



Remote Concurrent Engineering aus der Kundenperspektive

C. Bach, C. Drobny, T. Schmiel, M. Tajmar

Professur für Raumfahrtsysteme, Institut für Luft- und Raumfahrttechnik, Fakultät Maschinenwesen, TU Dresden

Abstract

Concurrent Engineering ist ein Ansatz zur Entwicklung komplexer Systeme, der durch eine direkte Kommunikation zwischen den beteiligten Disziplinen gekennzeichnet ist. Diese Interaktion zu erlernen und zu verstehen, welche Informationen zwischen den Disziplinen kommuniziert werden müssen, gehören zu den zentralen Lernzielen der Lehrveranstaltung „Entwurf von Raumfahrzeugen“. Die Studierenden vertreten darin unterschiedliche Disziplinen und arbeiten eine Missionsstudie aus, die von den Lehrenden in Auftrag gegeben wird. Die Lehrenden nehmen somit in der Rolle der Kunden am Entwicklungsprozess teil. Aufgrund der mit der COVID-19-Pandemie einhergehenden Einschränkungen musste die Lehrveranstaltung in ein virtuelles Format übertragen werden. Daraus ergab sich die zentrale didaktische Herausforderung, die Struktur und gewählten Methoden so anzupassen, dass die Missionsstudie, die auf ein Zusammenarbeiten aller Beteiligten angewiesen ist, dennoch durchgeführt werden konnte. Dieser Beitrag erörtert, wie dies durch eine Mischung aus synchroner und asynchroner Lehre erreicht wurde, wie das Lernerlebnis der Studierenden dabei ausfiel und welche Schlussfolgerungen sich für die Weiterentwicklung der Lehrveranstaltung für postpandemische Zeiten ergeben haben.

Concurrent engineering is an approach to the development of complex systems that is characterised by direct communication between the disciplines involved. Learning this interaction and understanding what information needs to be communicated between disciplines are among the central learning objectives of the course "Spacecraft Design". In this course, the students represent different disciplines and work out a mission study that is commissioned by the instructors. The instructors thus participate in the development process in the role of customers. Due to the constraints associated with the COVID-19 pandemic, the course had to be transferred to a virtual format. This resulted in the key didactic challenge of adapting the structure and chosen methods so that the mission study, which relies on all participants working together, could still be conducted. This paper discusses how this was achieved through a mixture of synchronous and asynchronous teaching, how the students' learning experience turned out, and what conclusions emerged for the further development of the course for post-pandemic times.

*Corresponding author: christian.bach1@tu-dresden.de

1. Einleitung

Der Entwurf von Raumfahrtmissionen und deren Systemen ist bereits in der Vorentwurfs- und Konzeptionsphase eine komplexe Aufgabe. Alle technischen Disziplinen und Teildisziplinen sind bis zu einem gewissen Grad miteinander verbunden, und keine davon kann bei der Entwicklung der gesamten Mission vernachlässigt werden. Klassische, d.h. sequenzielle oder zentralisierte, Entwicklungsansätze erfordern eine große Anzahl von Iterationen und besitzen eine geringe Fehlerresistenz. Um eben diese Nachteile zu vermeiden und Entwicklungszeiten für hochkomplexe Systeme unter Maximierung der Erfolgswahrscheinlichkeiten zu verkürzen, wurde das Concurrent Engineering (CE) entwickelt. [1]

Dieser Entwicklungsansatz, welcher in der Raumfahrt mittlerweile eine zentrale Rolle angenommen hat und für ähnliche Systeme in anderen Branchen eine ebenso hohe Relevanz aufweist, wird den Studierenden der Vertiefungsrichtung Luft- und Raumfahrttechnik des Studienganges Maschinenbau im Rahmen der Lehrveranstaltung „Entwurf von Raumfahrzeugen“ gelehrt. Das zentrale Element dieser Lehrveranstaltung ist ein CE-Workshop, bei dem die Lehrenden die Rolle der Kunden einnehmen und den Studierendenteams einen Designauftrag erteilen.

Dieser Beitrag behandelt die Virtualisierung der Lehrveranstaltung infolge der mit der COVID-19-Pandemie einhergehenden Restriktionen sowie die damit erzielten Erfahrungen. Zunächst werden in Abschnitt 2 der Kontext und die Rahmenbedingungen erörtert. In Abschnitt 3 wird der CE-Ansatz und in Abschnitt 4 die im Rahmen der Lehrveranstaltung genutzte CE-Software Valispace überblickend vorgestellt. Abschnitt 5 beschreibt die Lernziele der Lehrveranstaltung. In Abschnitt 6 werden die didaktischen Herausforderungen diskutiert, deren Lösungsansätze in Abschnitt 7 dargelegt werden. Abschnitt 8 reflektiert den Semesterverlauf, die Prüfungsdurchführung wird gesondert in Abschnitt 9 erörtert. Abschnitt 10 gibt umfassenden Einblick in die durchgeführte Lehrevaluation und schließt mit einem Fazit ab. Der folgende Abschnitt 11 stellt Ver-

besserungsmöglichkeiten vor. Zusammengefasst wird dieser Beitrag in Abschnitt 12, welcher auch einen Ausblick auf die Weiterentwicklung der Lehrveranstaltung enthält.

2. Kontext und Rahmenbedingungen

Die Lehrveranstaltung „Entwurf von Raumfahrtmissionen“ ist in das Vertiefungsmodul Raumfahrtsystemtechnik des Diplomstudienganges Maschinenbau, Spezialisierung Luft- und Raumfahrttechnik, eingebettet und findet regulär im 9. Semester statt. Diese Lehrveranstaltung ist eine von zwei Lehrveranstaltungen des genannten Moduls und wird üblicherweise durch eine von der Modulbeschreibung festgelegte Klausurarbeit von 90 Minuten Länge abgeschlossen.

Die Studierenden haben Detailkenntnisse zur Auslegung von Raumfahrtsystemen bereits in Lehrveranstaltungen wie „Energiesysteme für Raumfahrzeuge“ oder „Raumfahrtantriebe“ erworben. Die Lehrveranstaltung bildet chronologisch und thematisch den Abschluss ihrer Lehrveranstaltungen vor der Diplomarbeit. Allerdings tauschen einige Studierende das 9. mit dem 7. Semester, welches für Fachpraktika reserviert ist. Diesen Studierenden fehlt das gesamte Wissen aus dem 8. Semester. Hinzu kommen einige wenige fachfremde Studierende (bspw. aus dem Wirtschaftsingenieurwesen oder Austauschprogrammen wie ERASMUS+), welche nicht zwingend diese Vertiefungsrichtung verfolgen. Vereinzelt nehmen auch Studierende geringerer und höherer Semester teil, wie in Abbildung 1 zu sehen ist. Hierdurch ergibt sich eine heterogene Teilnehmerschaft.

Die Anzahl der Studierenden liegt in der Regel zwischen 30 und 40 Personen, im vorliegenden Semester waren es 32. Wie in Abbildung 2 anhand einer im vorliegenden Semester durchgeführten Evaluation (siehe Abschnitt 10) zu sehen ist, besteht die große Mehrheit der Teilnehmenden aus männlichen Studierenden. Alle Teilnehmenden verfolgten nach eigenen Angaben einen Diplomabschluss. Jedoch unterschieden sich die Gründe zu Teilnahme an der Lehrveranstaltung. Für die meisten Teilnehmenden erfolgte die Auswahl aufgrund des Interesses am Inhalt (siehe Abbildung 3).

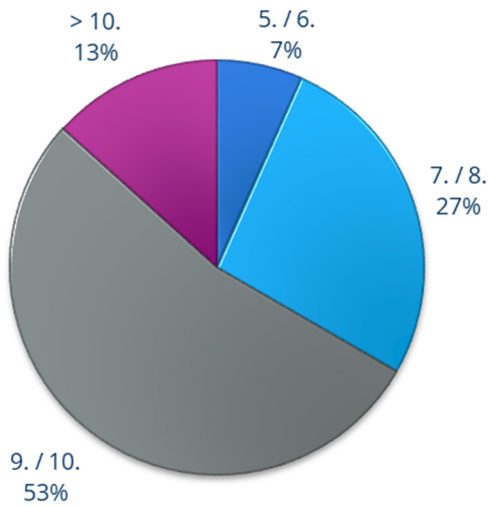


Abb. 1: Verteilung der Teilnehmenden nach Studiensemester

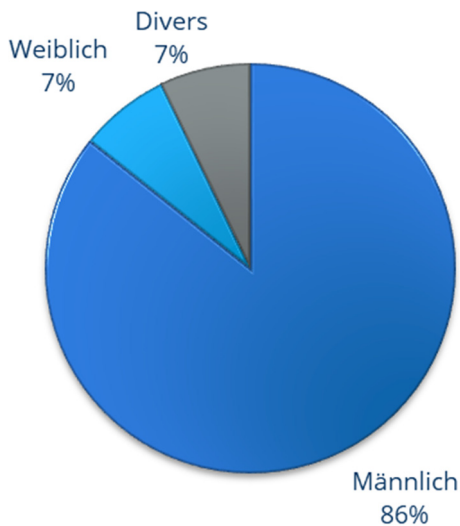


Abb. 2: Verteilung der Teilnehmenden nach Geschlecht

3. Concurrent Engineering (CE)

Raumfahrtmissionen und deren technologische Bestandteile sind außerordentlich komplexe Systeme, die von einem engen Zusammenspiel verschiedener Disziplinen gekennzeichnet sind. Die Entwicklung solcher Missionen ist von hohem Aufwand, oftmals extremen Anforderungen und geringer Fehlertoleranz geprägt.

Als Gegenentwurf zu klassischen Entwicklungsansätzen, welche beispielsweise sequenziell (d.h. alle Disziplinen bearbeiten das Design nacheinander) oder zentralisiert (d.h. es

wird parallel gearbeitet, aber alles läuft über eine zentrale Schnittstelle, i.d.R. den Systemingenieur) orientiert sind, wurde das Concurrent Engineering (CE) entwickelt. Es ist durch ein kollaboratives, kooperatives, kollektives und simultanes Entwicklungsumfeld charakterisiert. Dies bedeutet, dass alle Disziplinen parallel und gemeinsam an der Mission arbeiten und sich untereinander austauschen. Dies schließt insbesondere auch die Kunden / Auftraggeber ein, da ein zentrales Ziel des CEs darin besteht, die Kundenzufriedenheit zu erhöhen. [2]

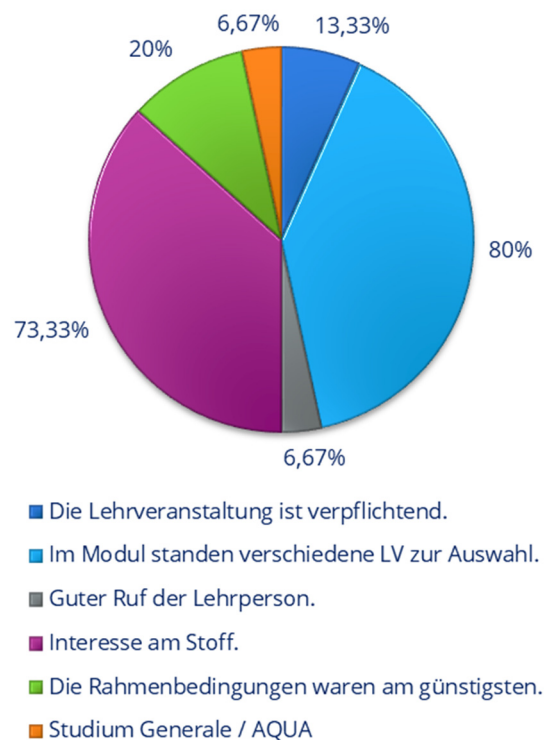


Abb. 3: Motivation der Teilnehmenden an der Lehrveranstaltung (Mehrfachnennungen waren möglich)

Um CE zu ermöglichen, bedarf es mehrerer Elemente. Neben dem zentralen multidisziplinären Team zählen hierzu eine Hardware- und Softwareinfrastruktur (siehe Abschnitt 4), welche die Integration eines Designmodells ermöglicht, sowie ein definierter Prozess. Letzterer gliedert sich in eine Installations-, Vorbereitungs-, Studien- und Nachbereitungsphase. In der Studienphase findet die eigentliche Ausarbeitung statt, welche wiederum in sich abwechselnde Design Sessions und individuelle Arbeiten untergliedert ist. [3]

Die vorliegende Lehrveranstaltung deckt alle Phasen ab, wobei der Hauptanteil auf die Studienphase fällt. Während die Lehrveranstaltung bisher hauptsächlich als geschlossene Designsession strukturiert wurde (d.h. alle Studierenden befanden sich vor Ort in der Einrichtung), erfolgt im vorliegenden Semester eine Umstrukturierung. Dabei werden die individuellen Arbeiten ins Selbststudium verlegt und nur die Design Sessions synchron mit den die Kunden repräsentierenden Lehrpersonen durchgeführt (siehe Abschnitt 7).

4. Valispace Software

Im Laufe des Kurses wurde die webbasierte Software Valispace des deutsch-portugiesischen Start-ups mit gleichen Namen genutzt. Valispace ist eine Softwareunterstützung zur gemeinsamen und gleichzeitigen Entwicklung eines Designs oder Systems von einem multidisziplinären Team.

Die zentrale Idee von Valispace ist die Entwicklung des Designs in einer zentralen Datenbank (engl.: Single Source of Truth). Die Nutzer greifen auf die Datenbank zu und sind in der Lage, Informationen auszulesen, abzulegen und zu verknüpfen. Jede Änderung, die ein beliebiger Nutzer in der Datenbank bewirkt, wird in Echtzeit an alle weiteren Nutzer weitergegeben. Der große Vorteil eines solchen Systems besteht darin, dass alle Nutzer jederzeit Zugriff auf die aktuellen Daten haben. Somit entfällt ein Austausch über Dokumente, welche nur einen definierten Designstand widerspiegeln.

Das Design selbst wird in Valispace in einem Verzeichnisbaum (Product Tree) über die hierarchische Verknüpfung einzelner Komponenten aufgebaut. Neben dem Verzeichnisbaum, welcher das Herzstück des Designs ist, gibt es noch eine Reihe weiterer Funktionen. Insbesondere hervorgehoben sei hier die Implementierung eines Requirement-Managers. Dies erlaubt das automatische Überprüfen des aktuellen Designs gegen festzulegende Randbedingungen. Zudem können Testprozeduren hinterlegt werden. Darüber hinaus unterstützt Valispace zahlreiche Erweiterungen, welche die Entwicklung in einem interdisziplinären Team deutlich vereinfachen können. Beispielsweise genannt seien eine vollständige Einheitenrechnung sowie die zeitliche Entwicklung der

einzelnen Parameter über den Verlauf des Designs. Zusätzlich gibt es Funktionen für das Zeitmanagement (Gantt-Chart) des Projektes, die Möglichkeit der Implementierung von Simulationen (bzw. komplexen Berechnungen) mittels einer Octave-GUI sowie der Erstellung von Dokumentationen mit automatisch abgeleiteten Tabellen und Diagrammen. Weiterhin erlaubt Valispace zudem die direkte Kommunikation mit anderen Teilnehmenden der Studie über diverse Kommentar- und Diskussionsfunktionen.

Wenngleich im Rahmen der Lehrveranstaltung bei weitem nicht der volle Funktionsumfang genutzt wird, ist Valispace wichtige Unterstützung in der effizienten Durchführung des CE-Prozesses mit Studierenden. So erlaubt die Browser-basierte Implementierung den Teilnehmenden, von überall auf das aktuelle Design zuzugreifen und dieses mit ihrer entsprechenden Arbeit zu erweitern. Das Arbeiten mit einer „Single Source of Truth“ unterstützt zudem die grundlegenden Aspekte des CEs. Der übersichtliche Aufbau der Software ermöglicht es den Studierenden, die Software auch ohne Vorkenntnisse im Zuge der Lehrveranstaltung effektiv nutzen zu können.

5. Lernziele

Die übergeordneten Lernziele der Lehrveranstaltung lassen sich zunächst wie folgt zusammenfassen:

1. Indem sie Kriterien aufstellen, gewichten und einen Trade-Off durchführen, können die Studierenden Konzepte für Raumfahrtmissionen vergleichend bewerten, um den Lösungsansatz mit der höchsten Erfolgsaussicht zu finden.
2. Indem Sie das in den vorangegangenen Lehrveranstaltungen erlangte Wissen praktisch anwenden und kombinieren, können die Studierenden Raumfahrtmissionen konzeptionieren, um ein Gesamtsystem zur Lösung eines spezifischen ingenieurtechnischen Problems zu entwickeln.
3. Indem sie deren Charakteristiken sowie Vor- und Nachteile kennenlernen, können die Studierenden verschiedene Strategien und Modelle zur Entwicklung technischer

Systeme und können diese einordnen und beurteilen, um diese gezielt und begründet anzuwenden.

Die wesentliche Erweiterung dieser Lernziele im Wintersemester 2020 / 2021 ergibt sich durch die Verlagerung der Lernveranstaltung in den digitalen Raum:

- Indem Sie verschiedene Kooperationswerkzeuge kennenlernen und anwenden, können die Studierenden Möglichkeiten digitaler Zusammenarbeit nutzen, um eine Entwicklungsaufgabe zu lösen, die sie allein nicht bewältigen können.
- Indem Sie verschiedene Werkzeuge virtueller Zusammenarbeit ausnutzen, können die Studierenden Konzepte interplanetarer Raumfahrtmissionen gegeneinander abwägen und unter Anwendung des Concurrent Engineering Modells weiterentwickeln, um die Beschränkungen direkter Interaktion zu umgehen.

Die Studierenden müssen zunächst Möglichkeiten virtueller Zusammenarbeit kennenlernen und erleben, um diese dann gezielt anwenden zu können. Wenngleich dies im vorliegenden Semester auf die pragmatische Umgehung der Kontaktbeschränkungen abzielt, soll Ihnen dies allgemeiner zeigen, wie sie ihre Ziele auch unter widrigen Bedingungen effizient erreichen können.

6. Didaktische Herausforderungen

Bisher wurde die Lehrveranstaltung als Blockveranstaltung an 3 kompletten Tagen kurz vor Ende der Vorlesungszeit durchgeführt. Die 3 Tage waren auf einen Zeitraum von 8 Tagen verteilt – Freitag, sowie Freitag und Samstag in der darauffolgenden Woche. Zu Beginn der Veranstaltung wurden die Charakteristiken sowie Vor- und Nachteile von Entwurfsprozessen vermittelt. Besonderer Fokus liegt hierbei auf dem Concurrent Engineering (vgl. Abschnitt 3). Zudem wurden knapp die wichtigsten Grundkenntnisse wiederholt und in die im weiteren Verlauf genutzte Software Valispace (siehe Abschnitt 4) eingeführt.

Die restliche Zeit dient der Durchführung eines Concurrent Engineering Prozesses zur Konzeptionierung eines Raumfahrtsystems (bspw. ei-

ner Marssonde oder eines Mondrovers). Dazu wird von den Lehrpersonen ein Missionsziel ausgegeben und die Rolle des Kunden / Auftraggebers eingenommen. Die Mission wird zunächst von den Studierenden diskutiert und erste Lösungskonzepte postuliert, die anschließend bewertet werden. Die Studierenden teilen wir / sich in verschiedene Rollen / Disziplinen ein. Jede Disziplin entwickelt das entsprechende Subsystem (bspw. zur Energieversorgung oder Kommunikation) bzw. führt die zur entsprechenden Rolle gehörenden Aufgaben durch (bspw. Kosten- oder Risikoanalyse).

Der Concurrent Engineering Prozess ist dadurch geprägt, dass alle Subsysteme parallel entwickelt werden. Da alle Subsysteme und Rollen voneinander abhängig sind, ist der Prozess durch einen extrem hohen Kommunikationsbedarf geprägt. Genau hierin liegt das Hauptlernziel: Die Studierenden sollen verstanden haben, wie die einzelnen Subsysteme, die sie bereits aus anderen Lehrveranstaltungen kennen, miteinander in Verbindung stehen, d.h. welche Schnittstellen es gibt und welche In- und Outputs übermittelt werden müssen. Die Studierenden haben dafür einen großen PC-Pool zur Verfügung und können sich beständig austauschen, während sie ihre Subsysteme detaillieren.

Aufgrund der Beschränkungen infolge der COVID-19-Pandemie war die Lehrveranstaltung im vorliegenden Semester jedoch nicht in Präsenz durchführbar. Dennoch mussten alle Studierenden während der gesamten Bearbeitung erreicht und motiviert werden, da alle Studierenden aufeinander angewiesen sind. Die besondere didaktische Herausforderung besteht somit darin, das bisherige Format in den virtuellen Raum so zu übertragen, dass die Lernziele erreicht werden können. Dies ist deshalb besonders schwierig, weil der Kern der Lehrveranstaltung in der Interaktion zwischen den Studierenden (und Lehrenden) liegt.

7. Didaktische Vorgehensweise

Einzig die Einführung (ca. 15 % der Lehrveranstaltung) konnte relativ einfach digitalisiert werden. Hierfür wurden bereits zum Semesterbeginn Screencasts bereitgestellt und eine

den Einführungsteil abschließende Live-Konsultation durchgeführt.

Der Rest der Veranstaltung musste komplett umstrukturiert werden. Unser Ansatz hierfür war, die Veranstaltung auf das gesamte Semester zu strecken. Die eigentliche Aufgabebearbeitung sollte dann im Selbststudium, nach Möglichkeit in Kleingruppen, durchgeführt werden. In regelmäßigen Abständen (alle 2 bis 3 Wochen) trafen Studierende und Lehrende virtuell zusammen, um die Fortschritte zu präsentieren und sich miteinander austauschen.

Um die Organisation handhabbar zu halten und jeder Person die Möglichkeit zu bieten, sich einzubringen, wurde der Kurs in 2 Gruppen aufgeteilt, welche die Designaufgabe parallel zu- und unabhängig voneinander bearbeiteten. Die Gruppeneinteilung und Rollenzuweisung bedurfte besonderer Beachtung und wurde über ein Einschreibungstool im Kurs zur Lehrveranstaltung auf der Lernplattform OPAL realisiert. Dies sollte allen Teilnehmenden die gleichen Chancen bieten, sich die von ihnen präferierte Disziplin zu sichern. Letzte Inhomogenitäten in den Rollenverteilungen innerhalb und zwischen den Teams wurden in der darauffolgenden Live-Konsultation ausgeglichen (z.B. die Besetzung einer zentralen Rolle statt der Doppelbelegung einer anderen). In den Vorjahren wurde mit der Rollenverteilung experimentiert. Teilweise wurde sie vorgegeben, was einige Studierende aus ihrem Komfortbereich zwingt, aber auch zu einer gewissen Demotivation führen kann. Teilweise konnten sich die Studierenden die Rollen aussuchen, wobei Kompromisse für besonders gefragte Rollen gefunden werden mussten. Die Einschreibung über ein Onlinetool umgeht diese Schwierigkeiten größtenteils und stellt die bisher fairste Variante der Rollenzuweisung dar.

Die Größe der Teams betrug jeweils 16 Studierende. Dies wird als eine sehr gute Gruppengröße angesehen, da einerseits alle essenziellen Rollen abgedeckt werden können, andererseits der Kommunikationsaufwand innerhalb des Teams noch beherrschbar bleibt.

Es sei angemerkt, dass nicht alle 15 vorhandenen Rollen besetzt wurden, da manche Rollen als essenziell erachtet werden (z.B. Team Lea-

der), während auf andere im Zweifelsfall verzichtet werden kann oder diese von den anderen Teilnehmenden getragen werden können (z.B. „Integration, Assembly and Verification“). Es wurde, wie auch in Vorjahren, darauf Wert gelegt, besonders kritische Rollen (z.B. Energieversorgung) doppelt zu besetzen, um eine gewisse Redundanz zu schaffen. Grundsätzlich wäre dies bei allen Rollen wünschenswert, jedoch würden hierdurch entsprechend größer ausfallende Teams die Durchführung deutlich erschweren.

Während die Größen der beiden Teams identisch waren, wiesen die Rollenverteilungen leichte Abweichungen auf. Dies lag wiederum daran, dass als nicht essenziell erachtete Rollen entsprechend der Neigungen der Teilnehmenden vergeben werden konnten (so hatte z.B. nur Team A einen Simulationsingenieur). Einerseits erschwert dies natürlich einen direkten Vergleich der von den beiden Teams erzielten Ergebnisse, andererseits lassen sich hierdurch die Auswirkungen unterschiedlicher Rollenbesetzungen untersuchen. Letzteres hat den Vorteil, dass die Bedeutung der (Nicht-)Beteiligung einzelner Rollen den Studierenden visualisiert werden kann.

Für die Kommunikation mit den Kursbetreuern wurde die Nutzung des Videokonferenztools GoToMeeting genutzt. Auch zwischen den Terminen musste den Studierenden eine Austauschplattform bereitgestellt werden. Dies war über die ohnehin zur Zusammenführung aller Daten genutzte Software Valispace möglich. Zudem wurde der OPAL-Kurs mit diversen Elementen (bspw. einem Forum) bereitgestellt. Die Entwicklungsaufgabe wurde durch mehrere Meilensteine untergliedert, um die Studierenden das gesamte Semester über zu einer kontinuierlichen Arbeit motivieren zu können. Diese Meilensteine entsprachen den Iterationsstufen des Designs bzw. dessen Detaillierung und wurden durch die Live-Konsultationen repräsentiert, in denen der jeweils aktuelle Stand den Kunden / Lehrenden präsentiert wurden. Dies ermöglichte es uns, Kommunikations- oder sonstige Probleme in den Selbstlernphasen aufzudecken und die aktive Teilnahme aller beteiligten abzusichern. Zudem gab uns dieser Prozess nicht nur Einblick in die

Fortschritte beider Teams, sondern garantierte auch, dass fehlende Konsistenz in den Ausarbeitungen für uns und die Studierenden sichtbar wurde.

Die Live-Konsultationen mit den einzelnen Teams wurden unabhängig voneinander durchgeführt. Der wesentlichen Gründe hierfür waren, einerseits den zeitlichen Aufwand der Teilnehmenden zu begrenzen und andererseits dem zuletzt präsentierenden Team keinen Vorteil einzuräumen. Dies bedeutet, dass die Teams nicht über die Fortschritte des jeweils anderen Teams informiert wurden. Es ist allerdings möglich, dass sich die Studierenden untereinander auch teamübergreifend ausgetauscht haben. Dies ist nicht zu verhindern und kann auch vorteilhaft sein, wenn zum Beispiel eine Rolle des einen Teams nicht weiterweiß und die entsprechenden Rollenvertreter des anderen Teams um Rat fragen. Dies wurde durch die Bereitstellung einer Übersicht der Teamzusammensetzungen durch die Kursverantwortlichen unterstützt.

8. Reflexion des Verlaufs

Es ist festzuhalten, dass die Vorbereitung der Lehrveranstaltung im vorliegenden Semester erwartungsgemäß weit höheren Aufwand bedeutete, als das sonst erforderlich war. Allerdings hat sich dieser Aufwand gelohnt, da die sorgfältige Planung vollständig umgesetzt werden konnte. Zudem erfolgte die eigentliche Durchführung während des Semesters unter vertretbarem Aufwand.

Besonders hervorzuheben ist das durchgängig hohe Engagement der Studierenden. Dies führte zu einem Umfang und Detailgrad der Ergebnisse, welche signifikant über denen der vorherigen Jahrgänge liegt. Dies ist insofern nicht ganz verwunderlich, da den Studierenden auch ein vielfach größerer Zeitraum für die Bearbeitung der Designaufgabe zur Verfügung stand und dieser auch effektiv, bspw. durch wöchentliche Teammeetings, genutzt wurde.

Unklar bleibt allerdings, inwieweit dies auf die äußeren Umstände zurückzuführen ist. Während die Lehrveranstaltung ein deutlich über das übliche Maß hinausgehende Möglichkeit

zur aktiven Einbringung bietet, ist es naheliegend, dass eingeschränkte soziale Interaktionsmöglichkeiten die Motivation der Studierenden zur Teamarbeit noch verstärkt haben.

Ein interessanter Aspekt ergab sich aus der Zweiteilung der Teilnehmerschaft. Dies ermöglichte es, auf die individuellen Wünsche der Teams einzugehen und die Vorgehensweise leicht anzupassen. Dies verdeutlichte, dass relativ kleine Unterschiede in der Durchführung eine Auswirkung haben können. So dienten die zweiwöchentlichen Konsultationen mit den Lehrenden / Kunden bei Team A der reinen Statuspräsentation und -diskussion via GoTo-Meeting. Hingegen bat Team B um die Zusammenlegung der Kundenmeetings aller zwei Wochen mit den ohnehin wöchentlich via Discord stattfindenden Teammeetings. Aus Sicht der Lehrenden funktionierte der ursprüngliche geplante Ansatz, wie er mit Team A durchgeführt wurde, besser, da das Team gezwungen war, sich im Vorfeld genau abzustimmen und auf einen kohärenten Stand zu bringen. Dies ließ mehr Zeit für die Diskussion des Designs und des Entwicklungsprozesses.

9. Prüfungsdurchführung

Laut Modulbeschreibung der Prüfungsordnung besteht die Prüfungsleistung für die Lehrveranstaltung aus einer schriftlichen Klausur von 90 Minuten Länge. Aufgrund der mit der Pandemie einhergehenden Einschränkungen wurde im vorliegenden Semester jedoch darum gebeten, die Prüfungen entweder digital durchzuführen oder nach alternativen Prüfungsformen zu suchen. Da die Studierenden ohnehin zum Abschluss ihre Vorgehensweise und erlangten Resultate präsentieren sollten, war es naheliegend, dies in die Prüfungsleistung mit einzubeziehen. Allerdings standen für die Abschlusspräsentationen inklusive Diskussion lediglich 180 Minuten für 32 Studierende zur Verfügung, sodass auf Grundlage der Präsentationen keine verlässliche Einschätzung der Individualleistungen getroffen werden konnte. Aus diesem Grund wurde von den Studierenden ein Abschlussbericht verlangt, dessen Haupttext zwischen 1500 und 3000 Wörtern umfassen sollte. Hauptaugenmerk dieses Abschlussberichts lag auf dem Prozess. So wa-

ren nicht nur Informationen zum Datenaustausch und dem finalen Stand der Ausarbeitung, sondern auch selbstreflektive Elemente zum individuellen Fortschritt und aufgetretenen Problemen in der Ausarbeitung / im Lernprozess gefordert.

Die Prüfungsleistung wurde von fast allen Studierenden sehr gut angenommen und bewältigt. Allein für Team B wurden insgesamt 271 Seiten Berichte eingereicht. Die Qualität der Präsentationen und Berichte war sehr gut. Bis auf eine Ausnahme lagen die Noten im Bereich von 1,0 bis 1,3. In beiden Teams lag der Mittelwert bei 1,2. Abbildung 4 zeigt einen kleinen Ausschnitt des Endergebnisses, ein Rendering des von Team A entwickelten Mondlanders.



Abb. 4: CAD-Rendering des von einem der beiden Teams entwickelten Mondlanders

10. Lehrevaluation

Um Rückmeldungen der Studierenden zu ihren Lernerfahrungen zu erhalten, wurden sie bereits zu Beginn des Semesters und danach in regelmäßigen Abständen dazu angehalten, Feedback offen zu kommunizieren. Dieser Bitte wurde allerdings fast nicht nachgekommen. Zusätzlich dazu wurde gegen Ende des Semesters eine von der Fakultät Maschinenwesen bereitgestellte Lehrevaluation in den OPAL-Kurs zur Lehrveranstaltung implementiert. Wenngleich dies aufgrund der direkten Nutzerzuordnung ebenfalls keine anonyme Möglichkeit zur Rückmeldung bietet, nahmen 15 der 32 Studierenden an der Evaluation teil.

Dieser Abschnitt fasst die wesentlichen Ergebnisse der Evaluation zusammen.

Positiv zu werten ist, dass mit 93 % die überwiegende Mehrheit der Studierenden die Ziele der Lehrveranstaltung nachvollziehen konnte (siehe Abbildung 5), dass alle Teilnehmenden einen roten Faden in der Strukturierung der Lehrveranstaltung (siehe Abbildung 6) sowie den direkten Praxisbezug (siehe Abbildung 7) erkennen konnten und das Tempo Veranstaltung als optimal empfanden (siehe Abbildung 8).

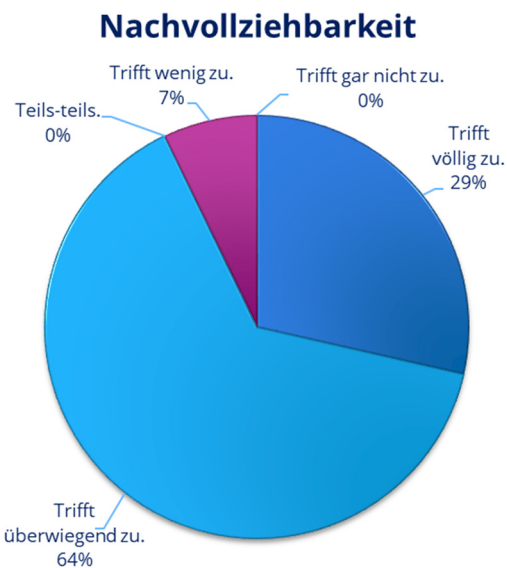


Abb. 5: Antworten zur Aussage „Die Lehrperson stellt die Ziele der Veranstaltung nachvollziehbar dar.“

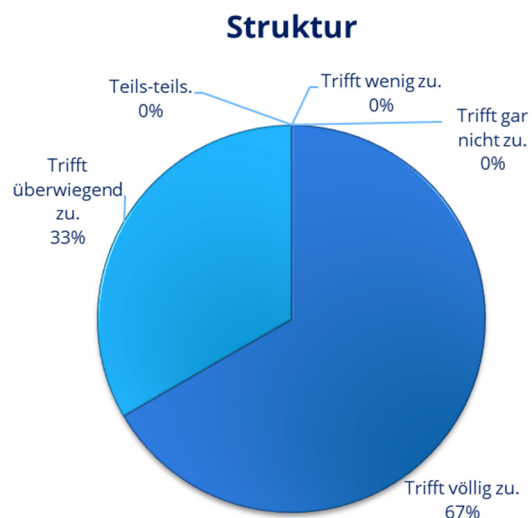


Abb. 6: Antworten zur Aussage „Die Lehrperson strukturiert die Veranstaltung. Es ist ein roter Faden erkennbar.“

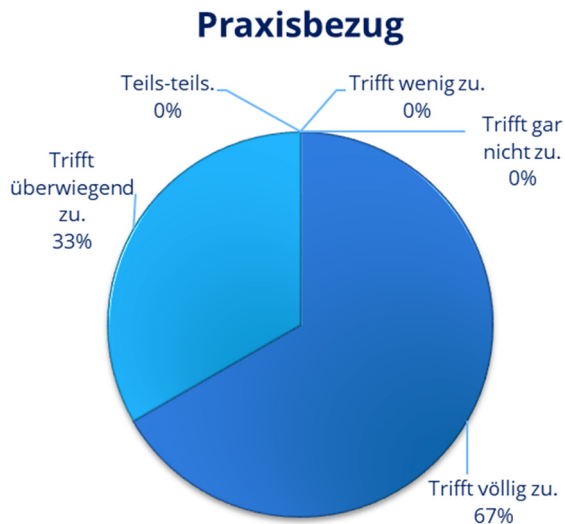


Abb. 7: Antworten zur Aussage „Die Lehrperson stellt einen Bezug zwischen Theorie und Praxis / Anwendungen her.“

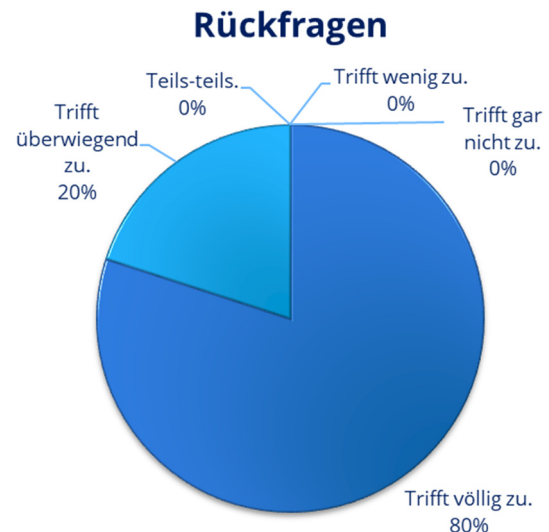


Abb. 9: Antworten zur Aussage „Die Lehrperson steht für Rückfragen zur Verfügung.“

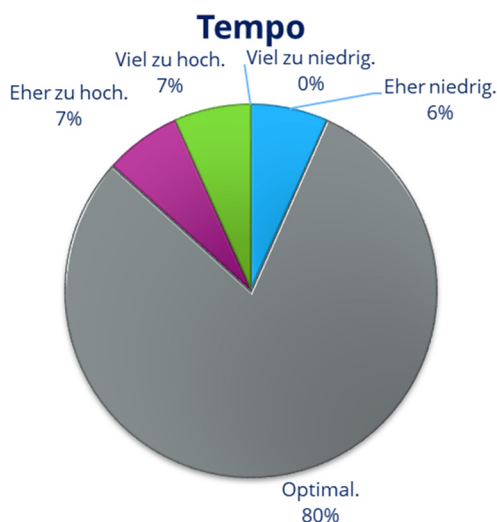


Abb. 8: Antworten zur Aussage „Das Tempo der Veranstaltung ist:“

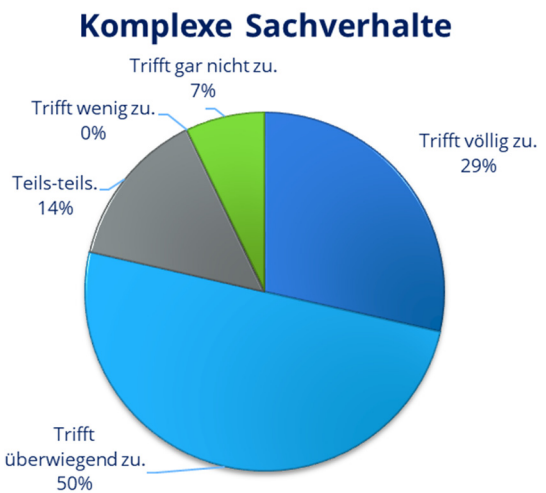


Abb. 10: Antworten zur Aussage „Die Lehrperson kann komplizierte Sachverhalte verständlich machen.“

Zudem fanden alle Teilnehmenden, dass die Lehrpersonen für Rückfragen zur Verfügung standen (siehe Abbildung 9) und 79 % der Studierenden gaben an, dass die Lehrpersonen komplizierte Sachverhalte verständlich machen können. Dies zeigt, dass das didaktische Konzept der umgestalteten Lehrveranstaltung funktioniert hat.

Ein ähnlich überzeugtes Bild ergibt sich hinsichtlich der eingesetzten Medien zur Durchführung der Lehrveranstaltung. So gaben zwei Drittel der Teilnehmenden an, dass die bereitgestellten Arbeitsmaterialien hilfreich waren (siehe Abbildung 11). Hierbei ist zu bemerken,

dass die 13 % der Teilnehmenden, die angegeben haben, dass es keine Arbeitsmaterialien gibt, obwohl z.B. Informationen zu einzelnen Rollen und Literaturempfehlungen kommuniziert wurden, das Ergebnis etwas verzerren. Die verwendeten Präsentationsmedien, also in diesem Fall die bereitgestellten Screencasts und zugehörigen Folien, wurden mit 79-prozentiger Mehrheit ebenfalls als hilfreich eingestuft (siehe Abbildung 12). Weiterhin schätzten alle Teilnehmenden Discord für die Lehrveranstaltung positiv ein (siehe Abbildung 13). Diese Plattform wurde nicht vorgegeben, sondern von den Studierenden selbst für Ihren Austausch gewählt. Es ist somit überlegen-

wert, diese Plattform bewusst mit in die Lehrveranstaltung zu integrieren oder zumindest zukünftigen Teilnehmenden zu empfehlen, die Entscheidung aber letztlich ihnen selbst zu überlassen.

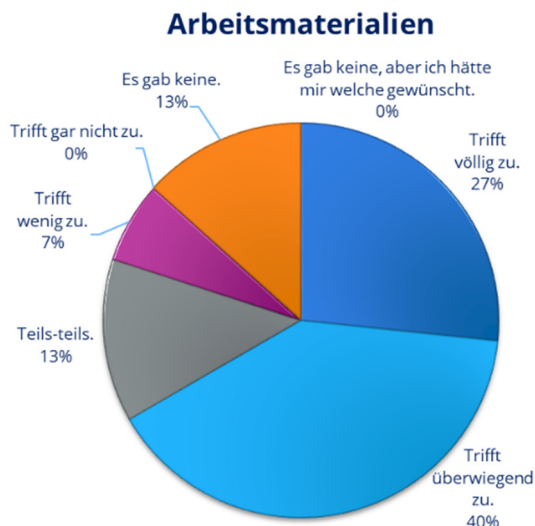


Abb. 11: Antworten zur Aussage „Ich finde die bereitgestellten Arbeitsmaterialien hilfreich (z.B. Handouts, Skripte, Literaturhinweise).“

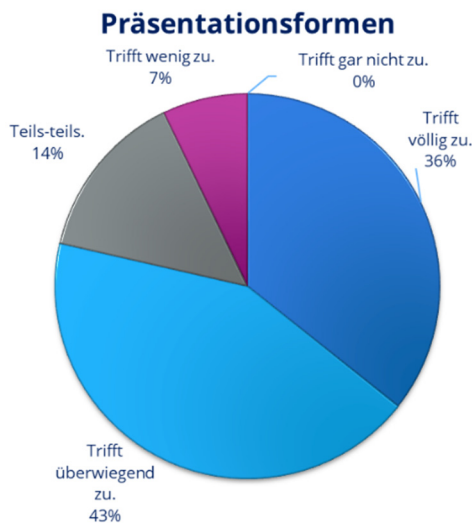


Abb. 12: Antworten zur Aussage „Ich finde die verwendeten Präsentationsmedien hilfreich (z.B. Präsentation, Folien, Anschauungsobjekte).“

Auch in den Bereichen Motivation, Lernempfinden und Praxistransfer zeichnet die Evaluation ein positives Bild der transformierten Lehrveranstaltung. So gaben 93 % der Teilnehmenden an, dass sie durch die Lehrveranstaltung motiviert wurden, sich selbst mit den Inhalten zu beschäftigen

(siehe Abbildung 14). Ein gleich hoher Prozentsatz gab an, dass sie viel durch die Veranstaltung gelernt haben (siehe Abbildung 15) und sich in der Lage fühlen, das erlernte Wissen in der Praxis anzuwenden (siehe Abbildung 16). Gerade letzterer Punkt ist entscheidend, da die Lehrveranstaltung besonderen Wert darauf legt, die Studierenden, die kurz vor Abschluss ihres Studiums stehen, besser auf den Berufsalltag vorzubereiten. Somit verwundert es wenig, dass ganze 87 % der Studierenden angaben, insgesamt mit der Lehrveranstaltung zufrieden gewesen zu sein (siehe Abbildung 17).

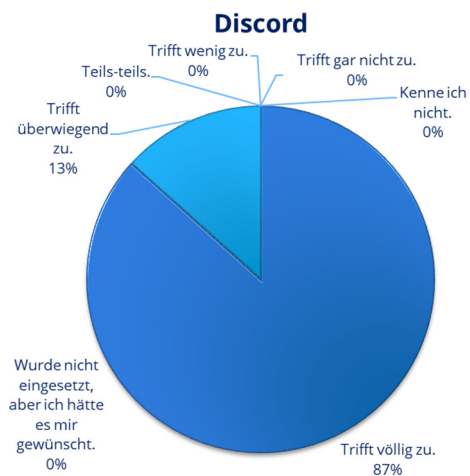


Abb. 13: Antworten zur Aussage „Ich finde das Kommunikationswerkzeug Discord in der Lehre hilfreich.“

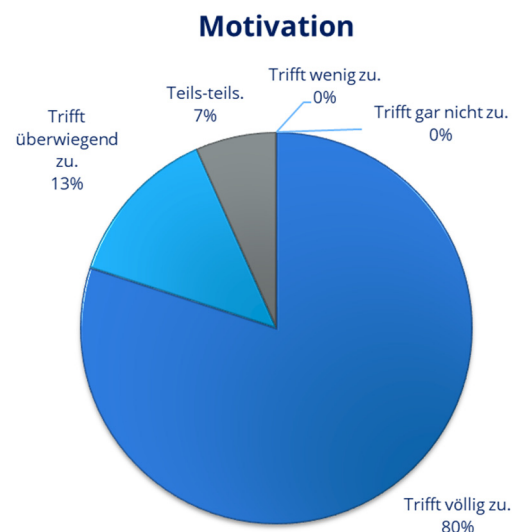


Abb. 14: Antworten zur Aussage „Die Veranstaltung motiviert, sich selbst mit den Inhalten zu beschäftigen.“

Lernempfinden

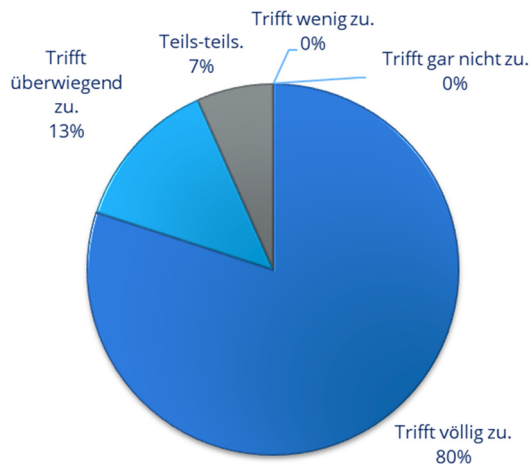


Abb. 15: Antworten zur Aussage „Ich habe viel durch die Veranstaltung gelernt.“

überdurchschnittlich hoch empfunden wurde. So bescheinigten 93 % der Studierenden, dass der Arbeitsaufwand höher ausfiel als bei anderen Lehrveranstaltungen (siehe Abbildung 20). Das sich dies eher auf die Arbeitsmenge, als auf die Schwierigkeit des Stoffs bezieht, zeigt Abbildung 21. Hier gaben 93 % der Teilnehmenden an, dass die Schwere des Stoffes optimal ist. Weitere 7 % fanden sie tendenziell eher zu niedrig. Somit ließe sich der als hoch empfundene Aufwand reduzieren, indem man einen der drei Iterationszyklen entfallen lässt. So entfielen auch eine Live-Konsultation, welche die Studierenden entsprechend vor- und nachbereiten müssen. Die Auswirkungen auf die Lernerfolge müssten in diesem Fall möglichst genau evaluiert werden.

Praxistransfer

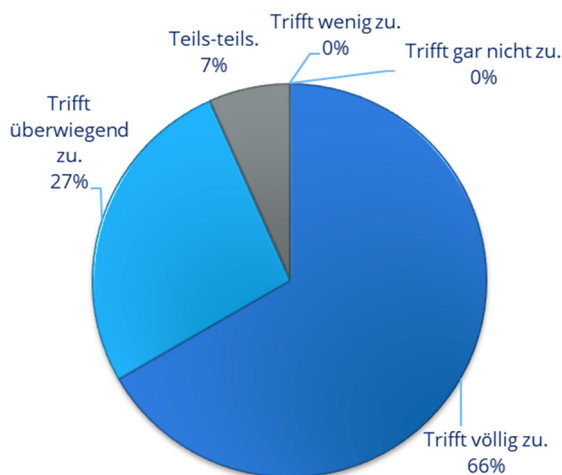


Abb. 16: Antworten zur Aussage „Ich fühle mich in der Lage, das in der Lehrveranstaltung erlernte Wissen in der Praxis anzuwenden.“

Zufriedenheit

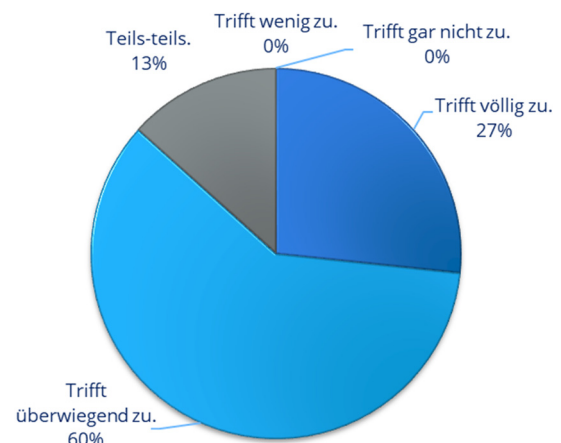


Abb. 17: Antworten zur Aussage „Insgesamt bin ich mit der Veranstaltung zufrieden.“

Ein etwas differenzierteres Bild ergibt sich hinsichtlich der Stoffmenge (siehe Abbildung 18). Zwar gaben zwei Drittel der Teilnehmenden an, die Stoffmenge der Lehrveranstaltung sei optimal, das restliche Drittel empfand die Stoffmenge hingegen als zu hoch. Demnach empfand niemand die Stoffmenge als zu niedrig. Dies deckt sich mit den Angaben zum Vor- und Nachbereitungsaufwand (siehe Abbildung 19). Hier gaben 87 % der Studierenden an, die Lehrveranstaltung regelmäßig vor- und nachzubereiten. Dies ist aufgrund der gewählten Struktur mit festen Meilensteinen auch ganz klar so gewollt. Jedoch geht damit einher, dass der Arbeitsaufwand zumindest subjektiv als

Stoffmenge

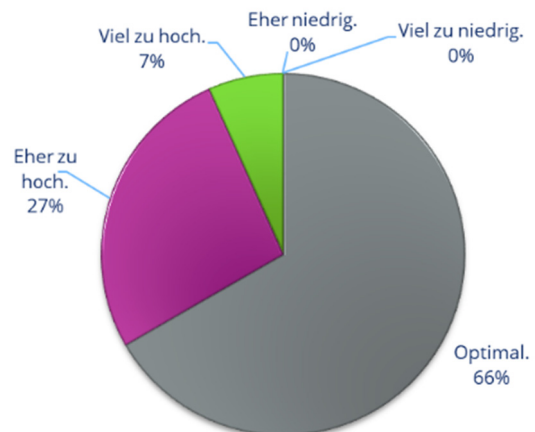


Abb. 18: Antworten zur Aussage „Die Stoffmenge der Veranstaltung ist.“

Vorbereitung

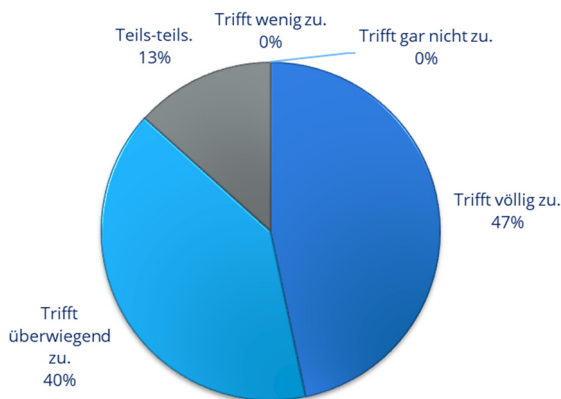


Abb. 19: Antworten zur Aussage „Ich bereite die Veranstaltung regelmäßig vor und nach.“

Arbeitsaufwand

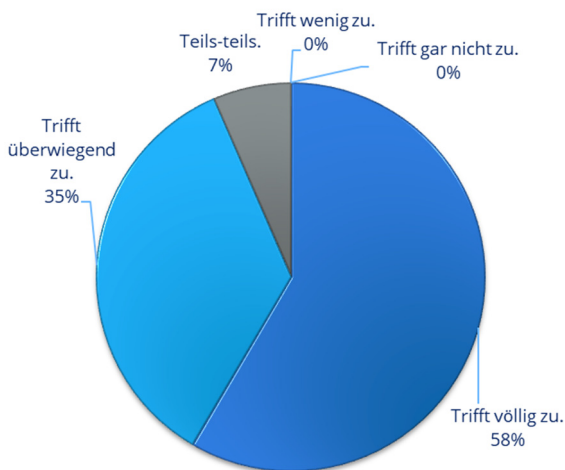


Abb. 20: Antworten zur Aussage „Mein Arbeitsaufwand ist verglichen mit anderen Veranstaltungen hoch.“

Anforderungen

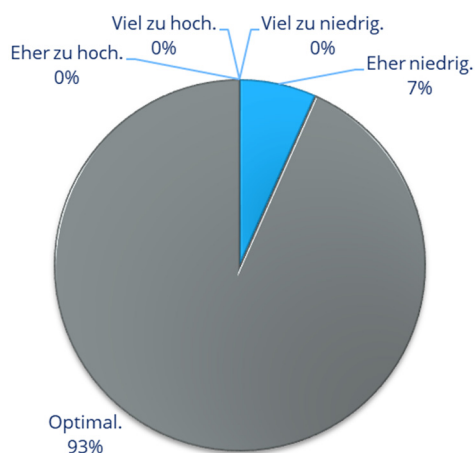


Abb. 21: Antworten zur Aussage „Die Anforderungen sind / die Schwere des Stoffes ist:“

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Umstellung der Lehrveranstaltung auf ein virtuelles Format ein voller Erfolg war. In der Tat waren wir mit dem Lehr-Lern-Ergebnis sogar zufriedener als nach den Präsenzveranstaltungen der vorherigen Jahrgänge. Dies schließt die Prüfungsleistung mit ein, welche in dem alternativen Format aus Abschlusspräsentation und -bericht deutlich näher an der Berufsrealität eines Ingenieurs liegt als eine schriftliche Klausur.

11. Verbesserungsmöglichkeiten

Wenngleich die Umstrukturierung der Lehrveranstaltung als Erfolg angesehen werden kann, zeigt das Feedback der Studierenden aber auch, dass es noch Verbesserungspotenzial gibt. So wurde deutlich, dass nicht allen der Ablaufplan der Lehrveranstaltung, die sich doch deutlich von anderen Lehrveranstaltungen der Vertiefungsrichtung Luft- und Raumfahrttechnik unterscheidet, klar gewesen ist. Auch kamen nicht alle von Anfang an gut mit ihren Rollen zurecht. Diese Punkte lassen sich, bspw. durch eine eindringlichere Erläuterung der Aufgaben der einzelnen Rollen während der Einführungsveranstaltung, relativ leicht beheben.

Ein weiterer Punkt ist die verwendete Software Valispace, die zwar durchgängig positiv eingeschätzt wurde, aufgrund ihrer beschränkten Performance (insb. hinsichtlich langer Zeiten zur Synchronisierung und Berechnung von Daten) aber nicht voll ausgenutzt werden konnte. Hierzu wurde eine separate Evaluierung durchgeführt, die Gegenstand einer zukünftigen Publikation sein soll.

Ein Nachteil, der dem angewandten Konzept inhärent ist, besteht in dem begrenzten Einblick in die studentischen Lernprozesse während des Semesters. Zwar bieten die zweiwöchigen Konsultationen, in denen alle Studierenden neben ihren Fortschritten auch Probleme aufzeigen sollen, eine Basis. Dennoch ist die Wahrnehmung von Lernschwierigkeiten in Präsenzveranstaltungen direkter und Feedbackschleifen können kürzer gehalten werden.

13. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Lehrveranstaltung „Entwurf von Raumfahrtssystemen“ der Vertiefungsrichtung Luft- und Raumfahrttechnik des Diplomstudiengangs Maschinenbau der TU Dresden wurde ein Concurrent Engineering Workshop zur Konzeption einer Raumfahrtmission erfolgreich in ein virtuelles Format transferiert. Kern der Umstrukturierung, welche aufgrund der mit der COVID-19-Pandemie einhergehenden Einschränkungen erforderlich wurde, war die Streckung der vormals an drei Tagen als Blockveranstaltung durchgeführten Lehrveranstaltung auf das gesamte Semester. Das angewandte Methodenportfolio enthielt Screen-casts zur Vermittlung der Grundlagen zu Beginn der Lehrveranstaltung, die Verlagerung der eigentlichen Ausarbeitung ins Selbststudium sowie regelmäßige Live-Konsultationen mit Kurzpräsentationen der Studierenden. Diese Mischung aus synchronen und asynchronen Elementen führte, gemeinsam mit der Umstellung der Prüfungsleistung von einer schriftlichen Klausur auf eine Kombination aus Abschlussvortrag und -bericht, zum Erfolg der Lehrveranstaltung im vorliegenden Semester, was durch die durchgeführte Lehrevaluation unterstrichen wurde.

Gleichzeitig hat diese erste Iteration konkrete Ansätze für weitere Verbesserungen offenbart. So bemerkten die Studierenden den im Vergleich zu anderen Lehrveranstaltungen hohen Arbeitsaufwand. Dieser ließe sich in Zukunft durch das Weglassen einer Iterationsstufe in der Detaillierung des Missionsdesigns bzw. eine Kürzung dieser reduzieren. Zudem kann die Einführung in die Lehrveranstaltung ausgebaut werden, bspw. durch dedizierte Kurzpräsentationen mit konkreten Beispielszenarien für die Vorstellung der unterschiedlichen Rollen. Dies ist wichtig, um nicht schon zu Beginn Studierende zu verlieren. Denn die Hauptherausforderung, alle Studierenden zu erreichen und zur aktiven Teilnahme zu befähigen, damit die im Sinne des Concurrent Engineering durchgeführte Missionsstudie zum Erfolg geführt werden kann, stellt sich jedes Mal aufs Neue.

Da das virtuelle Format zu einem insgesamt sehr positiven Lehr-Lern-Ergebnis geführt hat, liegt der Ansatz nahe, zukünftig ein hybrides

Format zu entwickeln, welches auf der Struktur des virtuellen Ansatzes, und somit teilweise asynchroner Wissensvermittlung, beruht und diese mit Präsenzveranstaltungen verknüpft. Allen Studierenden wird man es aber auch damit wohl nicht recht machen können, wie das Meinungsbild zu Präsenz- und Onlinelehre in Abbildung 22 zeigt.

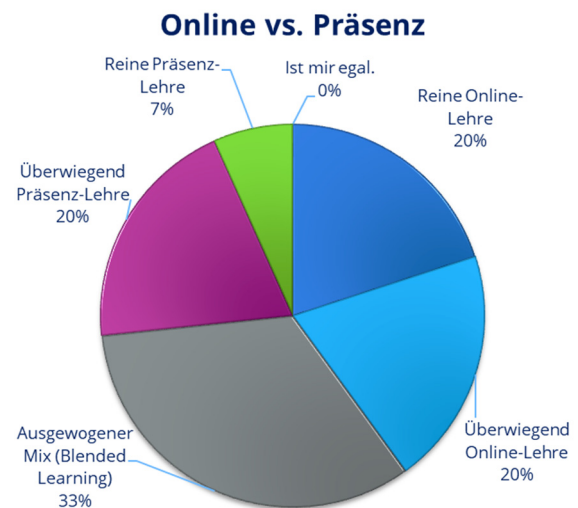


Abb. 22: Antworten zur Aussage „Im Rahmen der Lehre bevorzuge ich folgende Kommunikationsformen:“

Danksagung

Wir bedanken uns bei allen teilnehmenden Studierenden für ihre Anpassungsfähigkeit, ihr Engagement, ihr Verständnis und ihr Feedback.

Literatur

- [1] E. Kane Casani und R. M. Metzger: *Reengineering the project design process*, Acta Astronautica, vol. 35, no. 94, pp. 681-689, 1995.
- [2] m. Bandecchi, B. Melton und F. Ongaro: *Concurrent engineering applied to space mission assessment and design*, ESA Bulletin, vol. 99, pp. 34-40, 1999.
- [3] M. Banecchi, B. Melton, B. Gardini und F. Ongaro: *The ESA/ESTEC concurrent design facility*, Proc. EuSEC 2000, vol. 1, pp. 329-336, 2000.