



Gamification of Produktionsautomatisierung

M. Erler*, A. Brosius

Professur Formgebende Fertigungsverfahren, Institut für Fertigungstechnik, Fakultät Maschinenwesen, TU Dresden

Abstract

Die Vermittlung technisch anspruchsvoller Lehrinhalte in Übungen ist oft an die Verwendung von Software geknüpft, die zur Bearbeitung benötigt wird. Gleichzeitig ist eine Vielzahl von Anforderungen und technischen Gegebenheiten zu beachten. Klassische Lehrveranstaltungen folgen dem Frontalunterrichtsprinzip. Der Lehrende zeigt an einem Beispiel alle zu erfüllenden Arbeitsschritte. Die Studierenden lernten auf diese Weise die Bedienung der Software und der benötigten Funktionen vorwiegend nach dem Prinzip „Vormachen und Nachmachen“. Leichte Variationen zum Beispiel erfordern dann noch eine gewisse Adaptionsleistung des Studierenden des Gesehenen an die eigene Aufgabenvariante. Die Ergebnisse werden anhand festgelegter Kriterien und Fehlerkataloge bewertet.

Diese Vorgehensweise ist zum einen wenig motivierend und zum anderen weit von den späteren Anforderungen der realen Arbeitswelt entfernt. Der Zwang zur Online-Lehre infolge der Covid-19-Pandemie wurde als Chance genutzt, bei der Lehrveranstaltung Produktionsautomatisierung dieses nicht mehr zeitgemäße Lehrkonzept durch ein neues zu ersetzen. Es basiert auf den Prinzipien der Gamification und erweitert den Handlungsraum des Lernenden erheblich. Durch den Einsatz real wirkender Belohnungen und der Möglichkeit die eigenen Ergebnisse selbst kontrollieren zu können, wird eine intrinsisch motivierende Arbeitsumgebung geschaffen. Die Integration einer wettbewerblichen Komponente steigert die Motivation zusätzlich.

The teaching of technically demanding content in exercises is often linked to the use of software that is required for processing. At the same time, a large number of requirements and technical conditions must be taken into account. Classical lectures follow the principle of frontal teaching. The teacher uses an example to show all the steps to be taken. In this way, the students learn how to operate the software and the required functions primarily according to the principle of "show and tell". Slight variations, for example, still require a certain adaptation performance of the student of the seen to the own task variant. The results are evaluated on the basis of fixed criteria and error catalogs.

On the one hand, this approach is not very motivating and, on the other hand, it is far away from the later requirements of the real working world. The compulsion to teach online as a result of the Covid 19 pandemic was used as an opportunity to replace this outdated teaching concept with a new one in the Product Automation course. It is based on the principles of gamification and considerably expands the learner's scope of action. An intrinsically motivating work environment is created through the use of real rewards and the possibility to control one's own results. The integration of a competitive component further increases motivation.

*Corresponding author: martin.erler@tu-dresden.de

1. Ausgangssituation

Die Lehrveranstaltung Produktionsautomatisierung richtet sich primär an Studierende des Maschinenbaus in der Vertiefungsrichtung Produktionstechnik. Doch auch Wirtschaftsingenieure und Informatiker belegen diese Lehrveranstaltung. Ziel der Lehrveranstaltung ist die Vermittlung von Automatisierungstechnologien, Fertigungsplanungswissen, gängigen Tools und Workflows entlang des Produktentstehungsprozesses (PEP). Dabei liegt der Fokus auf der Fertigung und deren Planung. Die Arbeitsvorbereitung nimmt dabei eine besondere Stellung ein. Kerninhalt im klassischen Offline-Format war die Planung einer Fräsbearbeitung mit vorgeschalteter Konstruktion des zu planenden Bauteils mit der CAD/CAM-Software PTC Creo. Der Ablauf war dabei streng linear. Auf Basis einer gegebenen Zeichnung wurde das Bauteil konstruiert und anschließend dessen Bearbeitung geplant. Dies erfolgte, begleitet durch den Lehrenden, sukzessiv in mehreren Übungsstunden. Die Studierenden lernten auf diese Weise die Bedienung der Software und der benötigten Funktionen vorwiegend nach dem Prinzip „Vormachen und Nachmachen“. Leichte Variationen in der Bauteilgeometrie bedingten eine gewisse Adaptionsleistung des Studierenden des Gesehenen an die eigene Aufgabenvariante. Die Ergebnisse wurden anhand festgelegter Kriterien und Fehlerkataloge bewertet.

2. Etwas musste geändert werden

Mit der Verlagerung der Lehre in den digitalen Raum bot sich die einmalige Chance sowohl die Inhalte als auch die Vermittlungsmethoden der Lehrveranstaltung anzupassen. Die adressierte Hauptverbesserungsgröße sollte die Motivation der Studierenden sein. Diese gilt über alle Studienrichtungen und Lehrveranstaltungen hinweg seit Jahren als verbesserungswürdig und gleichzeitig als kritische Komponente für den Studienerfolg. Problematisch ist die Aktivierung der Studierenden zur Vermeidung von Prokrastination [1]. Insbesondere die Selbstwirksamkeit nimmt dabei eine zentrale Rolle ein, da sie „mit einem höheren Studieninteresse und einer höheren Leistungsmotivation zusammenhängt. Dadurch

verfolgen Studierende stärker das Ziel, erfolgreich im Studium zu sein und erzielen höhere Studienleistungen“ [2]. Der mangelnde Zugang zu Information und Wissen jedenfalls kann in Zeiten des Internets nicht mehr als Grund für hohe Abbruchquoten dienen.

Die reine Vermittlung von Fachwissen kann damit auch nicht länger alleiniger Hauptbestandteil der Lehre sein. Die Studierenden erwarten (zu Recht) eine Evolution der Lehre. Grundlegende Motivationsmechanismen, die eine möglichst breite Front verschiedener Charaktere ansprechen, sollten Bestandteil möglichst vieler Lehrveranstaltungen sein. Denn was Spaß macht, macht man gern und man bemüht sich besser zu werden. Doch gerade dieser Lernspass hat in den letzten beiden Semestern in besonderem Maße gelitten, wie eine Umfrage am Campus St. Gallen zeigt (Abbildung 1).

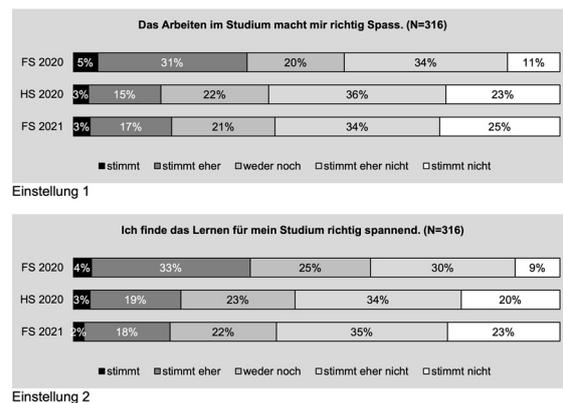


Abbildung 1: gesunkener Lernspass während Covid-19 [3]

Weiterhin war das bisherige Lehrkonzept sehr auf das Einüben eines bestimmten Lösungsweges ausgerichtet. Die Lösung war in Form der fertigen Konstruktion bereits teilweise gegeben. Es musste nur mit einer korrekten Fertigungsplanung für diese erstellt werden. Was für eine solche zu tun war, wurde an einem sehr ähnlichen Beispiel vorgeführt. Dem Lernenden wurden auf diese bereits viele Handlungs- und Entscheidungsschritte abgenommen. So wurden ihm funktionierende Bearbeitungsstrategien, Werkzeugauswahl und Aufspannungen gezeigt, die sich nur geringfügig von denen der zu erstellenden Planung unterscheiden. Nicht wenige von den Studierenden erstellten Lösungen waren hierdurch reine

Nachahmungen der gezeigten Vorgehensweise. Dies war zum einen wenig motivierend, da der Lösungsraum durch die gegebene Konstruktion grundsätzlich beschränkt war. Zum anderen wurde der Lernende so um den eigentlich interessanten und fordernden Teil der Aufgabe gebracht: das Finden einer überhaupt funktionierenden Lösung und Vorgehensweise. Denn hierfür sind deutlich komplexere Denkvorgänge notwendig als für das reine Nachmachen. So erfordert beispielsweise die Bearbeitungsreihenfolge zahlreiche zu beachtende technische und technologische Bedingungen mit sich, die alle beachtet und mitgedacht werden müssen. Um diese berücksichtigen zu können, ist es notwendig, sich tiefergehend mit den dahinterstehenden Anforderungen und Konsequenzen zu beschäftigen. Da diese häufig nicht monokausal sind, sondern aus einer Kombination von Konstruktion und gewählter Vorgehensweise resultieren, muss der Lernende immer wieder auch seine grundlegend gewählte Bearbeitungsreihenfolge überdenken. Das sich hieraus im tatsächlichen Arbeitsablauf ergebende iterative Vorgehen wurde durch die gezeigte Lösung am Beispieltitel weitestgehend unterbunden und der mögliche Lerneffekt verhindert.

Dass diese Annahme zutrifft, zeigte sich an immer wieder gemachten Fehlern, die als typische Nachahmungsfehler eingestuft werden können. So konnten beispielsweise

- die Verwendung der Werkzeuge aus dem Beispiel, obwohl diese eher unpassend waren,
- Werkzeugwege, die keinen Abtrag erzeugen (Luftschnitte),
- unnötig viele Umspannungen (wie im Beispiel) oder
- technologisch falsche Bearbeitungsreihenfolgen

beobachtet werden.

Ein weiteres Hindernis war die Art, wie die Konsultationen organisiert waren. Diese fanden physisch im Computer-Pool statt. Hierdurch war zwar der persönliche Kontakt zum Lehrenden gegeben, jedoch war die Interaktion zwischen Lehrenden und Lernendem auf das direkte Gespräch beschränkt. Diesem konnten zwar die anderen Lernenden lauschen. Doch

ist gerade bei technisch anspruchsvollen Fragen die Visualisierung der Problemlage und Lösung aus didaktischer Sicht mehr als sinnvoll. Es ist beispielsweise sehr schwierig mit Worten die Auswahl eines geeigneten Werkzeuges zu beschreiben, wenn diese primär von der Geometrie des Features abhängt. In solchen Fällen begab sich der Lehrende zum Platz des Lernenden und beide betrachteten dessen Bildschirm. So war der Erkenntnisgewinn dieser Problemstellung auf einen Lernenden beschränkt. Es war absolut die Regel, dass der Lehrende während einer Konsultation immer wieder dieselben Fragen beantworten oder sehr ähnliche Probleme lösen helfen musste.

Nahm man alle Faktoren zusammen, so zeichnete sich das Bild einer Lehrveranstaltung, die auf das Übernehmen und Anpassen gezeigter Handlungsschritte auf eine sehr ähnliche Aufgabe ausgerichtet war. Die Vermittlung des Wissens des Lehrenden war nah am Konzept des Frontalunterrichts angelehnt. Die Möglichkeit eigene Fehler erkennen und nachvollziehen zu können war kaum vorgesehen. In Verbindung mit dem begrenzten Gestaltungsspielraum war die Motivation der Lernenden sich mit den eigentlich interessanten Aspekten der Fertigungsplanung zu beschäftigen eher begrenzt.

3. Gamification

Um dies zu ändern, wurde der Ansatz der Gamification gewählt [4]. Es ist allgemein bekannt, dass „Gamification dazu beitragen kann, die Motivation zur arbeitsbezogenen Anwendung dieser Systeme oder zum Erlernen des Umgangs mit Software zu unterstützen“ [5]. Hierzu werden spielerische Elemente wie beispielsweise High Scores, Auszeichnungen, virtuelle Belohnungen oder verschiedene Spielebenen (Level) der zugrunde liegende Aufgabe hinzugefügt.

Doch auch die Aufgabenstellung selbst muss diesem Konzept angepasst werden bzw. dafür geeignet sein. Um den Lernenden dazu zu bringen, sich um die angebotenen Belohnungselemente zu bemühen, müssen sowohl die erreichbaren Ziele attraktiv sein als auch die zum Erreichen notwendigen Schritte hinreichend klar und erreichbar sein. Was für ei-

nen Lernenden erreichbar erscheint, hängt jedoch stark von dessen individuellen Kompetenzen und Wissen ab. Mit der stetig wachsenden Anzahl Studierender hat diese Spreizung zugenommen. Die Modularisierung der Lehre hat zudem für ein sehr breites Studienfachfeld gesorgt. So sind in dieser Lehrveranstaltung neben Produktionstechnikern regelmäßig auch Studierende der Wirtschaftswissenschaften, des Lehramts und auch der Informatik vertreten. Die fachlichen Grundlagen, die diese Gruppen mitbringen unterscheiden sich sehr stark. Teilweise sind nicht einmal die verfahrenstechnischen Grundlagen vorhanden. Um diesen äußerst heterogenen Kompetenzniveaus dennoch ein selbstgesteuertes Lernen zu ermöglichen, bedarf es mehrerer Lösungswege. So wird die Chance erhöht, dass selbst bei nur geringem Vorwissen, eine Herangehensweise an das Problem gefunden werden kann.

Erschwerend kam hinzu, dass aufgrund der Covid-19-Beschränkungen auf Elemente oder Hilfsmittel, die physische Präsenz erfordern, verzichtet werden musste. Eine Verlagerung der gesamten Lehrveranstaltung in den virtuellen Raum war also geboten. Dies bringt jedoch auch einige Nachteile mit sich. So ist bekannt, dass manche Menschen den persönlichen Kontakt zum Lehrenden oder Kommilitonen benötigen, um für sich eine positive Arbeitsmotivation zu entwickeln. Wieder andere Menschen lernen primär durch das Gespräch und den damit einhergehenden Austausch mit einem anderen Menschen. Die Gamification kann hier helfen mit anderen ins Gespräch zu kommen.

Den Kern bildet dabei die Aufgabenstellung. Diese ist so offen hinsichtlich möglicher Lösungen gestaltet, dass es als ausgeschlossen gelten kann, dass zwei Studierenden unabhängig voneinander die gleiche Lösung finden. Hierdurch können sich die Lernenden über Ihre Ideen austauschen, ohne in ihrer Motivation gehemmt zu werden. Auch können Sie nicht einfach die Lösungen anderer übernehmen. Dies fördert den fachlichen Austausch, da stets die Frage nach dem „wieso hast Du das so gemacht?“ mitschwingt.

Damit der Lernende aber an diesen Punkt kommt, wo er bereits voll mit der Aufgabe beschäftigt ist, muss zuerst die initiale Einstiegschwelle überwunden werden. Diese wird oft als „Berg“ empfunden, von dem man anfangs nicht genau weiß, wie man sich ihm nähern soll. Dies führt oft dazu, dass gar nicht erst mit der Bearbeitung begonnen wird

Um dieses Problem zu lösen und die Motivation des Lernenden zum Einstieg in die Aufgabe zu erhöhen, wurde auf mehrere Maßnahmen zurückgegriffen:

- eine Aufgabestellung, die Projektionsfläche bietet und somit die Identifikation steigert,
- ein Konstruktionsaufgabe, die für jeden ohne technische Vorkenntnisse verständlich ist,
- eine Zielstellung, die sofort und für jeden erfassbar und überprüfbar ist
- sowie ein Arbeits- und Lernmodus, der zum Diskutieren und Austausch einlädt.

4. Umsetzung

Die Aufgabenstellung führt den Lernenden in die Situation als Neuling bei einem fiktiven innovativen Spielzeughersteller ein. Dort ist er für den Sonderauftrag „Konstruktion und Fertigung einer Murmelbahn in Kleinserie“ verantwortlich. An die Konstruktion werden konkrete Anforderungen gestellt (z.B. Mindestlänge oder Mindestgefälle). Es gibt jedoch keinerlei Vorgaben, wie diese zu erfüllen sind. Lediglich ein maximaler Stückpreis ist vorgegeben, um ein gewisses Mindestniveau sicherzustellen bei Lernenden, die diese Lehrveranstaltung mit dem Aufwandsminimum betreiben. Darüber hinaus ist er allein an die gegebene Fertigungsumgebung (Werkzeugkatalog und Werkzeugmaschine) gebunden. Hierdurch erhält der Lernende viele Freiheitsgrade, welche eine annähernd unendliche Anzahl von Herangehensweisen und Lösungen ermöglicht. Es wird dabei absichtlich darauf verzichtet, eine Beispiellösung zu zeigen, um den Lösungs- und Denkraum nicht einzuschränken.

Als Software-technische Grundlage wurde Fusion360 von Autodesk gewählt. Diese bietet neben den zwingend benötigten Eigenschaf-

ten (lauffähig auf allen relevanten Betriebssystemen, online verfügbar, kostenlos für Lehrenden und Lernende) und Funktionen (durchgängiges CAD- CAM, CAM-Verifikationsmodul) ein sehr intuitives Bedienkonzept. Zudem gibt es viele kostenlos verfügbare Lernressourcen. Hierdurch ist dem Lernenden möglich alle Schritte in einer Software zu gehen. Lästige Schnittstellenarbeit (z.B. Export von Dateien, Merken von Daten) entfällt. Dies fördert insbesondere das wechselseitige Spiel zwischen Konstruktion und Fertigung und öffnet damit einen sehr großen Handlungsspielraum, da der Lernende sich auf die Lösungsfindung konzentrieren kann und nicht von lästigen Umständen immer wieder unterbrochen wird. Dies fördert auch das Aufkommen des sogenannten Flows. Dieser stellt sich ein, wenn man vollkommen in der Aufgabe versinkt, und wird von den allermeisten Menschen als angenehm und erstrebenswert empfunden.

Um der sich manchmal aufkommenden Überforderung infolge der schier unendlichen Anzahl von Handlungsoptionen wird über die starken Abhängigkeiten beider Teile voneinander, welche denen eines echten PEP nahekommen, entgegengewirkt. So sind zwar auf den ersten Blick unzählige Lösungen denkbar. Jedoch wird beim Ausprobieren schnell klar, dass viele aufgrund unterschiedlichster Gründe nicht zielführend sind.

Um den Einstieg möglichst vielen Nutzern mit unterschiedlichen Übungsgraden und -verhalten zu erleichtern, wurden vor Übungsbeginn Videos auf OPAL bereitgestellt mit weiterführenden Links. So bestand die Möglichkeit, bereits vorab das notwendige Wissen zu erwerben und zu üben. Für andere Lerntypen fand eine digitale Einführungsveranstaltung (Goto-Meeting) mit hybridem Aufbau statt (Frageteil und nachträgliche Bereitstellung als Video auf OPAL). Zudem wurde das Forum genutzt und wöchentlich eine Konsultation (Goto-Meeting) durchgeführt.

Neben den technischen Vorgaben muss die Murmelbahn auch wirtschaftlichen Anforderungen genügen. Hier wird das stärkste spielerische Element implementiert: eine Wettbe-

werbssituation um die niedrigsten Herstellungskosten. Die besten 25 % aller final abgegebenen Lösungen erhalten einen gestaffelten Bonus auf die Gesamtnote (Tabelle 1).

Tabelle 1: Verteilung Kostenbonus

Percentil (größer ist besser)	Bonus
100 - 96	0,5
95 - 91	0,4
90 - 86	0,3
85 - 81	0,2
80 - 76	0,1

So kann der Lernende beispielsweise – wie im realen Leben – Zeit gegen Qualität tauschen und erhält zusätzlich eine Information über die Einordnung seiner Leistung im Vergleich zu anderen. Die Berechnung der Herstellungskosten erfolgt über eine einheitliche Exceldatei, die vom Lernenden ausgefüllt und neben der Projektdatei abgegeben werden muss (Abbildung 2). Darüber hinaus findet auch eine fachliche Bewertung der Lösung nach dem klassischen Punktabzugsprinzip bei Fehlern statt.

	Menge	Einheit
Materialkosten	3,70	€
Bearbeitungsdauer	65	Minuten
Maschinenstundensatz	100	€/ Std.
Einrichtung Maschine	10	Minuten
Anzahl Umspannungen	2	Stück
Dauer Umspannen	5	Minuten
Stundensatz Zerspanungstechniker	60	
Fertigungskosten	161,67	
Gemeinkostensatz	50	%
Herstellungskosten	242,5	€

Abbildung 2: Screenshot des Berechnungsbogens für die Herstellungskosten

Um den im realen Arbeitsleben typischen iterativen Verbesserungsprozess mit abzubilden, können die Lernenden Zwischenstände abgeben und bewerten lassen. Hierfür sind 4 Etappen von jeweils 14 Tagen Dauer vorgesehen. Die Zwischenergebnisse werden auf einer Webseite¹ bereitgestellt (Abbildung 3).

So können die Lernenden selbstgesteuert und online ihren Fortschritt verfolgen. Gleichzeitig wird die Wettbewerbssituation um den Erhalt der Bonuspunkte visualisiert.

¹ <https://paevatool.webspaces.tu-dresden.de>

Platz	Percentile	Kostenbonus	Matrikelnummer	Herstellungskosten	Datengültigkeit
1	100 - 96	0,5	1337	50,32	✓
2	80 - 76	0,1	436	67,17	✓
3	-	0	3457	76,95	✓
4	-	0	679843	91,57	✓
5	-	0	123456	290	✓
6	-	-	771	-	✗
7	-	-	9878	-	✗
8	-	-	564	-	✗
9	-	-	5675	-	✗
10	-	-	3568	-	✗
11	-	-	4008	-	✗

Abbildung 3: Highscore der aktuellen Zwischenergebnisse

Die Erstellung der Homepage sowie die Pflege und Auswertung der Daten erfolgen automatisiert. Die Studierenden laden ihre Zwischen- und Endergebnisse als ZIP-Datei über OPAL in das entsprechende Abgabemodul. So können alle Ergebnisse vom Lehrenden mit wenigen Klicks, unabhängig von der Anzahl der Teilnehmer, heruntergeladen werden. Ein python-Script entpackt die Dateien, parsed die Inhalte, extrahiert die Daten aus den einzelnen Dateien und stellt diese als Assets bereit. Fehlende oder fehlerhafte Daten werden angezeigt, so dass der Lehrende hierüber informiert wird. Anschließend wird mittels des Frameworks Angular aus den bereitgestellten Assets automatisch eine Homepage erstellt. Diese muss dann nur noch ausgeliefert werden. Durch diese fast automatische Build-Pipeline reduziert sich der Aufwand für den Lehrenden auf wenige Minuten. Was jedoch bleibt ist die händische Kontrolle der Fertigungsplanung selbst. Da die Studierenden die gesamte Projektdatei abgeben müssen, lassen sich die erzielten Ergebnisse mit den zugrunde liegenden Planungen sehr gut vergleichen. Hier unterstützt Fusion360 mit einer komfortablen NC-Verifikation (Abbildung 4). Dank der durchgehend digitalen Umsetzung der Übung lassen sich auch Konsultationen entsprechend einfach beispielsweise über Bildschirmfreigaben realisieren.

Als Lern- und Austauschraum dienen die wöchentlichen Konsultationen. Diese finden online in der Meeting-Umgebung statt. Die sich dadurch bietenden Möglichkeiten der Interaktion gleichen den fehlenden physischen Kontakt nicht nur weitestgehend aus, sondern schaffen sogar neue Möglichkeiten. So können die Lernenden den Bildschirm teilen, was es

ermöglicht, ein Problem in der Gruppe zu besprechen und zu visualisieren. Die dann vom Lehrenden angebotene Hilfestellung kann von jedem nachvollzogen und ggf. zur Lösung einer eigenen Problemstellung verwendet werden. Die Konsultationen werden aufgezeichnet. So können einzelne Themen nachträglich nochmals angesehen werden.

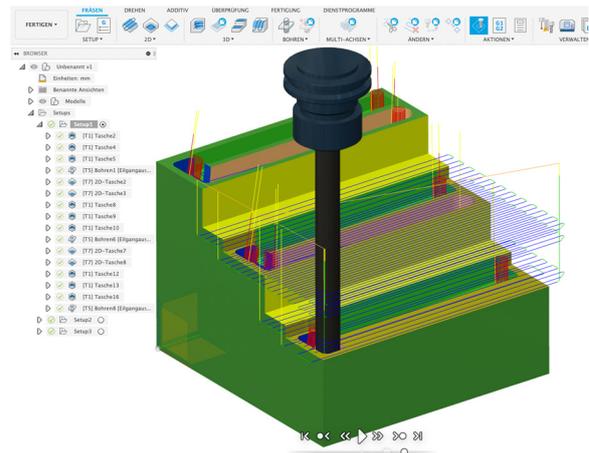


Abbildung 4: NC-Verifikation in Fusion360

Für die gesamte Übung wird kein einziges Blatt Papier benötigt.

5. Konzept & Wirkung

Die Studierenden können auf die beschriebene Weise einen ganzheitlichen Planungsprozess erleben mit allen relevanten Elementen, die so etwas auch im realen Leben erst wirklich interessant machen. Gleichzeitig werden sie durch die Wettbewerbssituation um die Bonuspunkte positiv extrinsisch motiviert. Durch die für Jeden verständliche Aufgabe wird die intrinsische Motivation gefördert, welche auch im Bearbeitungsverlauf durch die Transparenz der zugrunde gelegten Bewertung erhalten bleibt. Der bewusst offen gestaltete Lösungsraum reduziert die oft als einengend empfundenen zahlreichen Vorgaben der alten Übung und bewirkt einen Paradigmenwechsel bei der unbewussten Wahrnehmung der Aufgabe. Wo früher ein „die vom Lehrenden gewünschte Lösung finden“ dominierte, ist nun Raum entstanden für kreative und gleichzeitig innovative Lösungen. Durch die Einhaltung der im Rahmen der Aufgabenstellung erklärten simulierten Kundenbedarfe lernen die Studierenden externe Vorgaben in technische Prozesse

zu übersetzen. Dass sie dabei ihre Ergebnisse kleinteilig und eigenständig mithilfe der bereitgestellten Werkzeuge überprüfen können, ermöglicht einen selbstgesteuerten Lernprozess. Dieser wird durch die weitestgehende Vermeidung harter Grenzen unterstützt. So haben die Studierenden die Möglichkeit, Nachteile an einer Stelle durch Vorteile an einer anderen auszugleichen. Frustrierende „Ich komme nicht weiter“-Momente bleiben so größtenteils aus.

Alle Elemente zusammen bewirken eine positive Lernmotivation.

6. Erkenntnisse

Die Möglichkeiten virtueller Lernräume waren sehr nützlich. Die Häufigkeit doppelter Fragen nahm gegenüber den Vorjahren deutlich ab. Auch konnten viele Lernende nach einer anfänglich zögerlichen Phase aus der Anonymität und Passivität virtueller Vorlesungen herausgeholt werden. Spätestens ab der dritten Konsultation zeigte sich ein reger Austausch über Ideen und Lösungsansätze auch unter den Studierenden.

Die von den Studierenden erdachten Lösungen lassen darauf schließen, dass dieser Austausch auch erfolgreich war. So wurden zahlreiche sehr unterschiedliche und kreative Murrelbandesigns entworfen (Abbildung 5). Diese entsprachen nicht nur den Anforderungen, sondern auch die Häufigkeit und Schwere von Fehlern der zugehörige Fertigungsplanung waren höchstens so hoch wie bei der alten Übung. Dies ist umso beachtlicher, als die angewendeten Fräsoptionen und bearbeiteten Geometrien teilweise deutlich komplizierter waren als in der alten Übung.

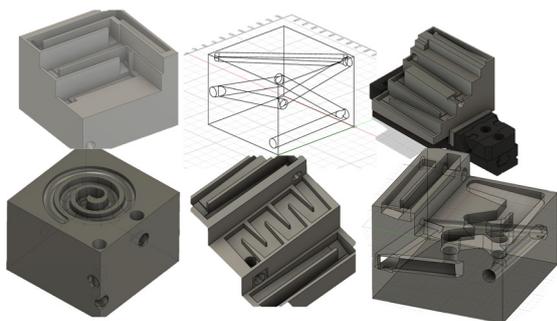


Abbildung 5: Unterschiedliche Murrelbandesigns von Studierenden

Auch bei den Herstellungskosten lässt sich ein Erfolg erkennen (Abbildung 6). Diese liegen im oberen – also punktwirksamen – Bereich eng beieinander. Das deutet zum einen auf einen funktionierenden Wettbewerb und zum anderen auf ein erfolgreiches Wirken der Rahmenbedingungen hin.

Platz	Percentile	Kostenbonus	Matrikelnummer	Herstellungskosten
1	100 - 96	0.5	12345679	47.88
2	95 - 91	0.4	12345677	47.97
3	90 - 86	0.3	12345673	48.07
4	85 - 81	0.2	12345678	49.75

Abbildung 6: Top4 der Herstellungskosten

Das vorgestellte Beispiel zeigt, dass die Transformation klassischer Übungen hin zu digitalen und motivierenden Formaten gelingen kann. Hierbei können moderne Technologien und Lernansätze sehr gut eingesetzt werden. Der Aufwand für den Lehrenden kann dabei sogar kleiner werden, da sich repetitive Tätigkeiten automatisieren lassen.

OPAL lässt sich hierfür gut einsetzen, wenngleich die Oberfläche wenig intuitiv ist. Auch die Funktion zum Download aller abgegebenen Lösungen erfordert ein gewisses detektivistisches Gespür.

Deutlich aufwändiger jedoch war die Einrichtung des Webspaces, wo die Homepage gehostet wird. Zahlreiche Vorschriften und Regeln erforderten etliche Stunden Einarbeitung. Allein die TU-interne Checkliste für Webanwendungen umfasste weit über 100 – teils sehr spezifische – Fragen zur technischen Umsetzung. Für den durchschnittlichen Computernutzer dürften die allermeisten davon schwer bis gar nicht verständlich sein. Eine für unterschiedliche Anwendungsarten reduzierte oder vorausgefüllte Liste sowie ein Assistent würden enorm helfen. Auch das obligatorische Impressum insbesondere aber die Erklärung zur Barrierefreiheit stellen aufgrund der rechtlichen Anforderungen daran eine Herausforderung für den typischen Lehrenden dar. Zwar unterstützt der TU-interne Web-Support hierbei nach Kräften. Doch diese sind nicht ausreichend, um den Aufwand auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. Dabei ist dieses Thema

sehr wichtig für eine Universität, die den Schritt ins digitale Zeitalter schaffen möchte. Hier wäre dringend eine zentrale und entsprechend ausgestattete Stelle notwendig, die Lehrende bei der barrierefreien Gestaltung von Homepages unterstützt, sowohl technisch als auch rechtlich. Andernfalls drohen viele solcher Vorhaben an den Aufwänden zu scheitern - oder sie werden gar nicht erst begonnen.

8. Literatur

- [1] M. Neugebauer, H.-D. Daniel, and A. Wolter, Eds., *Studienerfolg und Studienabbruch*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021.
- [2] D. Depping, T. Ehmke, and M. Besser, 'One learns by experience—and becomes self-efficacious as well as motivated. How do different components of student teachers' professional competence relate to the use of learning opportunities?', *Zeitschrift für Erziehungswiss.*, vol. 24, no. 1, pp. 185–211, 2021, doi: 10.1007/s11618-021-00994-w.
- [3] T. Kindler, S. Koengeter, and T. Schmid, 'Drei Semester studieren unter Covid-19-Bedingungen. Eine Längsschnittuntersuchung zu Veränderungen der Studienbedingungen während der Covid-19 Pandemie', no. July, 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.31152.07683/1.
- [4] K. Seaborn and D. I. Fels, 'Gamification in theory and action: A survey', *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 74, pp. 14–31, 2015, doi: 10.1016/j.ijhcs.2014.09.006.
- [5] S. Strahringer and C. Leyh, Eds., *Gamification und Serious Games*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017.