

# Konzept zur Einführung des 3D-Drucks im Rahmen einer Fortbildungs- und Unterrichtsgestaltung am Berufskolleg

- Fachwissenschaftliche Projektarbeit -

Betreut durch das **Fachgebiet Maschinenelemente** der Technischen  
Universität Dortmund und das **Max-Born-Berufskolleg** Recklinghausen

Name: Lennart Flake

Studium: Master Lehramt an Berufskollegs

Unterrichtsfächer: Maschinenbautechnik & Mathematik

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Künne

Dipl.-Ing. Frederik Müller

Abgabedatum: 24. Januar 2017

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Theoretischer Rahmen.....	3
2.1	Handlungsorientiertes Lernen .....	3
2.2	Der Begriff der „Kompetenz“ .....	4
2.3	Spiralcurriculum.....	5
2.4	Grundlagen der beruflichen Bildung .....	5
2.5	Modell der vollständigen Handlung .....	6
2.6	Methodisches Konstruieren nach VDI 2222 .....	9
2.7	3D-Druck.....	11
3	Konzept zur Einführung des 3D-Drucks im Rahmen einer Fortbildungs- und Unterrichtsgestaltung am Berufskolleg .....	12
3.1	Notwendigkeit eines didaktischen Konzepts im Bereich des 3D-Drucks .....	13
3.2	Verknüpfung der Theorien im didaktischen Einsatz.....	13
4	Rahmenbedingungen der Fortbildung bzw. der Unterrichtsreihe .....	17
5	Der Unterrichtsgegenstand.....	19
5.1	Entwicklung.....	19
5.2	Problemstellung.....	20
5.3	Didaktische Begründung der Problemstellung.....	21

6	Anwendung des erweiterten Prozessmodells VH/VDI 2222 auf die konkrete Problemstellung „Fischfutterportioniermaschine“ .....	23
6.1	Problemstellung & Analyse .....	23
6.2	Planen – Konzipieren – Entwerfen .....	23
6.3	Ausarbeiten – Ausführen – Kontrollieren – Reflektieren .....	24
6.4	Gesamtmontage .....	25
6.5	Gesamtkontrolle .....	26
6.6	Gesamtauswertung & -reflexion .....	26
7	Zusammenfassung & Ausblick .....	28
8	Literaturverzeichnis .....	30
9	Abbildungsverzeichnis .....	33

# 1 Einleitung

In Deutschland nutzt jeder dritte Industriebetrieb laut einer Studie der Stuttgarter Wirtschaftsprüfungsgesellschaft Ernst & Young GmbH das Verfahren des 3D-Drucks. Darüber hinaus haben weitere 12 % der Unternehmen die Absicht, den Drucker in Zukunft einzusetzen (vgl. Hecker 2016). Damit ist diese noch junge Technologie bereits jetzt weit verbreitet und in der Industrie verankert. Um eine flächendeckende Nutzung bestmöglich begleiten zu können, bedarf es eines zukünftigen Umdenkens im Bereich der beruflichen Ausbildung in Deutschland. Hierzu ist die Schulung von Lehrerinnen und Lehrern unabdingbar.

Gegenstand dieser Studienarbeit ist die Ausarbeitung und Formulierung eines didaktischen Rahmenkonzeptes einer Lehrer-Fortbildungsveranstaltung, die in Form von zwei Seminartagen am Max-Born-Berufskolleg Recklinghausen angeboten werden soll. Hierzu ist eine handlungsorientierte Lernsituation mit beruflichem Bezug anzulegen.

Der 3D-Druck besitzt im Bereich der beruflichen Bildung besondere Eignung, da er ein ideales Medium zu sein scheint, um schulisch eine ganzheitliche Herangehensweise umzusetzen. Die Fokussierung auf aktiv entdeckendes Lernen ermöglicht nachhaltiges Lernen und die Erweiterung in allen Kompetenzbereichen. „Im Sinne der Handlungsorientierung ist Handeln erst dann vollständig, wenn handelnde Personen (...) die Handlung planen, durchführen und kontrollieren; d.h. wenn die Lernenden alle Phasen selbständig durchlaufen“ (Berchtold und Stock 2006).

Daraus ergibt sich - handlungsleitend für diese fachwissenschaftliche Projektarbeit - die folgende These:

*Die Technologie des 3D-Drucks macht es möglich, einen fachpraktischen Unterrichtsgegenstand der beruflichen Bildung zu konstruieren, der alle Phasen der vollständigen Handlung abbildet und eine Verknüpfung zum ingenieurwissenschaftlichen Konstruieren nach VDI-Richtlinie 2222 ermöglicht. Damit ergibt sich eine ganzheitliche Herangehensweise mit einem hohen Maß an Handlungsorientierung und Handlungskompetenz.*

Die Arbeit ist wie folgt gegliedert: Einleitend finden sich in Kapitel 2 der komplette theoretische Rahmen samt zugrundeliegender Theorien und Modelle der Arbeit. Kapitel 3 beschreibt das didaktische Konzept zur Einführung des 3D-Drucks im Rahmen einer Fortbildungs- und Unterrichtsgestaltung am Berufskolleg: Es verknüpft als didaktisches Modell zur Einführung des 3D-Drucks das Modell der vollständigen Handlung mit der VDI-Richtlinie 2222. Nachfolgend werden die Rahmenbedingungen der Fortbildung bzw. des Unterrichtskonzepts (Kapitel 4) sowie der konstruierte Unterrichtsgegenstand vorgestellt und begründet (Kapitel 5) sowie die Relevanz und Besonderheit der 3D-Technologie hervorgehoben.

In dem 6. Kapitel findet das erweiterte Prozessmodell VH/VDI 2222 Anwendung in der konkreten Problemstellung der „Fischfutterportioniermaschine“. Exemplarisch werden dort alle Phasen des erarbeiteten Modells ausgeführt. Dies ist die Grundlage für ein didaktisches Rahmenkonzept, das modellhaft am Max-Born-Berufskolleg Recklinghausen umgesetzt werden soll.

Im Kapitel 7 „Zusammenfassung & Ausblick“ wird schlussendlich die Ausgangsthese aufgegriffen und überprüft, in wie fern die Aspekte „ganzheitliche Herangehensweise“, „Handlungsorientierung“ und „Handlungskompetenz“ im didaktischen Rahmenkonzept berücksichtigt werden.

## 2 Theoretischer Rahmen

Die vorliegende fachwissenschaftliche Projektarbeit beschäftigt sich mit der Ausarbeitung und Formulierung eines didaktischen Rahmenkonzeptes einer kompetenz- und handlungsorientierten Fortbildungs- und Unterrichtsveranstaltung zum 3D-Druck an beruflichen Schulen. Im Mittelpunkt steht das Modell der vollständigen Handlung nach Hacker (2005) sowie das methodische Konstruieren nach VDI-Richtlinie 2222. Diese Prinzipien werden nach dem Spiralcurriculum zueinander angeordnet. In diesem Kapitel werden der theoretische Rahmen vorgestellt und obige Fachbegriffe näher erörtert.

### 2.1 Handlungsorientiertes Lernen

Das handlungsorientierte Lernen ist „eine didaktische Konzeption, die durch einen hohen Anteil an Eigenaktivität der Lernenden gekennzeichnet ist. (...) [D]as so erworbene Wissen [wird] nicht als träges Wissen im Gedächtnis abgespeichert (...), sondern in konkreten Handlungssituationen nutzbar gemacht“ (Tenorth und Tippelt 2012, Handlungsorientiertes Lernen/Handlungsorientierung, 306). Es geht darum, Lernformen zu entwickeln, „die Denken und Handeln miteinander zu verbinden suchen“ (Gudjons 2008, 7).

Dem historischen Verständnis von Wissensaneignung als einem passiven konsumtiven Prozess entgegen liegt hier das Verständnis zu Grunde, dass nachhaltiges Lernen durch das aktiv-entdeckende Lernen ermöglicht und gefördert wird (vgl. Scherer und Moser Opitz 2010, 17). Dieses baut darauf auf, dass eigene aktive Erfahrungen gemacht werden und selbstständige entdeckende Unternehmungen einen Fortschritt in Wissen, Können und Urteilen der Lernenden ermöglichen (vgl. Winter 1989, 1). Damit kommt dem Aspekt der ‚Handlung‘ ein entscheidend hoher Stellenwert zu. Gudjons (2008) beschreibt nach Dietrich (1984) die gewinnbringende und förderliche Charakteristik einer Handlung:

„Sie hat eine motivationale Grundlage (die Person will einen bedeutsamen Zustand erreichen oder aufrecht erhalten), sie hat ein Ziel (intentionale Tätigkeit), sie ist eine aktive Auseinandersetzung (ganzheitlich, also mit physischen, psychischen- d.h. auch kognitiven- und motorischen Bestandteilen) mit einer Situation, sie hat eine erkennbare Struktur (Handlungsorganisation) und sie wird ‚am Erfolg‘ gemessen (Handlungsevaluation) oder kontrolliert, hat also ein mehr oder weniger befriedigendes Ergebnis.“

## 2.2 Der Begriff der „Kompetenz“

Die Durchführung einer Fortbildungs- und Unterrichtsreihe zum 3D-Druck zielt auf die Erlangung mehrerer breit gefächerter Kompetenzen ab. Unter Kompetenzen versteht man nach Tenorth (2012, Kompetenz, 414) „die erlernbaren kognitiven Fähigkeiten [...], die notwendig sind, um bestimmte, domänenabhängige Probleme zu lösen“.



Abbildung 1: Einbindung beruflicher Handlungskompetenz (Ott 2011, 201)

Kompetenzen werden – wie in der Abbildung 1 zu erkennen ist – zumeist in die Bereiche der Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz unterteilt und liegen im Spannungsfeld von Problem-, Aufgaben- und sozialer Orientierung. Die Fachkompetenz umfasst (in der Regel im Rahmen einer Qualifikation) die Erlangung und den Erwerb von Kenntnissen und Fertigkeiten zum Lösen von beruflichen Problemen. Die Methodenkompetenz beinhaltet Fähigkeiten wie die Selbstlernfähigkeit, Problemlösefähigkeit und Flexibilität zur Anwendung und Reflexion auf

verschiedenste Situationen. Die Sozialkompetenz umfasst Aspekte wie Teamfähigkeit, Kooperationsfähigkeit, menschliche Sensibilität und Verantwortungsbewusstsein im Umgang mit Einzelnen, Teams und Gruppen (vgl. Ott 2011, 201 f.).

Damit erlangen die Lernenden durch einen Gewinn an Teilkompetenzen in den oben beschriebenen Bereichen berufliche Handlungskompetenz. Dabei sind die Teilaspekte „eng aufeinander bezogen“ und stehen „nicht isoliert nebeneinander“ (ebd.).

### 2.3 Spiralcurriculum

Das Spiralcurriculum ist eine „[b]esondere Form der Anordnung von Lehrinhalten in einem Curriculum“ (Tenorth und Tippelt 2012, Spiralcurriculum, 686). Es geht von der Annahme aus, dass Wissen nur auf bereits vorhandenem Wissen aufbauen kann (vgl. Fleischhauer 2006).

Einzelne Themenbereiche, Fertigkeiten oder auch Fähigkeiten lassen sich demnach vertikal parallel anordnen. In der Abbildung 2 wird das Prinzip grafisch dargestellt. Bildungs- und Lernsequenzen verlaufen nicht linear sondern spiralförmig und bauen aufeinander auf (vgl. Gillen 2014). Damit werden „Inhalte [...] im Verlauf der Schuljahre und der gesamten Schulzeit immer wieder, auf jeweils komplexerem Niveau, bearbeitet“ (Tenorth und Tippelt 2012, ebd.). „Dieses Strukturprinzip wird insbesondere beim fächerübergreifendem oder projektorientiertem Lehren und Lernen angelegt, wo strukturgebundenen und Zusammenhänge herstellendes Vorgehen erforderlich ist“ (Gillen 2014). Hiermit eignen sich Lernende zunehmend höherrangige Kompetenzen im Bereich der beruflichen Bildung an (vgl. Egyptien 2008).

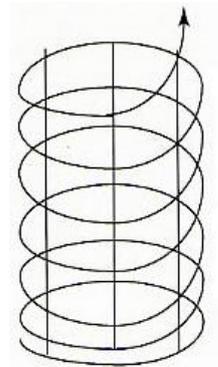


Abbildung 2:  
Grafische Darstellung  
des Spiralcurriculums  
(Bruner 1980)

### 2.4 Grundlagen der beruflichen Bildung

„Die Handlungsorientierung des Lernens hat sich in den 1980er Jahren als eigenständiges didaktisches Konzept für die berufliche Bildung entwickelt“ (Riedl 2011, 185). Um eine Berufsvorbereitung zu gewährleisten, muss der Unterricht anders strukturiert sein als z. B. eine schulische Ausbildung zur Vorbereitung eines Studiums. „Die Arbeitswelt erfordert mehr und mehr ein selbstständiges Planen, Durchführen und Kontrollieren einer Arbeitstätigkeit. Dafür werden Schlüsselqualifikationen immer wichtiger. Solche Bildungsziele bedingen komplexe Lernsituationen in einem sozialen Umfeld, die handlungsorientiertes Lernen ermöglichen. Weiter müssen veränderte Eingangsvoraussetzungen und Veränderungen in der Lebensumwelt der Adressaten von Bildung berücksichtigt werden“ (Meyer 1987, 128).

Um den Anforderungen beruflicher Bildung zu genügen, muss Unterricht realitätsnah und an die tatsächlichen Gegebenheiten in der Arbeitswelt angepasst werden. „Hierzu muss eine

„Tafel-Kreide-Schwamm-Pädagogik“ zurückgehen und sinnlich-handgreifliche Primärerfahrungen im Unterricht möglich sein. Eine „Entschleunigung“ des Unterrichts kann nachhaltigeres Lernen verbessern“ (ebd.).

Daraus folgt, dass es darum geht, statt einer Aufgabenstellung eine Problemstellung zu formulieren, die einen selbstgesteuerten Lernprozess anregt. Hiermit wird eine hohe Handlungsorientierung erzielt, die damit einhergeht, Kompetenzzuwächse in verschiedenen Kompetenzbereichen zu ermöglichen (vgl. Kapitel 2.2 Der Begriff der „Kompetenz“). Zudem wird dem Anspruch einer ‚individuellen Förderung‘ Rechnung getragen.

## 2.5 Modell der vollständigen Handlung

Das Modell der vollständigen Handlung (VH) beschreibt einen Regelkreis, der sich auf die Handlungsregulationstheorie der Arbeitspsychologen Winfried Hacker und Walter Volpert zurückführen lässt (vgl. Müller und Stürzl 1990).

Es „entstammt der berufspädagogischen Diskussion der 70er Jahre. Aufbauend auf der VH hat die Gesellschaft für Ausbildungsforschung und Berufsentwicklung – GAB München – das Modell der vollständigen Arbeitshandlung (VAH) als subjektbezogenes Lernmodell entwickelt und in verschiedenen Kontexten eingesetzt. Grundlegend war dafür ein ganzheitlicher Ansatz, der neben der körperlich-physischen Ebene des Arbeitsvollzugs auch die seelische Ebene und die Ebene der Handlungssteuerung umfasst“ (Bauer, et al. 2011). Das Unterrichtskonzept der vollständigen Handlung soll den Teilnehmenden Handlungskompetenzen vermitteln, die für die spätere Berufspraxis dienlich sind. In der Berufspädagogik bildet dieses Modell ein Unterrichtskonzept ab (siehe Abbildung 3).

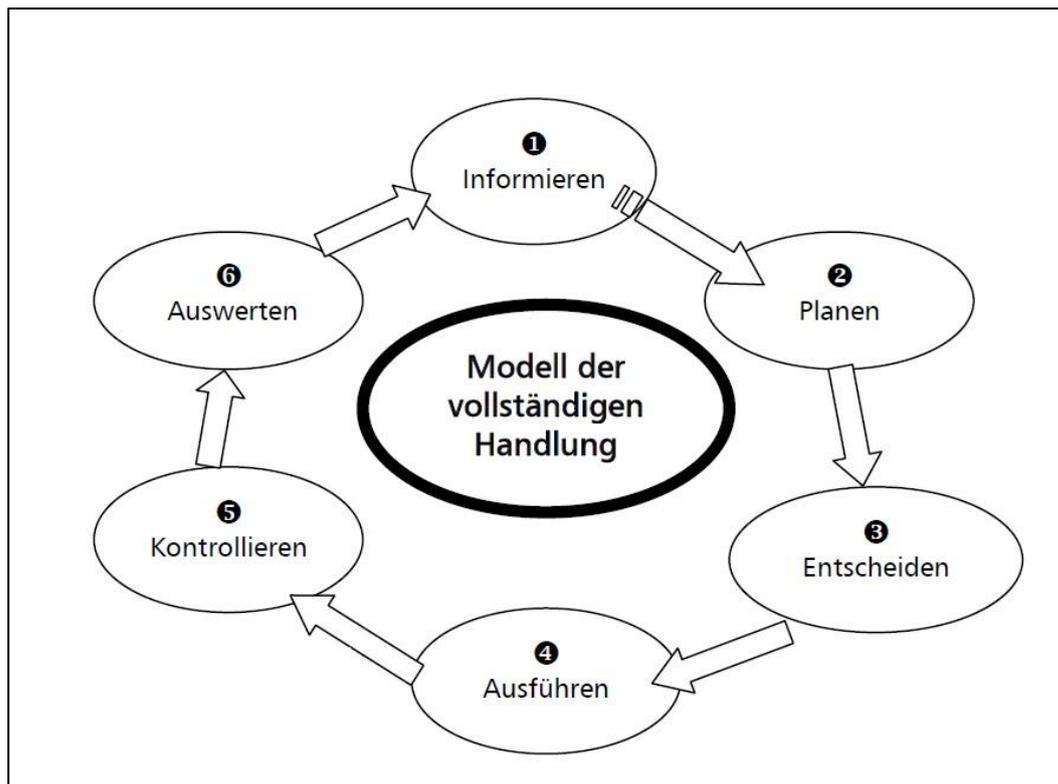


Abbildung 3: Modell der vollständigen Handlung (Jürgens-Pieper 2001)

Diesem Modell gemäß erfolgt eine Planung sowie ein Zuschnitt von Lern- und Arbeitsaufgaben in der beruflichen Aus- und Weiterbildung in den sechs Schritten „Informieren“, „Planen“, „Entscheiden“, „Ausführen“, „Kontrollieren“ und „Auswerten/Reflektieren“ (vgl. Schöpf 2005, 17-19):

1. Informieren: Im Mittelpunkt des Einstieges in den Arbeits- und Lernprozess stehen die Fragen nach dem: „Was soll getan werden? Was muss ich wissen?“

Es geht damit um eine an den Aufgaben orientierte Beschaffung und Verarbeitung von fachlichen Informationen zur Ausgangslage der Problemstellung. Mittels einer selbstständigen Recherche werden alle notwendigen Kenntnisse und Informationen gesammelt.

2. Planen: Die Planungsphase beinhaltet die Auseinandersetzung mit der Ab- und Reihenfolge der aufeinanderfolgenden Arbeitsschritte und

-abläufe. Unterschiedliche Lösungswege müssen vollständig durchdacht und auf Umsetzbarkeit überprüft werden.

3. Entscheiden: Im Rahmen dieser Phase müssen die Lösungswege aus der vorausgehenden planenden Phase bewertet werden. Ziel ist die Festlegung der Methode des Vorgehens unter Berücksichtigung von Vor- und Nachteilen. Dieser Entscheidungsweg ist transparent und nachvollziehbar Außenstehenden zugänglich zu machen.
4. Ausführen: Im Mittelpunkt steht die Aus- und Durchführung der festgelegten Handlungspläne. Im Vorfeld erarbeitete und festgelegte Arbeitsschritte werden durchgeführt. Kognitiv antizipiertes Vorgehen mündet hier nun in konkretes Tun.
5. Kontrollieren: In der an die Ausführung gekoppelten Kontrollphase wird überprüft, ob das Ausgangsproblem bzw. die Ausgangsfrage zielführend sowie sach- und fachgerecht bearbeitet, die Planung gründlich ausgeführt und die Umsetzbarkeit tatsächlich gegeben war. Selbst- und Fremdeinschätzung sind Mittel der Kontrolle.
6. Auswerten: Zur Ableitung von Erkenntnissen für weitere Projekte, Vorhaben und Problemstellungen gilt es in dieser letzten Phase, die gemachten Erfahrungen zu reflektieren. Insgesamt geht es dabei um die Fragestellung danach, was zukünftig verbessert oder beibehalten werden kann. Die Ergebnisse werden dokumentiert.

## 2.6 Methodisches Konstruieren nach VDI 2222

Das „Konzipieren technischer Produkte“ nach VDI-Richtlinie 2222 beschreibt grundlegende Arbeitsschritte in der Konstruktionsmethodik.

Die Abbildung 4 verdeutlicht die verschiedenen Phasen von „Planen – Konzipieren – Entwerfen – Ausarbeiten“ mit ihren „zugeordneten Tätigkeiten“ (Wittel, et al. 2015, 15). Sie gibt Aufschluss darüber „wann nach bestimmten Abschnitten wesentliche Entscheidungen für den weiteren Ablauf zu treffen sind“ (ebd.). Hierbei handelt es sich nicht immer um einen linearen Prozess; unter Umständen „erfolgt [...] ein erneutes Durchlaufen der letzten Arbeitsschritte“ „bei einem nicht befriedigenden Arbeitsergebnis“ (ebd. 15 f.).

Schwerpunkt im Arbeitsschritt des **Planens** liegt in der Aufgabenklärung und damit der Festlegung eines Entwicklungsauftrages. Beim **Konzipieren** wird die Gesamtfunktion in Teilfunktionen aufgegliedert, sodass einzelne Lösungsprinzipien kombiniert werden können. Es folgt eine Erarbeitung und Bewertung der jeweiligen Konzeptvarianten, woraufhin ein einziges Lösungskonzept ausgewählt wird. Im Prozess des **Entwerfens** wird nun der konkrete Lösungsweg verfolgt, indem er ausgearbeitet sowie neu bewertet wird. Es ergibt sich eine Optimierung des Entwurfes. Im **Ausarbeiten** werden schlussendlich die Ausführungsunterlagen erstellt und die Konstruktion – zum Beispiel bei Serienfertigungen durch einen Prototyp – geprüft (vgl. Wittel, et al.2015, 15 f., Künne 2016, M I-1.3 f.).



Abbildung 4: Vorgehensplan zur Schaffung neuer Produkte nach VDI-Richtlinie 2222, Bl. 1 (Wittel, et al. 2015, 16)

## 2.7 3D-Druck

3D-Drucker sind Geräte zur Herstellung dreidimensionaler Objekte. Mittels eines Schichtaufbauverfahrens auf der Grundlage digitaler 3D-Modelle werden Elemente durch das Aufschmelzen von Filament hergestellt. Filamente sind Kunststoffe wie PLA, Metalle oder Lebensmittel (vgl. Thum 2016).

Jeder dritte deutsche Industriebetrieb nutzt bereits das Verfahren des 3D-Drucks und weitere 12 % werden zukünftig den Drucker einsetzen (vgl. Hecker 2016). „3D-Druck ist wie gemacht für die innovative, deutsche Wirtschaft“, kommentiert Andreas Müller, Partner bei EY, die Ergebnisse. „Die Technologie erlaubt den Unternehmen die Herstellung kleiner Stückzahlen, kostengünstiger Prototypen und die Anwendung neuer Materialien. Der hohe Anteil der deutschen Unternehmen, die 3D-Druck bereits nutzen, zeigt: Die hiesige Wirtschaft ist neuen Technologien gegenüber offen“ (Rittmeister 2016).

Der 3D-Druck kommt in der kunststoffverarbeitenden Industrie, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Automobilbranche, der Luft- und Raumfahrt sowie der Medizintechnik zur Anwendung. Es lassen sich Kleinstteile bis große Prototypen in schneller individueller Anpassbarkeit drucken. Die Spanne reicht von Zahnimplantaten und Kronen bis hin zu Felgen und Turbinenschaufeln. Vorteile liegen zudem in der Kosteneinsparung wegen wegfallender Lagerhaltung und einer möglichen Verlagerung der Produktion ins Inland (vgl. Hecker 2016, Rittmeister 2016).

Datensätze aus dreidimensionalen Konstruktionsprogrammen werden im Prozess des 3D-Drucks in eine Software, den so genannten Slicer, importiert. In der Anwendung sind danach Konfigurationen des Druckers sowie Einstellungen zu Füllgrad, Wandstärke, Filamenttemperatur, Geschwindigkeit und Ähnliches vorzunehmen. Daraus werden der Fahrweg und weitere Parameter in einem neuen Dateiformat zusammengefügt und können so vom Drucker ausgelesen und ausgeführt werden.

### 3 Konzept zur Einführung des 3D-Drucks im Rahmen einer Fortbildungs- und Unterrichtsgestaltung am Berufskolleg

Kaum ein anderes Unterrichtsmedium ist so vielseitig einsetzbar wie der 3D-Drucker. Durch die verhältnismäßig leichte Bedienung und die schnellen Prozesszeiten ist er optimal geeignet für Bereiche vom Rapid Prototyping der technischen Produktdesigner bis hin zu individuellen und ergonomischen Gehäusen für Elektroniker. Der Drucker ist sowohl für eine künstlerische Anwendung bei den Gestaltungstechnikern als auch für industrialisierte Anwendungen in technischen Bereichen zu nutzen. Dazu besticht der 3D-Drucker ebenfalls durch einen verhältnismäßig niedrigen Anschaffungspreis und geringe Betriebskosten.

Weiter sprechen für eine schulische Verwendung:

- die flexiblen Einsatzbereiche des Druckers
- der komplett selbstständig durchführbare Gesamtprozess
- die leichte Zielkontrolle und Reflexion der 3D-Druck-Erzeugnisse in Bezug auf Konstruktion und Druck
- der Betrieb ohne kostenträchtiges Fehlerrisiko
- die Reproduzierbarkeit der gefertigten Teile
- die unmittelbare Erlebbarkeit des Vorgangs

Der 3D-Drucker und sein Einsatz scheint ein erstrebenswertes Medium zu sein, um Zukunftsfähigkeit mit bereits jetzt praktikabler innerschulischer Anwendung zu kombinieren. Daraus resultierende Kompetenzen sind zudem fundamental für den industriellen Einsatz der Technologie.

Dazu ist ein didaktisches Konzept zur Einführung des 3D-Drucks im Rahmen einer Fortbildungs- und Unterrichtsgestaltung am Berufskolleg erforderlich. Hier soll das Modell der vollständigen Handlung mit der VDI-Richtlinie 2222 verknüpft und im Folgenden vorgestellt werden.

### 3.1 Notwendigkeit eines didaktischen Konzepts im Bereich des 3D-Drucks

Die in Kapitel 2.7 beschriebene Entwicklung im Einsatz industrieller 3D-Drucktechnologie bedingt ein zukünftiges Umdenken im Bereich der beruflichen Ausbildung in Deutschland:

Bislang hat das Thema des 3D-Drucks und der additiven Technologie, obwohl es Bestandteil der Digitalen Agenda der Bundesregierung ist, nur partiell Einzug in die Ausbildung junger Menschen in Deutschland gefunden (vgl. Richter 2015).

Der Präsident des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau, Reinhold Festge, formulierte die Anforderungen an das „Lernen“ der Industriemechaniker bereits im August 2015:

„Ja, sie müssen künftig viel mehr IT-Kenntnisse haben, die Umstellung ist eine Riesen-Herausforderung. [...] [W]enn sich Industrie und Politik [...] rasch auf neue Inhalte einigen, fehlen in den Berufsschulen die Lehrer mit dem entsprechenden Wissen. Wir werden erst einmal die Lehrer neu schulen müssen“ (Festge und Schulte 2015).

### 3.2 Verknüpfung der Theorien im didaktischen Einsatz

Zum Einsatz des 3D-Drucks im schulischen Kontext müssen mehrere Theorien miteinander verknüpft und verbunden werden. Die vollständige Handlung zur Vermittlung von (beruflicher) Handlungskompetenz strukturiert die Bewältigung einer komplexen Problemstellung. Sie ist in ihren ersten drei Phasen des Informierens, Planens und Entscheidens der VDI-Richtlinie 2222 zum „Konzipieren technischer Produkte“ im Bereich des „methodischen Konstruierens“ sehr ähnlich, wenn es um ein konstruktives Handlungsfeld geht.

Es liegt nahe, unter Abwägung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden, beide Konzepte miteinander zu verknüpfen. Ergänzt werden muss dies um die Tatsache, dass die VDI-Richtlinie eine konventionelle Fertigung vorsieht und somit nach der Konstruktion keine weiteren Bewertungs- oder Reflexionsschritte für den Fertigungsprozess bereithält. Das Modell der vollständigen Handlung hingegen ist bereits dafür geeignet, den Gesamtprozess abzubilden, sodass die sechs Phasen erhalten bleiben.

Somit ergibt sich die Chance, dass Lernende die Schritte des ingenieurtechnischen Vorgehens im Konstruktionsprozess mithilfe der vollständigen Handlung ebenfalls durchlaufen und eine klare Handlungsstruktur mit der VDI 2222 erhalten.

In der nachfolgenden Abbildung 5 wird ein verknüpfendes Modell beschrieben: In schwarzer Schrift ist das Modell der vollständigen Handlung eingezeichnet, dem in den Phasen 1-4 analoge Elemente des methodischen Konstruierens in blauer Schrift zugeordnet sind. In der VDI-Richtlinie wird deutlich expliziter und kleinschrittiger das Vorgehen im Konstruktionsprozess, das von den Lernenden durchlaufen werden muss, beschrieben als in der vollständigen Handlung. Damit eine engmaschigere Beschreibung der weiteren Prozesse nach dem Durchlaufen der Konstruktion gegeben ist, wurden in roter Schrift weitere Einzelaspekte des Gesamtprozesses speziell zum Verfahren des 3D-Drucks ergänzt. Der Druck zeichnet sich durch eine extrem hohe Relevanz der Kontrolle des Fertigungsobjektes aus, da viele Parameter durch Versuche selbstständig ermittelt werden müssen. Hierzu sind Bauteile unter gegebenen Kriterien zu konstruieren, zu slicen und zu drucken. Danach müssen diese auf die Kriterien hin überprüft und Rückschlüsse in der Reflexion zu Veränderung von Parametern im Slice-Prozess oder sogar im Konstruktionsprozess gezogen werden.

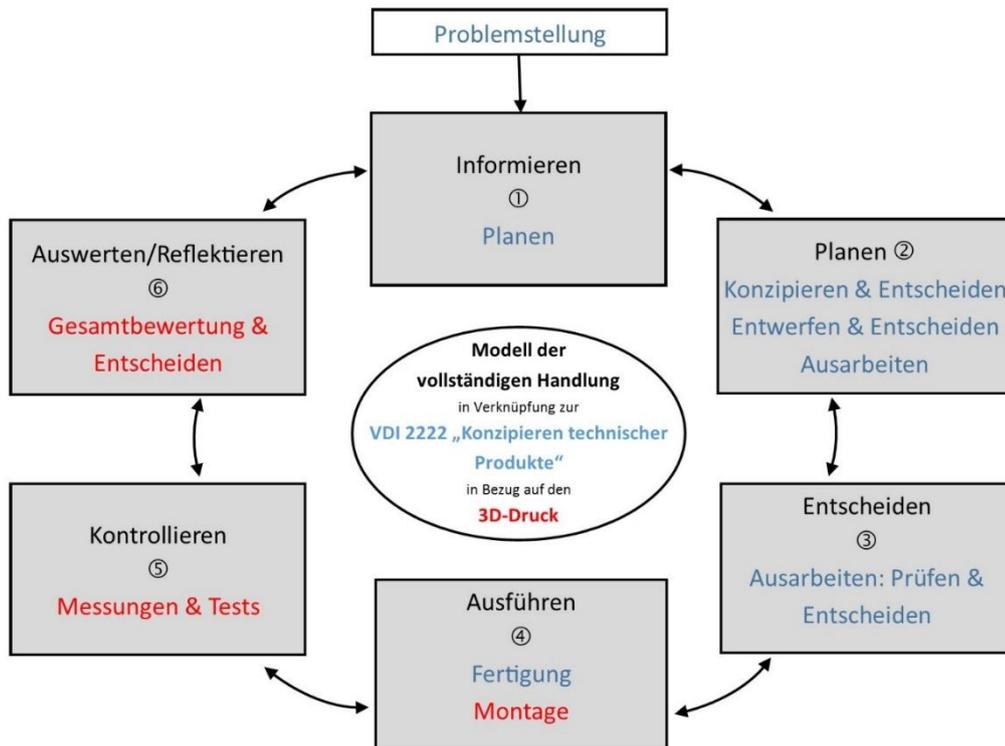


Abbildung 5: Verknüpfung von VH und VDI 2222

Da es sich bei umfangreichen Konstruktionen um Baugruppen mit mehreren Einzelteilen handelt, müssen diese jeweils einen eigenen Teil des Handlungskreises parallel durchlaufen. Daraus ergibt sich dementsprechend eine differenzierte grafische Darstellung zur Erfassung der Komplexität des 3D-Drucks in Abbildung 6. Hierbei sind die Phasen der zusammengeführten Modelle in einem einzigen Begriff beschrieben. Die Nummerierungen aus Grafik 5 entsprechend der in Grafik 6.

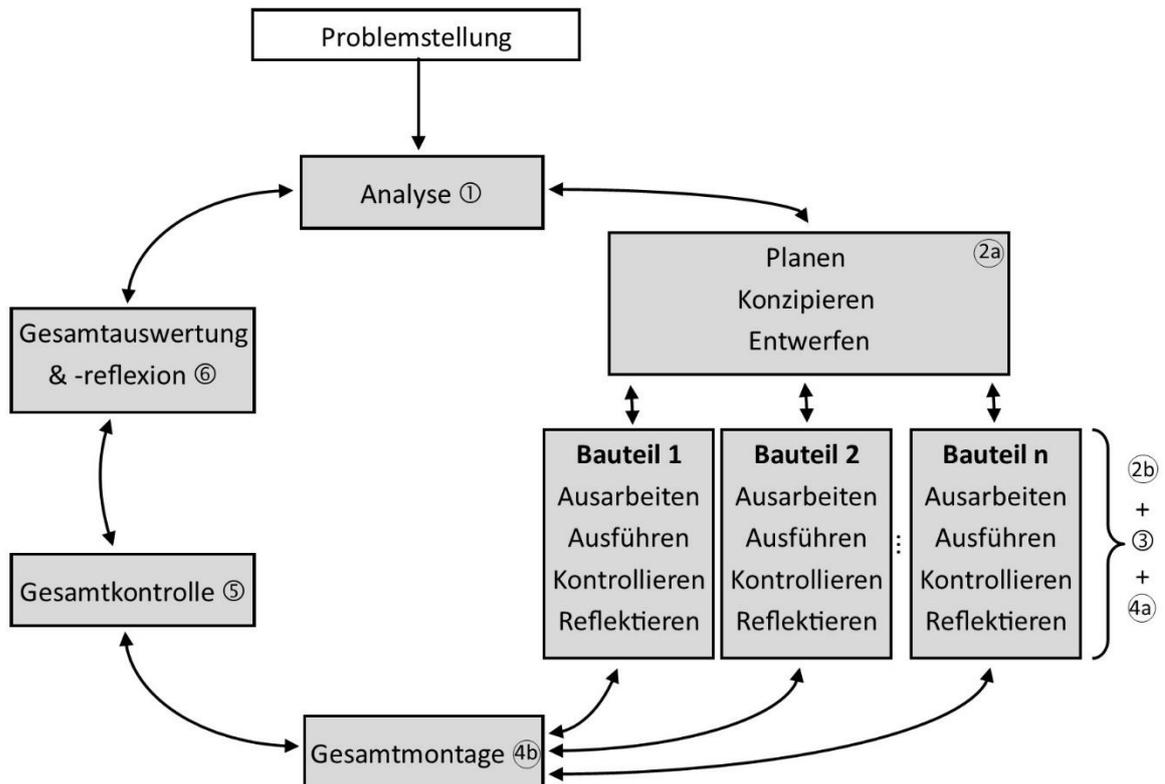


Abbildung 6: Erweitertes Prozessmodell VH/VDI 2222

Der Gesamttablauf und auch seine Einzelschritte orientieren sich hierbei an dem Wirkprinzip des Spiralcurriculums, weil mit jedem Durchlaufen der Kreisläufe ein Zuwachs an Kompetenz in den jeweiligen Arbeitsbereichen angestrebt wird.

Eine ausführliche Erläuterung der Einzelprozesse des Modells in seiner Komplexität wird am Beispiel der Anwendung auf eine Lernsituation im Kapitel 6 vorgenommen.

## 4 Rahmenbedingungen der Fortbildung bzw. der Unterrichtsreihe

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Notwendigkeiten einer lehrerspezifischen Ausbildung in diesem innovativen Feld (vgl. Kapitel 3) muss, damit der 3D-Druck vermehrt flächendeckend in der Industrie eingesetzt werden kann, eine verbesserte Schulungs- und Lernsituation bereits in der betriebs- und spartenübergreifenden Berufsschule ermöglicht werden.

Wünschenswert ist es, dass Lehrerinnen und Lehrer vieler verschiedener beruflicher Schulen zunächst selbst intensiv mit dem Drucker in Kontakt kommen: Einerseits dient dies der systematisierten Einführung in die Drucktechnologie, andererseits dem Erkenntnisgewinn über zahlreiche unterrichtliche Anwendungsmöglichkeiten. Darüber hinaus können im Rahmen einer Fortbildungsreihe über den eigenen Lernprozess und die eigenen Erfahrungen als Lernende Rückschlüsse auf die Umsetzung im eigenen Unterricht gezogen werden.

Hierzu bedarf es der Erstellung eines didaktischen Rahmenkonzeptes einer Lehrer-Fortbildungsveranstaltung, das in Form von zwei Seminartagen am Max-Born-Berufskolleg Recklinghausen erprobt werden soll. Gleichzeitig ist die zugrundeliegende Lernsituation dieser Studienarbeit so angelegt, dass sie gleichermaßen als schulischer Unterricht mit Schülerinnen und Schülern in Rahmen von fünf Doppelstunden durchgeführt werden kann.

Eine darauf aufbauende differenzierte Feinplanung der einzelnen Veranstaltungseinheiten wird im Anschluss von Pädagogen der Bildungseinrichtung vorgenommen.

Unterstützend wäre es darüber hinaus für die teilnehmenden Lehrerinnen und Lehrer möglich, sich in einer Kooperation mit dem Projekt „Dritter Lernort – Die Lernplattform für Technische Produktdesigner“ im Anschluss an eine abgeschlossene Fortbildungsveranstaltung einen 3D-Drucker leihweise an der eigenen Schule zur Verfügung stellen zu lassen.

Hierdurch kann in Folge dessen der Einsatz des Gerätes im eigenen Unterricht erprobt und die in der Fortbildungsveranstaltung erlernten Fähigkeiten vertieft und gefestigt werden. Über die internetgestützte Lernplattform des oben genannten Projekts steht dazu jegliches Begleitmaterial zur Verfügung.

Es wird in Gruppen gearbeitet, wobei sich die Teilnehmenden gegenseitig unterstützen und dabei gleichzeitig einen größtmöglichen Erfahrungsschatz generieren. Trotzdem besteht hierbei für jeden Lernenden die Pflicht, eigenständig zu handeln und sich in die Thematik des 3D-Drucks einzuarbeiten.

## 5 Der Unterrichtsgegenstand

Der Unterrichtsgegenstand der Fortbildung bzw. Unterrichtsreihe ist „[e]in den Schülern aus deren Erfahrung zugänglicher Sachverhalt, der im Unterricht aus einer fachlichen Perspektive erschlossen werden soll“ (Tenorth und Tippelt 2012, Unterrichtsgegenstand, 738). Durch ihn soll ein größtmöglicher Anreiz zum Erlangen von Handlungskompetenzen geschaffen werden.

Im umfangreichen Themenfeld des 3D-Drucks zieht sich dieser Gegenstand durch die Lernreihe wie ein roter Faden, indem er Ausgangspunkt der gegebenen Lernsituation und der darin enthaltenen Problemstellung ist. Hierbei soll das oben aufgezeigte Modell im Anwendungsbezug anhand eines konkreten Beispiels differenziert erörtert werden.

### 5.1 Entwicklung

Herausragendes Merkmal des 3D-Druckes ist die vielseitige Einsetzbarkeit. Daraus ergeben sich zwangsläufig ebenso viele verschiedene Handlungsfelder. Der Unterrichtsgegenstand soll von den Teilnehmenden selbstständig durchdacht, konstruiert, gedruckt und zusammengebaut werden. Die Auswahl des Gegenstands sollte dabei sowohl einen Berufsbezug haben, als auch die Lebenswirklichkeit der Teilnehmenden abbilden, um eine möglichst hohe Motivation bzw. einen nachhaltigen Anreiz für die selbstgesteuerte Bearbeitung zu erwirken. Zudem sollte sich eine Verwendbarkeit bzw. eine Übertragbarkeit auf Anwendungssituationen ergeben. Als verbindendes Thema vieler technischer Ausbildungen bietet sich der Maschinen- und Anlagenbau an.

Als ein gängiger Vorgang in der industriellen Anwendung mit einfacher Umsetzbarkeit fiel die Wahl auf die Konstruktion einer Maschine, die Portionierungen vornimmt. Mit diesem Unterrichtsgegenstand ist es möglich, alle oben genannten Aspekte zu berücksichtigen.

Bei der Frage des zu portionierenden Materials verboten sich Lebensmittel, weil der Kunststoff nicht lebensmittelecht ist und Nahrungsmittel in Versuchen nicht verschwendet werden sollten. Das Material darf nicht verkleben sowie die Maschine nicht verklemmen. Deswegen ergab sich die Idee, Fischfutterpellets zu portionieren. Um dieses Objekt lässt sich eine gute Lernsituation mit Kundenauftrag konstruieren.

## 5.2 Problemstellung

In der erarbeiteten Lernsituation tritt ein Kunde an die Lernenden mit der Bitte heran, für seinen heimischen Gartenteich eine automatische Fischfutterportioniermaschine für Futterpellets zu konstruieren. Diese kann sowohl mechanisch als auch modifiziert elektrisch betrieben werden. Sollte sich die Anlage bewähren, will er diese in größerer Form in seiner gewerblichen Fischzucht einsetzen.

Die Maschine ist übersichtlich gestaltet und die Gehäusebauteile besitzen einfache geometrische Formen. Sie fördert das Fischfutter über einen Spindeltrieb. Die Bauteile können wegen des Förderguts relativ große Toleranzen besitzen. Zusätzlich wird eine Handskizze im Vollschnitt gegeben (Abbildung 7).

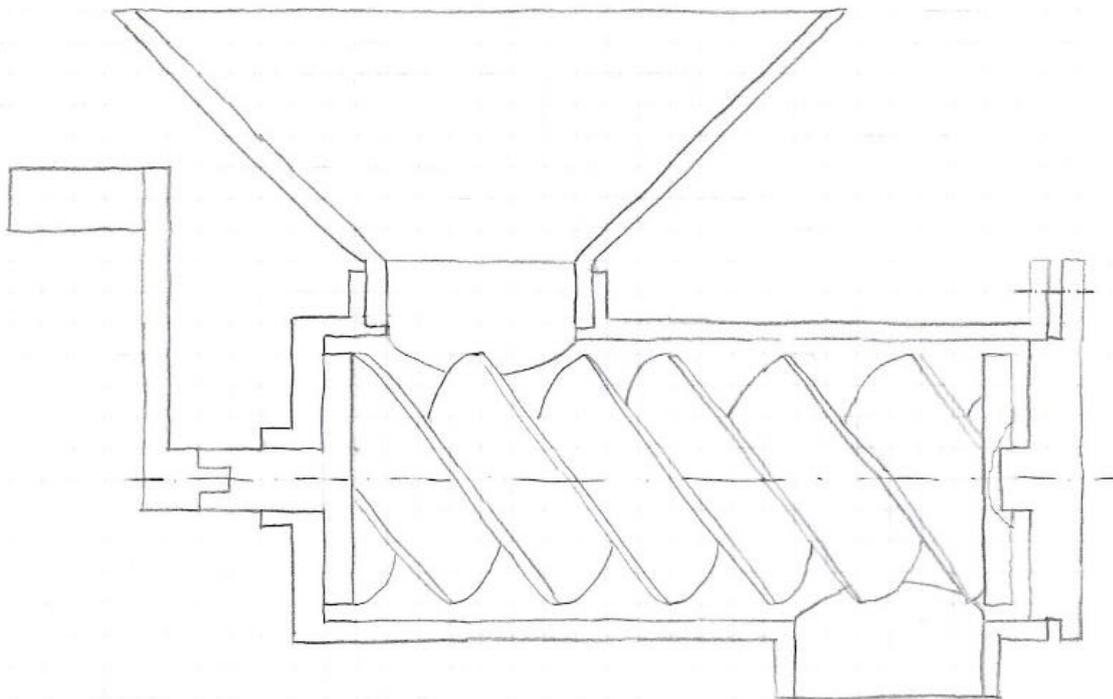


Abbildung 7: Handskizze - Ansicht im Vollschnitt

Ein Mitarbeiter des ausführenden Unternehmens hat bereits die Schnecke konstruiert und Druckeinstellungen festgelegt. Leider ist er - fiktiv - kurzfristig erkrankt, sodass die Teilnehmenden das Projekt der „Fischfutterportioniermaschine“ übernehmen und fertigstellen müssen.

### 5.3 Didaktische Begründung der Problemstellung

Die Portioniermaschine ist nach verschiedensten Gesichtspunkten ein sehr geeigneter Gegenstand, um exemplarisch in den 3D-Druck einzuführen. Das Thema der Fischfutterpellets scheint zuerst etwas abwegig, jedoch ist die Portionierung – wie oben bereits erwähnt – ein Ablauf mit gängiger Praxis in verschiedensten Anwendungen in der Industrie, der auf viele verschiedene Fördergüter übertragen werden kann. Der konstruktive Aufbau der Maschine ist einfach und verständlich gehalten. Sie besitzt wenige Teile, die mit wenig Aufwand miteinander verbunden werden können.

Das Teilevolumen zum Druck einer Fischfutterportioniermaschine ist für alle Bestandteile so gering, dass erstens eine überschaubare Menge Filament verbraucht und zweitens das maximale Druckraumvolumen von Einsteigerdruckern nicht überschritten wird. Gleichzeitig kann der Druck beliebig groß skaliert werden. Die mechanische Belastung der Bauteile ist so gering, dass sie mit Kunststoff und geringen Wandstärken realisierbar ist. Die Bauteile sind einfach gehalten, sodass eine Bewertung und nachträgliche Reflexion aufgrund einer Sichtprüfung möglich wird. Bei der Schnecke handelt es sich um ein komplexeres Bauteil, das vorangeschrittene Erfahrung in Druckeinstellung und Konstruktion benötigt. Durch die Vorgabe der Parameter sehen die Teilnehmenden, was der Drucker bewerkstelligen kann. Die Lernenden setzen die gegebenen Einstellungen um und sehen den Drucker in Aktion. Sie erlangen einen ersten Erfolg, weil das Kernelement der Portioniermaschine bereits fertiggestellt ist. Das Gehäuse – wie beispielsweise der Einfüll- und Speicherbereich - besitzt eine einfache geometrische Form. Der Schwierigkeitsgrad dieser Teile ist gering und damit optimal für erste Erfahrungen mit der Konstruktion von Druckteilen.

Der Konstruktionsprozess ist nur insoweit eingeschränkt, dass eine Ansicht im Vollschnitt gegeben ist. Damit erhalten die Lernenden eine gewisse Freiheit in diesem Prozessbereich, halten sich jedoch nicht zu lange an der Konzeption auf. Es wird ein klares Zeitfenster gesetzt, sodass die Lernenden selbstständig eine Aufgabenstellung an ihren Konstruktionsfähigkeiten anpassen und somit differenzieren können. Darüber hinaus wird in der Einheit die ergonomische Gestaltbarkeit ausgeklammert, die gerade den 3D-Druck kennzeichnet.

Weiterführend müssen die Lernenden ein Ineinanderpassen von gedruckten Teilen beachten: Die Schnecke – als gedrucktes Teil – soll sich in Bohrungen des Gehäuses drehen. Hier müssen an beiden Teilen Abweichungen im Druck vom ursprünglich konstruierten Modell beachtet und eingeschätzt werden, sodass ein Laufen der Welle bestmöglich gelingt. Es müssen druckbare Verbindungselemente geschaffen werden.

Alle diese Bestandteile bieten sich zur Anwendung des oben beschriebenen Konzepts zur Einführung des 3D-Drucks im Rahmen der Fortbildungs- und Unterrichtsgestaltung am Berufskolleg an.

## 6 Anwendung des erweiterten Prozessmodells VH/VDI 2222 auf die konkrete Problemstellung „Fischfutterportioniermaschine“

Anhand der Fischfutterportioniermaschine als Lernsituation werden nun alle Phasen exemplarisch des in Abbildung 6 vorgestellten Modells (Kapitel 3.2) ausgeführt. Um eine bessere Anschaulichkeit zu ermöglichen, wird jede Phase mit einem Ausschnitt des Gesamtmodells abgebildet.

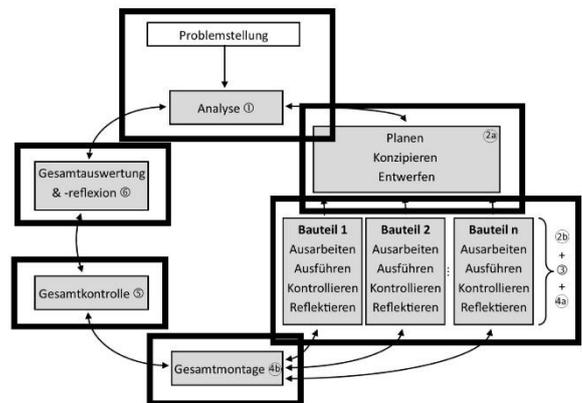


Abbildung 8: Übersicht Ausschnitte „erweitertes Prozessmodell“

### 6.1 Problemstellung & Analyse

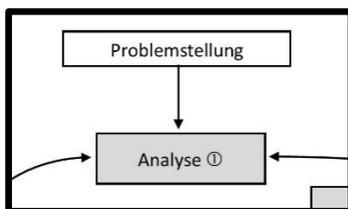


Abbildung 9: Problemstellung und Analyse „erweitertes Prozessmodell“

Die Problemstellung der Fischfutterportioniermaschine als fiktiver Kundenauftrag wird den Lernenden unterbreitet. Ihre Aufgabe besteht darin, eine Analyse der gegebenen Lernsituation vorzunehmen und eine klare Zielsetzung zu formulieren. Diese Zielsetzung bereitet erstens einen ersten Handlungsauftrag und ist zweitens unabdinglich, um in der 6. Phase der Reflexion die formulierten Ziele mit dem vorläufigen Gesamtergebnis abzugleichen. Hieraus ergeben sich weitere Schritte, wenn das Modell ein weiteres Mal mit selbiger Problemstellung durchlaufen werden muss.

Die Zielsetzung besteht darin, eine Maschine zu entwickeln, die aus einem Vorrat Fischfutterpellets einstellbare Einheiten portioniert. Sie soll als 3D-Druck-Teil gefertigt werden.

### 6.2 Planen – Konzipieren – Entwerfen

Im weiteren Schritt des Planens geht es darum, entlang der vorangegangenen Zielsetzung kleinschrittige Anforderungen zu formulieren. Die Anforderungsliste führt diese

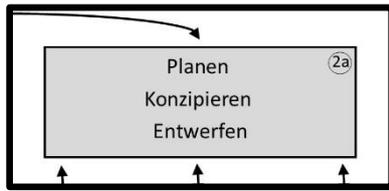


Abbildung 10: Planen, Konzipieren, Entwerfen „erweitertes Prozessmodell“

Überlegungen übersichtlich zusammen, sodass Kriterien wie beispielsweise eine einfache Bedienbarkeit der Fischfutterportioniermaschine durch nur zwei Knöpfe, weniger als acht Bauteile, Zusammenbau ohne Zuhilfenahme von Werkzeugen, Herstellungskosten unter 15 Euro u. Ä. klar definiert werden.

Für das Konzipieren kann die Gesamtfunktion auf die Funktionen der Bevorratung, Förderung und Portionierung vom Fördergut abstrahiert werden. Hieraus ergeben sich mögliche Bausteine zur Erfüllung der Teilfunktionen, die gegebenenfalls durch Vorversuche erprobt werden können.

Der Prozess des Konzipierens ist in der gegebenen Lernsituation eingeschränkt, weil durch die gegebene Handzeichnung und die zu nutzenden Druckdaten der Förderschnecke das Funktionsprinzip des Förderns festgelegt und eine mögliche Gestaltung des Gesamtaufbaus gezeigt ist. Anschließend geht es darum, Konzeptvarianten (z. B. in Bezug auf die jeweilige Lagerungsart der Förderschnecke) in Skizzen zu erarbeiten und die Zeichnungen anhand der festgelegten Zielsetzung zu bewerten.

Die ausgewählte Konzeptvariante wird anschließend maßstäblich entworfen und kontinuierlich verbessert. Dabei ergeben sich mehrere Bauteile wie beispielsweise das Gehäuse, der Fördergutspeicher, der Gehäusedeckel oder der elektrische Antrieb. Sie sind durch sich gegenseitig bedingende Toleranzen aufeinander zielgerichtet abgestimmt. Die Bauteile werden in der nachfolgenden Phase jeweils einzeln und parallel zueinander bearbeitet.

### 6.3 Ausarbeiten – Ausführen – Kontrollieren – Reflektieren

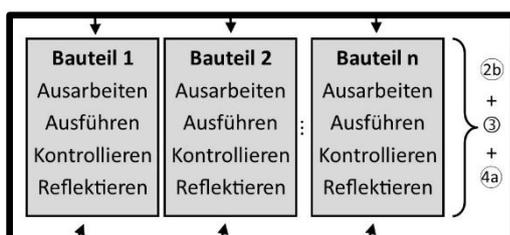


Abbildung 11: Ausarbeiten, Ausführen, Kontrollieren, Reflektieren aller Bauteile „erweitertes Prozessmodell“

Nach einer theoretischen Ausarbeitung der Einzelbauteile folgt nun ein praktisches Ausführen der 3D-Druck-Teile. Es müssen im Vorhinein Ziele der Ausführung, in Bezug auf Oberflächengüte, Form- und Lagetoleranzen und vieles mehr, festgelegt werden. Hierzu gehört nach der computergestützten

dreidimensionalen Konstruktion der Bauteile ein Import der Daten in ein Slicerprogramm. Dabei müssen Parameter wie Schichthöhen, Wandstärken und Füllgrad der Bauteile festgelegt und Besonderheiten wie zum Beispiel eine erhöhte mechanische Belastung im Bereich der Lagerung der Förderschnecke im Gehäuse beachtet werden. Ebenfalls müssen sich die Lernenden Gedanken über die Positionierung und Ausrichtung der Bauteile auf dem Druckbett machen. Zu beachten sind Haftung am Druckbett, Überhänge, Winkel und Stützstrukturen beim Fördergut Speicher, dem Gehäuse und allen weiteren Bauteilen. Hierzu sind die Druckzeit und der Filamentverbrauch begrenzende Kriterien.

Die Bauteildateien werden anschließend dem Drucker übergeben und der Druck wird gestartet. Eine Kontrolle findet entweder bereits bei augenscheinlichen Fehlfunktionen im Druckprozess statt oder anhand des fertig gedruckten Bauteils. Dabei werden die Kontrollergebnisse mit den vorher definierten Zielen der Ausführung in der Reflexion abgeglichen. Es ergeben sich Schlussfolgerungen, welche Voraussetzungen verändert werden müssen, um sich den Zielen anzunähern. Ein komplexes Zusammenspiel aus Einstellungen und Voraussetzungen am Drucker (z. B. fehlerhafte Kalibrierung, Verstopfung der Düse), Einstellungen am Slicer (z. B. ungeeignete Temperatur von Düse oder Druckbett, unzureichende Stützstruktur, ungeeignete Schichtstärke) und Geometrie der Konstruktion (z. B. fehlerhafter Faktor zum Ausgleich von Abweichungen bei Bohrungen) bedingt mehrmaliges Wiederholen und Durchlaufen aller Teilprozesse bis zum Erreichen des festgelegten Ziels.

Begleitend zum Problemlöseprozess ist es zweckdienlich, ein Lerntagebuch einzuführen. Den Lernenden ermöglicht dies die Dokumentation von Problemlösestrategien. Zudem dient es als Nachschlagewerk.

#### 6.4 Gesamtmontage

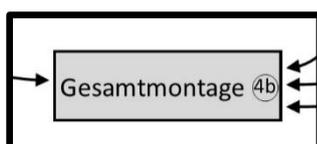


Abbildung 12: Gesamtmontage  
"erweitertes Prozessmodell"

In diesem Prozessschritt geht es darum, die Einzelergebnisse zusammenzufügen. Entsprechen die gefertigten Bauteile aus der vorherigen Phase ihren Zielvorgaben, wird nun versucht, alle Einzelteile zu montieren. So muss die Förderschnecke in das

Gehäuse eingebracht, der Fördergutspeicher an die vorgegebene Stelle und der Antrieb an seine Aufhängung gebracht werden.

## 6.5 Gesamtkontrolle

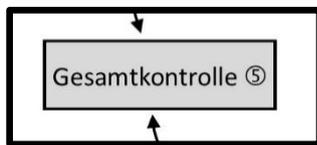


Abbildung 13:  
Gesamtkontrolle „erweitertes  
Prozessmodell“

Die Druckteile wurden bereits jeweils unabhängig voneinander kontrolliert, jedoch wurde das Zusammenspiel der Bauteile zueinander noch nicht betrachtet. Gegebenenfalls werden erst hier, im Rahmen der Gesamtkontrolle, Abweichungen der Einzelteile von den definierten Toleranzen bemerkt. Gerade Form- und Lagetoleranzen an den Lagerstellen der Förderschnecke sind für eine einwandfreie Funktion der Fischfutterportioniermaschine zwangsläufig einzuhalten.

Um zu prüfen, ob die Gesamtfunktion der vorherigen Zielsetzung entspricht, müssen neben der reinen Baugruppenkontrolle Versuche konzipiert werden. Es geht beispielsweise darum, zu überprüfen, ob in der durchgeführten Konstruktion Winkel für ein Nachrutschen des Fischfutters ausreichend groß gewählt worden sind. Außerdem ist zu kontrollieren, ob die Gehäuseöffnung ausreichend dimensioniert wurde, damit die Fischfutterpellets sich nicht gegenseitig verklemmen, bevor sie die Förderschnecke erreichen. Kriterien der Gesamtkontrolle können deshalb definierte Eingabe- und Ausgabemengen von Fischfutter je Schneckenumdrehung sein, um eine Vergleichbarkeit zu Weiterentwicklungen zu schaffen.

## 6.6 Gesamtauswertung & -reflexion

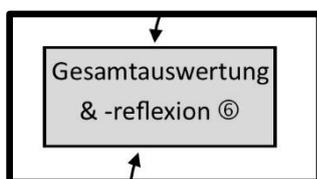


Abbildung 14:  
Gesamtauswertung & -reflexion  
„erweitertes Prozessmodell“

Die letzte Phase beinhaltet eine Beurteilung der Ergebnisse aus der Kontrollphase.

Sollte mit der aktuellen Produktversion die gegebene Zielsetzung nicht erreicht worden sein, ist eine weitere inhaltliche Reflexion vorzunehmen. An dieser Stelle muss erneut die erste Phase der Analyse Ausgangspunkt der Überlegungen werden und der Kreislauf ein weiteres Mal in seinen Einzelschritten durchlaufen werden. Hierzu müssen die Einzelphasen angepasst werden.

Sollte mit der aktuellen Produktversion die gegebene Zielsetzung erreicht worden sein, ist dennoch eine Reflexion über das eigene methodische Vorgehen bzw. die Arbeit des Teams für einen Transfer auf zukünftige Problemstellungen und Projekte dienlich.

Wurde im gegebenen Beispiel auf Vorversuche zum Nachrutschen des Fischfutters in der Phase des Ausarbeitens des Fördergutspeichers aus Zeitgründen verzichtet und ergaben sich in der Gesamtkontrolle in diesem Bereich Probleme, kann z. B. Zeitmanagement Gegenstand der methodischen Reflexion sein.

Grundsätzlich bildet dieses Vorgehen – wie in Kapitel 3 bereits erwähnt – das Wirkprinzip des Spiralcurriculums ab. Bei jedem Durchlaufen des erweiterten Prozessmodells bauen sich zunehmend Wissen, Erfahrungen und Kompetenzen bei den Lernenden auf. Niveau und Komplexität steigen. Sie profitieren von ihren eigenen Erfahrungen und bewerten Situationen auf dieser Grundlage in einem größeren Gesamtkontext.

## 7 Zusammenfassung & Ausblick

In dieser fachwissenschaftlichen Projektarbeit wurde einleitend folgende These formuliert:

*Die Technologie des 3D-Drucks macht es möglich, einen fachpraktischen Unterrichtsgegenstand der beruflichen Bildung zu konstruieren, der alle Phasen der vollständigen Handlung abbildet und eine Verknüpfung zum ingenieurwissenschaftlichen Konstruieren nach VDI-Richtlinie 2222 ermöglicht. Damit ergibt sich eine ganzheitliche Herangehensweise mit einem hohen Maß an Handlungsorientierung und Handlungskompetenz.*

Ausgehend von dieser These wurde aus Bestandteilen der vollständigen Handlung sowie Elementen der VDI 2222 ein so genanntes „erweitertes Prozessmodell“ entwickelt und mehrere Einzelaspekte grafisch übersichtlich zusammengefasst.

Um zu zeigen, wie anschaulich dieses Modell im Bereich des 3D-Drucks im berufsbildenden Handlungsfeld eingesetzt werden kann, wurde exemplarisch der Unterrichtsgegenstand der „Fischfutterportioniermaschine“ ausgewählt und in den Einzelphasen des erweiterten Prozessmodells erörtert.

Damit wird der gewünschten ganzheitlichen Herangehensweise Rechnung getragen und alle Phasen der vollständigen Handlung werden von den Lernenden selbstständig durchlaufen.

Daneben wird die Handlungsorientierung in den Vordergrund gerückt, indem der Unterrichtsgegenstand als mögliche Problemstellung des Berufsalltages eingeführt wird und mit seinem hohen Anteil an Eigenaktivität und aktiv-entdeckendem Lernen zu nachhaltigem Lernen führt (vgl. Kapitel 2.1).

Diese Herangehensweise zielt auf die Erlangung mehrerer breit gefächerter Kompetenzen ab. Um eine Entwicklung von Handlungskompetenzen zu erwirken, müssen alle Elemente aus den Bereichen der Methoden-, Fach- und Sozialkompetenz (vgl. Kapitel 2.2) zwingend vertreten sein und Berücksichtigung finden:

Die Lernsituation und das beschriebene Modell setzen einen großen Schwerpunkt im Bereich der Methodenkompetenz mit einem planvollen systematischen Vorgehen zum Bewältigen verschiedenster Probleme im Löseprozess und einem mehrfach unabdingbaren Reflexionsprozess. Darüber hinaus soll ein großes Maß an Fachkompetenz in Form von beispielsweise Sachverstand im selbstgesteuerten maschinenbautechnischen Konstruieren und Umgang mit dem komplexen Thema des 3D-Druckes erlangt werden. Auch den Aspekten der Sozialkompetenz kommt ein großer Anteil zu, indem in Phasen des gemeinsamen Lernens und Arbeitens in der Gruppe individuelle Beteiligung und Interaktion der Teilnehmenden untereinander gefordert sind.

Auf der Grundlage dieser fachwissenschaftlichen Projektarbeit wird nun das hier erarbeitete didaktische Rahmenkonzept modellhaft im Rahmen der beschriebenen Fortbildungs- und Unterrichtsreihe in Form von zwei Seminartagen bzw. von 5 Doppelstunden am Max-Born-Berufskolleg Recklinghausen praktisch erprobt.

Eine darauf aufbauende differenzierte Feinplanung der einzelnen Veranstaltungseinheiten wird im Anschluss von Pädagoginnen und Pädagogen der Bildungseinrichtung vorgenommen.

Nach dieser Erprobungsphase ergeben sich erfahrungsgemäß Anpassungen und Modifizierungen auf jeweilige Zielgruppen und Voraussetzungen. Darüber hinaus werden zeitliche Rahmenbedingungen und die Umsetzbarkeit überprüft.

Erkenntnisse daraus können im Rahmen weiterer Studienarbeiten evaluiert, ausgewertet und abgeleitet werden.

Unterstützung für die teilnehmenden Lernenden bietet das Projekt „Dritter Lernort – Die Lernplattform für Technische Produktdesigner“ ([www.dritter-lernort.de](http://www.dritter-lernort.de)) des Fachgebiets Maschinenelemente der TU Dortmund: Im Anschluss an eine abgeschlossene Fortbildungsveranstaltung können von dort 3D-Drucker leihweise an der eigenen Schule samt ausgewähltem Begleitmaterial zur Verfügung gestellt werden. Hierdurch kann in Folge dessen der Einsatz des Gerätes im eigenen Unterricht erprobt und die in der Fortbildungsveranstaltung erlernten Fähigkeiten vertieft und verfestigt werden.

## 8 Literaturverzeichnis

- Bauer, Hans G., Claudia Munz, Nicolas Schrode, und Jost Buschmeyer. *Die Vollständige Arbeitshandlung (VAH) - Ein erfolgreiches Modell für die kompetenzorientierte Berufsbildung*. 1. Auflage. Berlin: R&W-Verlag der Editionen, 2011.
- Berchtold, Stephan, und Michael Stock. „Lernfirmen - Wo ist das Denken im handlungsorientierten Unterricht?“ *Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, Ausgabe 10. Juli 2006.
- Bruner, Jerome. „Der Prozess der Erziehung.“ In *Sprache und Lernen, Bd. 4*, von Werner Loch. Düsseldorf: Schwann, 1980.
- Dietrich, G. *Pädagogische Psychologie*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt, 1984.
- Egyptien, Eugen-Ludwig. *QUA-LiS NRW - Berufsbildung Nordrhein-Westfalen - Pädagogische Fachbegriffe in der beruflichen Bildung - Glossar - Spiralcurriculum*. 03. April 2008. <http://www.berufsbildung.nrw.de/cms/pdagogische-fachbegriffe/glossar/spiralcurriculum.html> (Zugriff am 15. Dezember 2016).
- Festge, Reinhold, und Stefan Schulte. „Interview: Eine ganze Branche muss umschulen.“ *Westfälische Allgemeine Rundschau*, 21. August 2015: ohne Seitenanzahl.
- Fleischhauer, Jan. „Lernentwicklung in einer wiederholt durchlaufenden Lerneinheit zur Elektrostatik.“ *Justus-Liebig-Universität Gießen - Institut für Didaktik der Physik - Dokumente*. 02. Juli 2006. <http://www.uni-giessen.de/fbz/fb07/fachgebiete/physik/einrichtungen/didaktik/doku/ExamFleischhauer> (Zugriff am 14. Dezember 2016).
- Gillen, Julia. „Kompetenzorientierung als didaktische Leitkategorie in der beruflichen Bildung –Ansatzpunkte für eine Systematik zur Verknüpfung curricularer und methodischer Aspekte.“ *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online*: [http://www.bwpat.de/ausgabe24/gillen\\_bwpat24.pdf](http://www.bwpat.de/ausgabe24/gillen_bwpat24.pdf) (Zugriff am 14. Dezember 2016), Januar 2014.

- Gudjons, Herbert. *Handlungsorientiert lehren und lernen - Schüleraktivierung, Selbsttätigkeit, Projektarbeit*. 7., aktualisierte Auflage. Regensburg: Julius Klinkhardt, 2008.
- Hacker, Winfried. *Allgemeine Arbeitspsychologie - Psychische Regulation von Wissens-, Denk-, und körperlicher Arbeit*. 2., vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Herausgeber: Eberhard Ulich. Bern: Hans Huber Verlag, Hogrefe AG, 2005.
- Hecker, Joachim. *WDR5-Mediathek - Jedes Teil ein Unikat - 3D-Druck erobert die Industrie*. 19. Juli 2016. <http://www1.wdr.de/mediathek/audio/wdr5/wdr5-leonardo-top-themen/audio-jedes-teil-ein-unikat---d-druck-erobert-die-industrie-100.html> (Zugriff am 01. Oktober 2016).
- Künne, Bernd. *Konstruktionssystematik und CAD - Skript zur Veranstaltung*. Dortmund: Institut für Konstruktion und Werkstoffprüfung - Fachgebiet Maschinenelemente, 2016.
- Meyer, Hilpert. *Unterrichtsmethoden - Band 2 Praxisband*. 14. Auflage. Berlin: Cornelsen Verlag, 1987.
- Müller, Hans-Joachim, und Wolfgang Stürzl. „Handlungs- und erfahrungsorientiertes Lernen - Ein methodisches Konzept zur integrierten Förderung von Fach- und Schlüsselqualifikationen.“ *Methoden betrieblicher Weiterbildung*, 1990: 172-198.
- Ott, Bernd. *Grundlagen des beruflichen Lernens und Lehrens - ganzheitliches Lernen in der beruflichen Bildung - Berufs- und Arbeitspädagogik*. 4. Auflage. Berlin: Cornelsen, 2011.
- Richter, Bernhard. *Konstruktionspraxis - Podiumsdiskussion - Industrie 4.0 braucht Ausbildung 4.0*. 18. Mai 2015. <http://www.konstruktionspraxis.vogel.de/industrie-40-braucht-ausbildung-40-a-491292/> (Zugriff am 05. Oktober 2016).
- Riedl, Alfred. *Didaktik der beruflichen Bildung*. 2., komplett überarbeitete und erheblich erweiterte Auflage. München: Franz Steiner Verlag, 2011.
- Rittmeister, Dag-Stefan. *Internetauftritt Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft - Deutsche Unternehmen führend beim Einsatz von 3D-Druck*. 19. Juli 2016.

<http://www.ey.com/de/de/newsroom/news-releases/ey-20160719-deutsche-unternehmen-fuehrend-beim-einsatz-von-3d-druck> (Zugriff am 28. September 2016).

Scherer, Petra, und Elisabeth Moser Opitz. *Fördern im Mathematikunterricht der Primarstufe - Mathematik Primar- und Sekundarstufe*. Herausgeber: Friedhelm Padberg. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2010.

Schöpf, Nicolas. *Band 11: Ausbilden mit Lern- und Arbeitsaufgaben - Leitfaden für die Bildungspraxis*. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag, 2005.

Tenorth, Heinz-Elmar, und Rudolf Tippelt. *Lexikon Pädagogik*. 1. Auflage. Weinheim/Basel: Beltz, 2012.

Thum, Marcel. *3D Grenzenlos - ONLINE-Magazin zum 3D-Druck*. 10. Mai 2016. <https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/3d-drucker/> (Zugriff am 02. Oktober 2016).

Winter, Heinrich. *Entdeckendes Lernen im Mathematikunterricht*. 1. Auflage. Braunschweig: Vieweg Verlag, 1989.

Wittel, Herbert, Dieter Muhs, Dieter Jannasch, und Joachim Voßiek. *Roloff/Matek Maschinenelemente - Normung, Berechnung, Gestaltung*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einbindung beruflicher Handlungskompetenz (Ott 2011, 201) .....	4
Abbildung 2: Grafische Darstellung des Spiralcurriculums (Bruner 1980).....	5
Abbildung 3: Modell der vollständigen Handlung (Jürgens-Pieper 2001) .....	7
Abbildung 4: Vorgehensplan zur Schaffung neuer Produkte nach VDI-Richtlinie 2222, Bl. 1 (Wittel, et al. 2015, 16) .....	10
Abbildung 5: Verknüpfung von VH und VDI 2222 .....	15
Abbildung 6: Erweitertes Prozessmodell VH/VDI 2222 .....	16
Abbildung 7: Handskizze - Ansicht im Vollschnitt .....	20
Abbildung 8: Übersicht Ausschnitte „erweitertes Prozessmodell“ .....	23
Abbildung 9: Problemstellung und Analyse „erweitertes Prozessmodell“ .....	23
Abbildung 10: Planen, Konzipieren, Entwerfen „erweitertes Prozessmodell“ .....	24
Abbildung 11: Ausarbeiten, Ausführen, Kontrollieren, Reflektieren aller Bauteile „erweitertes Prozessmodell“ .....	24
Abbildung 12: Gesamtmontage "erweitertes Prozessmodell" .....	25
Abbildung 13: Gesamtkontrolle „erweitertes Prozessmodell“ .....	26
Abbildung 14: Gesamtauswertung & -reflexion „erweitertes Prozessmodell“ .....	26