit soll die Lerngruppe handlungsorientierten Unterricht erfahren, in dem sie Werkstoffe auf Gipspulverbasis, mit dem Einsatzgebiet des jeweiligen additiven Fertigungsverfahrens verarbeitet. Durch die gesammelten Erfahrungswerte kennen, vernetzen und entwickeln die Schülerinnen und Schüler ihr Wissen im Bereich der Rapid Manufacturing und fertigen durch diesen Produktionsprozess ein Endprodukt. So können die Schülerinnen und Schüler anwendungsbezogen einen realitätsnahen Kundenauftrag realisieren. So besteht die Bedeutsamkeit dieser Lerneinheit in der Vermittlung der Produktionskette und der implementierten Phrasierung, die sich in ihrer Grundlage als vollständige Handlung definiert.

Technologisches Wissen in Bezug auf Teilkomponenten und deren Funktionen kann innerhalb der Lerneinheiten vermittelt werden. So ergab sich die Erkenntnis, dass Ressourcen und Lagerkosten aufgrund von bedarfsdeckender Serienfertigung [On-Demand] eingespart werden können. Somit kann ein neues Produkt im Sinne der NPD [new product development] auf den Markt gebracht werden. Anhand der vermittelten Lerneinheit können technische Kenntnisse in der selbstständigen Einrichtung und Bedienung eines 3D Druckers und der Herstellung von Erzeugnissen, mit der Kontrollierung und Optimierung des Produktionsprozesses mit der jeweiligen Durchführung von Mess- und Prüftätigkeiten [Qualitätssicherung] und der Nachbearbeitung der Modelle [Pre-Processing] mit den jeweiligen notwendigen Werkzeugen vermittelt werden. Darüber hinaus kommen metakognitive Anforderungen an die Lernumgebung hinzu. Die Schülerinnen und Schüler sollen innerhalb der Lerneinheiten den Lernprozess planen, ihre Ziele setzen und kennen und einen Zeit- und Arbeitsplan erstellen. Hierzu gehört das Durchführen und Überwachen der einzelnen Produktionsschritte, von der Skizze zum fertigen Endprodukt.

Anhand der vermittelten Kompetenzen erhalten die zukünftigen Fachkräfte eine Klarheit über die Anforderungen der Fertigung und die entsprechenden zeitwirtschaftlichen, materialwirtschaftlichen und kostenkontrollierenden Aspekte. Durch die Förderung der drei psychologischen Grundbedürfnisse nach der Selbstbestimmungstheorie der Motivation in den Teilbereichen der Autonomie, sozialen Eingebundenheit und Fachkompetenz sollen innerhalb einer Lerneinheit die Problemlösefähigkeiten gestärkt und selbstständiges Lernen gefördert werden. Außerdem soll die Förderung von reflektiertem und verantwortungsbewusstem Handeln, sowie von Kommunikationsfähigkeiten, welche zu einer gemeinsamen Zusammenarbeit hinführen, unterstützt werden. Aufgrund der ständigen Weiterentwicklung der additiven Fertigungsverfahren bedarf es einer ständigen Weiterbildung der Lehrkraft nach dem Prinzip des lebenslangen Lernens. Die Tätigkeit der Lehrkraft besteht innerhalb der Lerneinheiten aus dem Anleiten der Schülerinnen und Schüler. Die Lehrkraft ist innerhalb dieser Lerneinheiten als Coach oder Trainer tätig. Neben den zu vermittelnden Kompetenzen und Schlüsselkompetenzen kommen ökonomische Anforderungen an eine Lerneinheit hinzu. Kalkulationen im Sinne einer Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung spielen in der Umsetzung von Lerneinheiten eine erhebliche Rolle.²⁷⁴ So muss eine institutionelle Einrichtung, wie die eines Berufskollegs, bereits vor der Durchführung einer Lerneinheit eine ungefähre Prognose der Kosten erhalten und diese der entsprechenden Behörde übermitteln, um beispielsweise Fördergelder für die Realisierung und Beschaffung von

²⁷³ Vgl. Brecher, Christian: (2011), S. 468

²⁷⁴ Ministerium für Arbeit, Integration und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen: (20.03.2014), ESF-Förderrichtlinie

notwendigen Ressourcen in Bezug auf eine Lerneinheit zu erhalten.²⁷⁵ Anhand der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung innerhalb dieser Arbeit ließ sich erkennen, dass der größte Kostenfaktor einer Lerneinheit die Anschaffungskosten eines fähigen Gerätes für die additiven Fertigungsverfahren ist.

So lässt sich der hypothesengeleitete Gegenstand dieser Arbeit folgendermaßen beantworten: Die Implementierung der additiven Fertigungsverfahren mit dem Einsatzgebiet des Rapid Manufacturing in den schulischen Kontext kann bedarfsdeckend innerhalb sequenzieller Lerneinheiten in die Berufsausbildung des Stuckateurs/-in und weiteren Berufsausbildungen erfolgen und durch die Implementierung innovativer Rapid-Technologien in die Gesamtprozesskette erfolgen. Somit kann das nötige Fachwissen, die Kompetenzen und Schlüsselqualifikationen, welche für das Verständnis und die Bedienung von Rapid-Technologien nötig sind, vermittelt werden. Somit kann der ansteigende Bedarf an zukünftigen qualifizierten Fachkräften für den 3D Markt gesichert werden. Eine gesicherte curriculare Implementierung jedoch hängt von den verantwortlichen Koordinatoren der Kultusministerkonferenz ab.

²⁷⁵ Ministerium für Arbeit, Integration und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen: (20.03.2014), ESF-Förderrichtlinie

19. Ausblick

Innerhalb der vorliegenden Arbeit wurde verdeutlicht, dass Rapid-Technologien innerhalb der Fertigungs- und Prototypenentwicklung stetig interessanter werden, da diese mit wesentlichen Vorteilen behaftet sind, welche sich unter anderem durch schnelle Ergebnisrückmeldungen und ökonomische Aspekten der Ressourcenersparnis auszeichnen. So resultieren daraus schnelle Anpassungsmöglichkeiten an die unterschiedlichen, sich verändernden Marktbedingungen. So prognostizierte die Wohlers Associates (Firmensitz: Fort Collins, Colorado, USA) ein globales Wachstum des Rapid Manufacturing Bereichs. So erwartet diese einen globalen Umsatz von ca. 6 Mrd. USD bis zum Jahr 2017.²⁷⁶ Durch den verstärkten Anwendungsbezug der Rapid-Technologien innerhalb individueller Berufsfelder bedarf es Fachkräfte für den 3D-Markt. Diesen werden Grundvoraussetzungen wie Kenntnisse und Schlüsselqualifikationen in Bezug auf die jeweiligen Technologien und den zugehörigen Komponenten abverlangt. So verdeutlichen sich individuelle Weiterbildungsmöglichkeiten innerhalb der Produktsimulation, wie beispielsweise der Belastungssimulation. Eine nachhaltige Entwicklung der generativen Fertigungsverfahren, könnte sich durch die Implementierung in individuelle Berufsfelder auszeichnen. So verwenden heute bereits Zahntechniker, Gold- und Silberschmiede individuelle Rapid-Technologien für die Realisation von Endprodukten. So könnten unter anderem, Metallbauer, Metallbildner und Graveure von der Implementierung der additiven Fertigungsverfahren, innerhalb ihrer curricularen Strukturen profitieren.

Wie werden sich die Technologien des 3D-Drucks weiterentwickeln?

In welchen Anwendungsbereichen werden wir diese in naher Zukunft finden?

Innovative Möglichkeiten könnten sich anhand der generativen Fertigungsverfahren innerhalb des Berufsfelds der Maler und Lackierer ergeben. So könnten dreidimensionale Oberflächenstrukturen vollflächig generiert werden, um beispielsweise die Haptik von Materialien an Wänden zu simulieren. Somit wären neuartige Hybride aus Gipsstrukturen und Tapeten möglich, welche neue Möglichkeiten der Innenraumgestaltung ermöglichen.

Innerhalb der Design- sowie Möbelindustrie könnten dreidimensionale Erzeugnisse den Möbelhäusern Konkurrenz machen; so können geschickte Designer ihrer Kreativität freien Lauf lassen und Produkte virtuell am Personal Computer konstruieren. Die Modelldaten könnten für alle frei zugänglich gemacht [*Open Source*] oder für kleines Geld verkauft werden. Somit kann jeder, der Interesse an einem Produkt verspürt, die Modelldaten beschaffen und sich das Produkt, mit nur einem Klick herunterladen und generieren. Hochpreisige Designmöbel mit außergewöhnlichen Funktionen wären somit nur für den Preis der Material- und Stromkosten erhältlich. Lagerkosten wären somit Vergangenheit. Ein 24 Stunden Verkauf über eine online Plattform wäre somit möglich.²⁷⁷ „Ein 3D-gedrucktes Hüftgelenk wiegt gerade einmal 200 Gramm.“²⁷⁸ So sind Implantate aus einem generativen Fertigungsverfahren bereits heute eine gängige Praxis. „So gibt es Titan-Implantate mit Eigenschaften, die denen von Knochen gleichen.“²⁷⁹ Die Gitterstrukturen der generierten medizinischen Modelle ermöglichen, dass Knochen innerhalb der Prothesen hineinwachsen, und somit stärker der Abstoßreaktion des Körpers entgegenwirken. Eine alternative Möglichkeit sind hierbei biokompatible Kunststoffe. Diese weisen ähnliche Materialeigenschaften auf wie reale Knochen und sie stellen sich auf Röntgenaufnahmen neutral dar.²⁸⁰ Weitere Anwendungsmöglichkeiten werden durch die

²⁷⁶ Vgl. The Future of 3D Printing With Terry Wohlers: (09.09.2013)

²⁷⁷ Vgl. Fastermann, Petra: (2013), S.93

²⁷⁸ Vgl. Fastermann, Petra: (2013), S.96

²⁷⁹ Ebd.

²⁸⁰ Ebd.

European Space Agency (ESA) erarbeitet. Die Möglichkeit der generativen Fertigungsverfahren bietet neue Möglichkeiten innerhalb der Raumfahrt und dem Bau neuer Raumstationen, beispielsweise auf dem Mond. So ist eine Mondstation geplant, welche die vorhandenen Materialien auf dem Mond nutzt, um ein Gebäude zu generieren. So sind jetzt bereits Prototypen von Wänden für eine Raumstation erforscht worden.²⁸¹ „Diese Wände wehren Mikrometeoriten und Weltraumstrahlung ab.“²⁸² So bietet der Bereich der generativen Fertigungsverfahren neue Möglichkeiten innerhalb individueller Berufsfelder und Themenbereiche. Durch den gezielten Einsatz der innovativen Rapid-Technologien, können Unternehmen unter ökonomischen, sozialen und ökologischen Aspekten nachhaltig handeln und Produkte zielsicher fertigen.

²⁸¹ Vgl. Fastermann, Petra: (2013), S.122

²⁸² Fastermann, Petra: (2013), S.122

20. Literaturverzeichnis

- Bader, Reinhard:** (2004), Unterrichtsgestaltung nach dem Lernfeldkonzept, Bertelsmann Verlag, Bielefeld
- Baumgartner; Payr:** (1997), Erfinden lernen, In: Konstruktivismus und Kognitionswissenschaft. Kulturelle Wurzeln und Ergebnisse, Springer, Wien
- Bergmann, Rainer; Garrecht, Martin:** (2007), Organisation und Projektmanagement, Physica-Verlag, Heidelberg
- Bertsche, Bernd; Bullinger, Hans-Jörg:** (2007), Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte - Rapid Prototyping, Springer Verlag, Berlin
- Binder, Schaumann, Haas Läßle:** (1985), Stukkateur Handbuch, Verlag Th. Schäfer Hannover
- Böge, Alfred:** (2007), Vieweg Handbuch Maschinenbau in Kapitel 4 Industrielle Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, Vieweg+Teubner, Wiesbaden
- Brecher, Christian:** (2011), Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, Springer, Heidelberg
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie:** (2013), Marktperspektiven von 3D in industriellen Anwendungen, Fraunhofer Gesellschaft, Berlin
- Büttner, Jan:** (2004), Der Asbest in der Vormoderne. Vom Mythos zur Wissenschaft, (Cottbuser Beiträge zur Geschichte von Arbeit, Technik und Umwelt, Bd. 24)
- Bücking:** (1983), Die Herstellung gipsgebundener Spanplatten im Endlosverfahren Holz als Roh- und Werkstoff, Springer Verlag, Berlin Volume 41, Issue 10
- Czichos,Horst; Skrotzki, Birgit; Simon,Franz-Georg:** (2014), Das Ingenieurwissen: Werkstoffe, Springer Verlag, Berlin
- Deisenroth, Holde:** (2004), Die Arbeit im Modellversuch SELUBA in NordrheinWestfalen. Modellversuch SELUBA: Steigerung der Effizienz neuer Lernkonzepte und Unterrichtsmethoden in der dualen Berufsausbildung, Sekretariat der Kultusministerkonferenz, Bonn
- Drexl, A.:** (2001), Projektmanagement. In: Bühner, R. (Hrsg.), Management-Lexikon, München und Wien, S. 631-632.
- Fastermann, Petra:** (2013), 3D-Druck / Rapid Prototyping, Springer Verlag, Heidelberg
- Fastermann, Petra:** (2014), 3D-Drucken, Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert, Springer Verlag, Heidelberg
- Fiedler, Rudolf:** (2014), Controlling von Projekten, Springer Verlag, Winterhausen
- Gebhardt, Andreas:** (2013), Generative Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D Drucken für Prototyping, Tooling, Produktion, Hanser Verlag, München
- Höper, Wolfgang:** (2008), Asbest in der Moderne, Waxmann Verlag

- Jordan-Gerkens, Anke:** (2005), Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung. Cuvillier Verlag
- Krass et all:** (2009), Grundlagen der Bautechnik, Vieweg Teubner, Berlin
- Kultusministerkonferenz:** (23.10.1998), Überlegungen der KMK zur Weiterentwicklung der Berufsbildung, Sekretariat der Kultusministerkonferenz, Bonn
- Kultusministerkonferenz:** (10.10.2013), Empfehlung der Kultusministerkonferenz zur kulturellen Kinder- und Jugendbildung, Sekretariat der Kultusministerkonferenz, Bonn
- Kultusministerkonferenz:** (23.10.1998), Überlegungen der KMK zur Weiterentwicklung der Berufsbildung, Sekretariat der Kultusministerkonferenz, Bonn
- Kultusministerkonferenz:** (05.10.2000), Aufgaben von Lehrerinnen und Lehrern heute - Fachleute für das Lernen, Sekretariat der Kultusministerkonferenz, Bonn
- Kultusministerkonferenz:** (05.02.1999), Rahmenlehrplan: Stukkateur/ Stukkateurin, Bonn
- Meinert, Meyer; Hilbert Meyer:** (2007), Wolfgang Klafki: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik, Beltz Verlag, Berlin
- Ministerium für Arbeit, Integration und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen:** (20.03.2014), ESF-Förderrichtlinie, Düsseldorf
- Newman, Larry:** (2003), Proposal Guide for Business Development Professionals, Shiplay Associates, Farmington, USA
- Oestereich, Christopher:** (2000), "Gute Form" im Wiederaufbau: zur Geschichte der Produktgestaltung in Westdeutschland nach 1945, Lukas Verlag, Berlin
- Rupp, Gerhard:** (2002), Baustilkunde, Prüfungsfragen und Antworten für Stuckateure, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden
- Rupp, Gerhard:** (2012), Technologie für Stuckateure und Trockenbauer, Verlag Europa-Lehrmittel
- Ryan; Deci:** (2000), Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. American Psychologist, American Psychological Association, Washington DC
- Sloane; Twardy; Buschfeld:** (2004), Einführung in die Wirtschaftspädagogik, UTB, Stuttgart
- Thum, Martin:** (2011), Vorsprung für Unternehmen Gemeinsam zum Erfolg, Fraunhofer-Gesellschaft, Berlin
- Werner, Ulrich:** (2004), Bautechnischer Brandschutz, Birkhäuser Verlag, Basel, Schweiz

20.1. Internet Literaturverzeichnis

Izulprototypen: (02.02.2014), www.lzulprototypen.com

3druck: (20.03.2014), www.3druck.com/tags/3d-drucktechnologie/

Beton: (19.07.2014), Zemente und ihre Herstellung, www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkb1%C3%A4tter/B1.pdf

Bundesverband der Gipsindustrie: (03.01.2014), www.gips.de

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Straßenentwicklung: (03.01.2014), Energieausweis für Gebäude nach Energieeinsparverordnung (EnEV 2009), www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2013/223-ramsauer-enev.html

Buzer: (01.03.2014), www.buzer.de/gesetz/6009/

Cemex: (20.11.2014), www.cemex.de/UserFiles/Infomaterial/CEM%20II.pdf

Chemieunterricht: (20.03.2014), www.chemieunterricht.de/dc2/haus/v127.htm

CMU: (20.03.2014), www.cmu.edu/teaching/assessment/basics/formative-summative.html

Contex: (20.03.2014), www.aecinfo.com/1/resourcefile/21/19/70/printbrochurecx.pdf

Controlling Portal: (20.03.2014), www.controllingportal.de/Fachinfo/Kostenrechnung/Maschinenstundensatzrechnung.html

DIN 8580: (02.02.2014,)www.beuth.de/de/norm/din-8580/65031153

DIN 8590: (02.02.2014), www.beuth.de/de/norm/din-8590/65031017

DIN 8580: (06.09.2014), www.beuth.de/de/norm/din-8580/65031153

DIN 8590: (06.09.2014), www.beuth.de/de/norm/din-8590/65031017

DIN 18451: (06.09.2014), www.beuth.de/de/norm/din-18451/151499401

DIN 18350: (06.09.2014), www.beuth.de/de/norm/din-18350/148137262

DIN 1169: (06.09.2014), www.beuth.de/de/norm/din-en-1169/14081136

DIN 1859874: (06.09.2014), www.beuth.de/de/norm/din-18560-1/119267055

DIN 18558: (19.11.2014), www.beuth.de/de/norm/din-18558/1170607

DIN 1168: (06.09.2014), www.beuth.de/de/norm/din-en-1168/145929326?SearchID=759716952

DIN EN 13963: (06.09.2014), www.beuth.de/de/norm/din-en-13963/198837704

DIN EN 16455: (06.09.2014), www.baufachinformation.de/literatur/DIN-EN-16455-Juli-2012/2003055039450

DIN EN 13279: (06.09.2014), www.gips.de/loesungen/baugipse-gips-trockenmoertel/bauteile/putz-putzsysteme

DIN EN 13279: (06.09.2014), www.beuth.de/de/norm/din-en-13279-1/111096685

Duden: (30.06.2014), www.duden.de/rechtschreibung/Stuck

Ein Beruf für Handwerker und Künstler: (03.01.2014), www.stuckhardt.de/shop_content.php/coID/34/content/Stuckateur---ein-Beruf-fuer-Handwerker-und-Kuenstler

EN ISO 9000: (02.02.2014), www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9000/82009580

EN 998-1: (20.11.2014), www.beuth.de/de/norm/din-en-998-1/134562454

Hämmerle, Hannes: (30.08.2014), www.pzwei.at/index.php/124-pzwei-presseaussendungen/1zul-prototypen/1336-1zul-prototypen-von-2-auf-100-mitarbeiter-in-15-jahren

Kraft, Richard: (03.07.2014), World Asbestos Consumption from 2003 – 2007, www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/asbestos/mis-2007-asbes.pdf

Kraft, Richard: (04.07.2014), World Asbestos Consumption 2014, www.minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/asbestos/mcs-2014-asbes.pdf

Kubikwerk: (20.03.2013), www.kubikwerk.de/3d-druck/

Kultusministerkonferenz: (1997; 20.03.2014), www.kmk.org/presse-und-aktuelles/pm1997/lebenslanges-lernen-als-zukunftsfaktor.html

N24: (02.02.2014), www.n24.de/n24/Nachrichten/Netzwelt/d/3711658/3d-drucker-werden-immer-preiswerter.html

Neolithic Site of Çatalhöyük: (02.01.2014), whc.unesco.org/en/list/1405

Residenz Würzburg: (24.10.2014), www.stbawue.bayern.de/hochbau/projekte/restaurierung_hofkirche.php

Stuckateur/in Berufenet: (02.01.2014), berufenet.arbeitsagentur.de

Stuckateur/in Meisterschule: (07.07.2014), www.hwk-duesseldorf.de/31,486,798.html%3Bjsessionid=G8pQSVThkWZXp1XkH821YFJpY4QGITtBKYDFrDpD9HGdhvvT83r0!-695673308,

Stuckateur br: (02.01.2014), www.br.de/fernsehen/br-alpha/sendungen/ich-machs/im-stuckateur100.html

Stuckformen: (04.01.2014), Rosetten, Paprika, Guglhupf, www.daserste.de/information/ratgeber-service/haus-garten/sendung/wdr/workshop-haus-19082012-100.html

Stuck-Verband: (02.01.2014), www.stuck-verband.de/Lehrer-Information_I14150.whtml

Tabelle 1: (07.07.2014), Ausbildungsberuf Stuckateur/-in, www.kmk.org/fileadmin/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/Stuckateur.pdf

Taxonomie Bloom: (20.03.2014), nte.unifr.ch/misc/evalguide/project_evaluation/prov_eval_instr/conception_layer/goals/goal_finding/tipps_ec2000/index.html und Bloom et al.: (1956), Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain. New York, Toronto: Longmans, Green.

Testnachrichten: (01.12.2013), www.testnachrichten.de/3d-drucker-test-2013-pearl-freesculpt-ultimaker/

The Future of 3D Printing With Terry Wohlers: (09.09.2013), www.engineering.com/3dprinting/3dprintingarticles/articleid/6294/the-future-of-3d-printing-with-terry-wohlers.aspx

trendlink: (27.03.2014), www.trendlink.com/aktien/Eisen

Uni-Köln: (27.03.2014), www.uni-koeln.de/hf/konstrukt/reich_works/aufsätze/index.html

VDI 3404: (02.02.2014), www.beuth.de/de/technische-regel/vdi-3404/121101054

Vierl: (1987/30.06.2014), Geschichte des Stucks: von den Anfängen bis zur Gegenwart, www.baufachinformation.de/denkmalpflege/Geschichte-des-Stucks-von-den-Anf%C3%A4ngen-bis-zur-Renaissance/1988067120378

zcorp: (20.03.2014), <http://www.zcorp.com/de/Products/3D-Printers/ZPrinter-650/spage.aspx>

20.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Baustile in Innsbruck

www.innsbruck.antonprock.at/fotos/ergaenzungen/baustile/barock-helblinghaus-stuck-01.jpg, 07.07.2014

Abbildung 2: Catalhöyük

Museum der Anatolischen Zivilisationen in Ankara, Türkei. Copyright: Georges Jansoone. www.mineralienatlas.de/VIEWmaxFULL.php?param=1372889898, 07.07.2014

Abbildung 3: Stukkateur

polpix.sueddeutsche.com/polopoly_fs/1.566089.1357348610!/httpImage/image.jpg_gen/derivatives/900x600/image.jpg

Abbildung 4: Stukkateur Werkzeuge Binder

Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), Stukkateur Handbuch, Verlag Th. Schäfer, Hannover, S.12

Abbildung 5: Weltproduktion Industrie-Mineralien

Büttner, Jan: (2000) Asbest in der Vormoderne (Tabelle 1), S.18

Abbildung 6: Gesamtprozesskette traditioneller Stuckherstellung

Mustafa Bilgin, Bielefeld, (2014)

Abbildung 7: Herstellung einer Blechschablone

Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985) Stukkateur Handbuch, Verlag Th. Schäfer Hannover, S.26

Abbildung 8: Formherstellung

Binder, Schaumann, Haas Läßle: (1985), Stukkateur Handbuch, Verlag Th. Schäfer Hannover, S.98

Abbildung 9: Gantt-Diagramm

Bilgin, Mustafa: Bielefeld, (2014)

Abbildung 10: 3DP Gips

www.4d-solution.com/images/rapid-prototyping-haupt.jpg, 15.11.2014

Abbildung 11: 3D-Druckzyklus [ZCorporation]

In Fastermann, Petra: (2013), 3D-Druck / Rapid Prototyping, Springer Verlag, Heidelberg, S.150

Abbildung 12: Architekturmodell in der Contex

www.tu-berlin.de/3dlabor/ausstattung/3d-druck/, 05.12.2014

Abbildung 13: Marmororiginal eines Knabenporträts, sowie 3D-Druck © Foto: Rainer K. Wick

www.portalkunstgeschichte.de/meldung/antike-plastik-5-0-dokumentationsmedien-in-der-archaeologie-akademisches-kunstmuseum-bonn-bis-21-dezember-2014-6600.html, 05.12.2014

Abbildung 14: Computerbild des 3D-Modells eines Knabenporträts, das durch die 3D-Brille plastisch erscheint © Foto: Rainer K. Wick

www.portalkunstgeschichte.de/meldung/antike-plastik-5-0-dokumentationsmedien-in-der-archaeologie-akademisches-kunstmuseum-bonn-bis-21-dezember-2014-6600.html, 05.12.2014

Abbildung 15: Grabungsfunde

www.trigonart.com/fertigungsverfahren-567, 05.12.2014

Abbildung 16: Science in three dimensions

www.nature.com/news/science-in-three-dimensions-the-print-revolution-1.10939, 05.12.2014

Abbildung 17: Science in three dimensions 02

www.nature.com/news/science-in-three-dimensions-the-print-revolution-1.10939, 05.12.2014

Abbildung 18: Darstellung eines prozessorientierten Qualität Management Systems

EN ISO 9000: www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-9000/82009580, 02.02.2014

Abbildung 19: Rapid Prototyping zu Manufacturing im Prozess, Rapid Prototyping

Theory and Practice, Springer Verlag, Houston, S.6

Abbildung 20: Vollständige Handlung

Bilgin, Mustafa: Bielefeld, (2014)

Abbildung 21 Gesamtprozesskette Stuckherstellung durch ein inkludiertes Rapid Manufacturing

Bilgin, Mustafa: Bielefeld, (2014)

Abbildung 22: Residenz Würzburg

www.stbawue.bayern.de/imperia/md/images/stbv/stbawue/hochbau/projekte/residenz_hofkirche/14_280x420.jpg, 24.10.2014

ZPrinter® Produktlinie



ZPrinter® 150



ZPrinter® 250



ZPrinter® 350



ZPrinter® 450



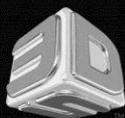
ZPrinter® 650



ZPrinter® 850

MERKMALE						
Auflösung	300 x 450 dpi	300 x 450 dpi	300 x 450 dpi	300 x 450 dpi	600 x 540 dpi	600 x 540 dpi
Minimale Detailwiedergabe	0,4 mm	0,4 mm	0,15 mm	0,15 mm	0,1 mm	0,1 mm
Farbe (Anzahl eindeutiger Farben pro Teil)	Weiß	64 Farben (grundlegende Punktfarben)	Weiß	180.000 Farben (erweiterte Farben)	390.000 Farben (erstklassige Farben)	390.000 Farben (erstklassige Farben)
Automatisches Setup und Selbstüberwachung	■	■	■	■	■	■
Automatisiertes Laden des Pulvers	■	■	■	■	■	■
Pulverrecycling	■	■	■	■	■	■
Automatische Baukammerleerung				■	■	■
Feinpulverentfernung	Zubehör	Zubehör	Integriert	Integriert	Integriert	Zubehör
Einrastende Bindemittelpatronen	■	■	■	■	■	■
Intuitives Bedienfeld	■	■	■	■	■	■
Vertikale Baugeschwindigkeit	20 mm/Stunde	20 mm/Stunde	20 mm/Stunde	23 mm/Stunde	28 mm/Stunde	5 – 15 mm/Stunde ; Baugeschwindigkeit steigt mit Größe der Bauteile
Prototypen je Tag*	19	19	25	25	33	42
Baugröße	236 x 185 x 127 mm	236 x 185 x 127 mm	203 x 254 x 203 mm	203 x 254 x 203 mm	254 x 381 x 203 mm	508 x 381 x 229 mm
Material	Hochleistungs-Verbundwerkstoff	Hochleistungs-Verbundwerkstoff	Hochleistungs-Verbundwerkstoff	Hochleistungs-Verbundwerkstoff	Hochleistungs-Verbundwerkstoff	Hochleistungs-Verbundwerkstoff
Schichtstärke	0,1 mm	0,1 mm	0,09 – 0,1 mm	0,09 – 0,1 mm	0,09 – 0,1 mm	0,09 – 0,1 mm
Anzahl der Düsen	304	604	304	604	1520	1520
SPEZIFIKATIONEN						
Anzahl der Druckköpfe	1	2	1	2	5	5
Geräteabmessungen	74 x 79 x 140 cm	74 x 79 x 140 cm	122 x 79 x 140 cm	122 x 79 x 140 cm	188 x 74 x 145 cm	119 x 116 x 162 cm
Gewicht des Geräts	165 kg	165 kg	179 kg	193 kg	340 kg	363 kg
Netzanforderungen	90-100 V, 7,5 A 110-120 V, 5,5 A 208-240 V, 4,0 A	90-100 V, 7,5 A 110-120 V, 5,5 A 208-240 V, 4,0 A	90-100 V, 7,5 A 110-120 V, 5,5 A 208-240 V, 4,0 A	100-240 V, 15-7,5 A	100-240 V, 15-7,5 A	100-240 V, 15-7,5 A
Dateiformate für den Druck	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR	STL, VRML, PLY, 3DS, FBX, ZPR
Workstation-Kompatibilität	Windows® 7, Windows Vista®	Windows® 7, Windows Vista®	Windows® 7, Windows Vista®	Windows® 7, Windows Vista®	Windows® 7, Windows Vista®	Windows® 7, Windows Vista®
Gesetzliche Bestimmungen CE, CSA	■	■	■	■	■	■
Besondere Anforderungen an die Einrichtung						Druckluft
Bürotauglichkeit	■	■	■	■	■	

* Geometrie in der Größe eines Baseballs



3D Systems GmbH
Postfach 12 02 07
D-64239 Darmstadt
Germany
Tel: (+49) 6151 357 0
Email: info@3dsystems-europe.com

Garantie/Haftungsausschluss: Die Leistungsmerkmale der in diesem Dokument beschriebenen Produkte können je nach Produktanwendung, Betriebsbedingungen, Werkstoffkombinationen und Endnutzung abweichen. 3D Systems übernimmt keine Garantie, weder ausdrücklich noch stillschweigend. Dies betrifft insbesondere auch die Markteignung sowie die Eignung für einen bestimmten Zweck.
© 2012 3D Systems, Inc. Alle Rechte vorbehalten. Änderungen der technischen Daten vorbehalten. Das 3D Systems Logo und stilisierter Text sind Warenzeichen, 3D Systems und ZPrinter sind eingetragene Warenzeichen von 3D Systems Inc.
Stand: April 2012

www.printin3d.com

Name, Vorname: Bilgin, Mustafa
Anschrift: Schlüttgarten 8a
33803 Steinhagen (Westf.)

E r k l ä r u n g

gem. § 20 Abs. 9 PO

Hiermit erkläre ich, dass ich die von mir eingereichte Abschlussarbeit (Master-Thesis) selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie die Stellen der Abschlussarbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen wurden, in jedem Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Entsprechendes gilt für beigegebene Zeichnungen, Kartenskizzen und Darstellungen.

Sollten entsprechend der Themenstellung ggf. Vorarbeiten des Forschungsprojektes in die Abschlussarbeit eingeflossen sein, so habe ich dieses gekennzeichnet bzw. als Anhang nachgewiesen.

.....
Datum

.....
Unterschrift

E r k l ä r u n g

Hiermit erkläre ich mich damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit (Master-Thesis) wissenschaftlich interessierten Personen oder Institutionen zur Einsichtnahme zur Verfügung gestellt werden kann. Korrektur- oder Bewertungshinweise in meiner Arbeit dürfen nicht zitiert werden.

.....
Datum

.....
Unterschrift