

# Der Schnellstart in die digitale Lehre unter Corona-Randbedingungen

Norbert Kockmann\*

DOI: 10.1002/cite.202000206

 This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Der Corona-Lockdown und die Campus-Schließung der TU Dortmund führten zu einem vollständig digitalen Sommersemester 2020 der Fakultät für Bio- und Chemieingenieurwesen. Vollständig digital? Nein! Dieser Beitrag gibt Beispiele für unterschiedliche digitale Lehrveranstaltungen. Aus der Sicht des Studiendekans werden Erfahrungen und persönliche Reflexionen zu diesem ungewöhnlichen Semester bis Juli 2020 dargestellt. Nach einer kurzen Einleitung werden Maßnahmen zur digitalen Lehre mit der schrittweisen Teilöffnung beschrieben. Insbesondere der Erfahrungsaustausch zusammen mit dem Feedback der Studierenden brachte interessante Ergebnisse und Erfahrungen mit digitalen Werkzeugen. Die daraus gezogenen Lehren werden skizziert zusammen mit Empfehlungen für verschiedene digitale Werkzeuge und einem Ausblick auf kommende Semester vorgestellt.

**Schlagwörter:** Digitale Kompetenzen, Digitale Lehrmethoden, Effektivität des digitalen Unterrichts, Lehrplan für Chemieingenieurwesen

*Eingegangen:* 18. September 2020; *akzeptiert:* 22. Oktober 2020

## The Kick-Start into Digital Teaching Under COVID-19 Conditions

The corona lockdown and campus closure of the TU Dortmund University led to a fully digital summer semester 2020 of the Faculty of Biochemical and Chemical Engineering. Completely digital? No! This article gives examples of different digital courses. From the perspective of the Dean of Studies, experiences and personal reflections on this unusual semester until July 2020 are presented. After a short introduction, measures for digital teaching with the gradual partial opening are described. Especially the exchange of experiences together with the students' feedback brought interesting results and experiences with digital tools. The lessons learned are outlined together with recommendations for different digital tools and an outlook on upcoming semesters.

**Keywords:** Chemical engineering curriculum, Digital competencies, Digital teaching methods, Effectiveness of digital teaching

## 1 Einleitung

Die ersten Nachrichten aus China Ende 2019 waren nicht alarmierend, eine neue, hochansteckende Grippe mit einem unbekanntem Erreger. Doch hundert Tage später wurden die ersten Millionen Infektionen gezählt, 12 Tage später die nächste Million. Ende Juni 2020 haben wir 10 Millionen Infizierte, fast eine halbe Millionen registrierte Tote [1] und Ende August 2020 immer noch steigende Infektionszahlen. Jedes Land und jede Region, jede Stadt und jeder Haushalt kann eine eigene Geschichte erzählen über die ersten Sorgen, die Abriegelung, das Warten auf die schrittweise Erleichterung der Maßnahmen, während man sich um die Desinfektion und die soziale Distanz kümmert oder erste Fortschritte in der Impfstoffentwicklung berichtet wurden.

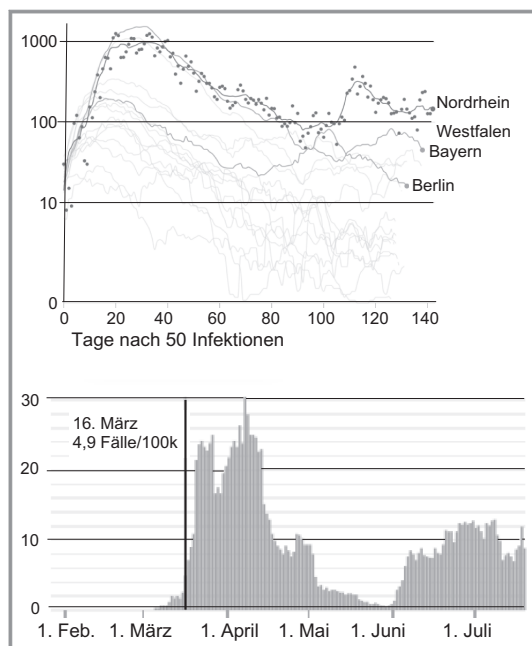
Diese Erfahrungen gaben gute Beispiele für die Veranstaltungen im Sommersemester zur „Anlagen- und Arbeitssicherheit“ und „Gute Herstellungspraxis, GMP“ für hygienisches Design als die ersten Kurse.

In Abb. 1 sind die Zahlen der Corona-Pandemie in Nordrhein-Westfalen und Dortmund in verschiedenen angepassten Zeiteinheiten für das Sommersemester dargestellt. Der steile Anstieg zu Beginn der Pandemie in Dortmund

---

Prof. Dr.-Ing. Norbert Kockmann  
Norbert.Kockmann@bci.tu-dortmund.de  
Technische Universität Dortmund, Bio- und Chemieingenieurwesen, Apparatedesign, Emil-Figge-Straße 68, 44227 Dortmund, Germany.

beginnt vom 15. März mit 2,6 neuen Fällen pro Woche auf 100 000 Einwohner bis zum 16. März mit 4,9 neuen Fällen. Am 16. März wurden die Studierenden vom Campus ausgeschlossen (Lockdown), alle Veranstaltungen inklusive der Prüfungen wurden vorerst abgesagt. Die Höchstzahl von 30,5 neuen Fällen wurde am 7. April erreicht mit einem anschließenden Rückgang bis Ende Mai als Resultat des öffentlichen Lockdowns. Mit der schrittweisen Öffnung von Geschäften, Schulen oder Restaurants stieg die Infektionszahl wieder auf einen stabilen Wert zwischen 10 und 13 neuen Fällen pro Woche auf 100 000 Einwohner an. Diese Zahl für Dortmund ist für Deutschland insgesamt recht hoch, überlastet aber das Gesundheitssystem und die Kapazität der Krankenhäuser nicht. Das Virus ist jedoch nach wie vor vorhanden und „Superspreading events“ sollten unbedingt vermieden werden.



**Abbildung 1.** Oben: COVID-19-Infektionen in den Bundesländern, Nordrhein-Westfalen hervorgehoben. Unten: Infektionen pro 100 000 Einwohner in Dortmund mit ca. 590 000 Einwohnern, eigene Abb. mit Daten von [2].

Die TU Dortmund mit mehr als 34 000 Studierenden aus dem Raum Nordrhein-Westfalen, rund 6000 Erstsemester-Studenten im Oktober, Vorlesungen mit mehreren hundert Studierenden und die Mensa mit mehr als 6000 Mahlzeiten am Tag würde als gigantischer Multiplikator für die Region wirken. Die typische Distanz zwischen den Studierenden ist insbesondere bei großen Bachelor-Studiengängen sehr kurz, was zu potenziell hohen Infektionsraten führt [3, 4]. Die Studierenden pendeln mit öffentlichen Verkehrsmitteln, leben in Wohnheimen, Wohngemeinschaften oder bei ihren Familien und würden das Virus im Umkreis von 100 km mit mehr als 8 Millionen Einwohnern verbreiten. Im Juli 2020 [5] waren junge Menschen zwischen 15 und 35 Jahren

die Hauptinfektionsträger [5]. Um sich das hohe Infektionspotenzial an modernen Massenuniversitäten vorzustellen, bedarf es keiner komplexen Simulation.

Bis März 2020 gab es an der TU Dortmund und unserer Fakultät schon Elemente digitaler Lehrmethoden. In der Strömungsmechanik wurden Lehrvideos zur Veranschaulichung von Strömungsphänomenen [6] eingesetzt. Der theoretische Teil der Vorlesung zur Apparatechnik war als Video verfügbar oder unterschiedliche Online-Voting-Tools wurden in Lehrveranstaltungen integriert. Im November 2019 organisierte die TU Dortmund ein eintägiges Treffen zum Erfahrungsaustausch zu digitalen Formaten mit anderen Fakultäten und Referenten von Nachbaruniversitäten. Es wurde klar, dass nicht alle Methoden und Werkzeuge für die einzelnen Disziplinen und Lehrformate in gleicher Weise geeignet sind. In dem Workshop wurde empfohlen, verschiedene Methoden zu testen, um geeignete Wege zu finden.

In Handbüchern [7, 8] und Lehrbüchern [9, 10] sind die Vorteile und Möglichkeiten der digitalen Lehre gut beschrieben, wie z. B. die zeitliche und räumliche Flexibilität der Studierenden beim Lernen, die Anpassung des individuellen Lerntempos oder die Vielfalt der Lernstufen und individuellen Ansätze. Typische Methoden sind *Blended Learning* [11] mit digitalen Werkzeugen und Präsenzveranstaltungen im Hörsaal sowie *Flipped* oder *Inverted Classroom* [12–14] mit hoher Lehrakzeptanz und guten Lernergebnissen. Ein wichtiger Punkt umfasst die Gestaltung und Ausführung von digitalen Werkzeugen für den Wissenstransfer, die Einübung der neuen Inhalte und das Testen des neu erworbenen Wissens. Ein gut angenommenes Werkzeug ist das Erklärvideo mit Live-Demonstration. Viele Beispiele finden sich auf offenen Plattformen (youtube und andere [15, 16]). Digitale Werkzeuge unterstützen auch die Hochschulpraktika als wesentlichen Bestandteil des Curriculums im Bio- und Chemieingenieurwesen. Sie reichen von vorbereitendem Material und Videos, Online-Tests und Fragebögen bis zu online-gestützten Experimenten oder zur Fernanalyse und -präsentation der Ergebnisse [17]. Offene Diskussionspunkte beim digitalen Lehren und Lernen sind Online-Prüfungen sowie verbesserte digitale Fertigkeiten, die mit den digitalen Methoden gelehrt werden sollen [18]. Obwohl digitale Werkzeuge in der Bio- und Chemieingenieurausbildung kontinuierlich in der Community diskutiert werden [19], zwingen die pandemischen Bedingungen zu schnellen Maßnahmen in der digitalen Lehre ohne lange geplante wissenschaftliche Grundlage. Vor der COVID-19-Krise hat die pädagogische Forschung zum digitalen Wandel den Reaktionen von Bildungsorganisationen unter extremem Druck von außen nicht viel Aufmerksamkeit geschenkt [20, 21]. Hier ist eine größere Kluft für Universitäten, Schulen und Berufsorganisationen sichtbar, die mit mehr Informationen und Erfahrung bereichert werden sollte.

Deswegen werden in diesem Beitrag die digitalen Maßnahmen beschrieben, die im März und April 2020 an der TU Dortmund und insbesondere an der Fakultät für Bio-

und Chemieingenieurwesen (BCI) eingeführt und angewendet wurden. Der Schwerpunkt liegt auf den Rückmeldungen der Studierenden zu verschiedenen Lehrmaterialien und Lernaktivitäten, die hauptsächlich in einer Online-Umfrage im Juni 2020 gegeben wurden. Die Beschreibung schließt mit einem Szenario für die Zukunft des digitalen und analogen Lehrens und Lernens.

## 2 Öffnung des Campus und digitale Lehrformate

Die letzte Dienstreise führte mich vom 2. bis 5. März nach Cambridge, UK, gefolgt von einer Zugfahrt am Freitag nach Frankfurt/Main, noch ohne Einschränkungen. In der darauffolgenden Woche wurden viele Konferenzen abgesagt oder verschoben. Der wissenschaftliche Betrieb kühlte sich ohne Reisen und Projekttreffen ab. Am 16. März verließen die Studierenden den Campus, zwei Tage später folgten alle Wissenschaftler und Mitarbeiter der TU Dortmund. Die Arbeit von zu Hause aus war vorgeschrieben, Informationen kamen über E-Mails und eine „Corona-Seite“ wurde auf der TU-Homepage [22] eingerichtet. Am 24. März traf sich die Prorektorin für Lehre in einer Online-Besprechung mit allen Dekanen, um die Situation ausführlich zu besprechen, wie die Lehre in digitaler Form ohne Anwesenheit der Studierenden auf dem Campus stattfinden sollte. Es wurden viele Details zur Vorbereitung der digitalen Unterrichtselemente besprochen, insbesondere sollten die Fakultäten eine Liste der notwendigen Ausrüstung, Softwarelizenzen und anderer unterstützender Elemente zusammenstellen. Die Verschiebung des Vorlesungsbeginns auf den 20. April wurde für eine bessere Vorbereitung des vollständig in digitaler Form vorliegenden Materials genutzt.

Innerhalb der Fakultät für Bio- und Chemieingenieurwesen BCI ist Moodle bereits seit mehreren Jahren die Datenaustauschplattform für Lehr- und Kursmaterial, wurde aber durch die zentrale IT-Abteilung für mehr Speicherkapazität und höhere Datentransferraten verstärkt. Darüber hinaus wurden mehrere Meeting-Tools verbessert und mit Lizenzen in ausreichender Anzahl versehen. Ziel war es, die Lehre in Vorlesungen mit bis zu 750 Studierenden zu unterstützen. Für alle Studierenden der Fakultät BCI wurde mit dem Digitalen Zentralbereich ein Moodle-Raum speziell für den Informations- und Erfahrungsaustausch eingerichtet. Ergänzt wurde dies durch einen Confluence-Raum für die Lehrenden, der hauptsächlich dazu gedacht war, best practice auszutauschen, Fragen zu beantworten etc. Ergänzt wurde dies durch weitere zentrale Moodle-Räume ähnlicher Intention seitens der Technischen Universität. Die Vorlesungen und Übungen wurden häufig zu Hause oder im Büro mit Tools wie MS-PowerPoint, OBR oder Camtasia voraufgezeichnet. Weitere Veranstaltungen wurden live im Hörsaal aufgenommen und gestreamt. Während des gesamten Semesters informierten wöchentliche Videobotschaften des Dekanats über Social-Media-Kanäle die Studierenden

über die aktuelle Situation und die weiteren Entwicklungen an der Universität und in der Fakultät. Tägliche Morgenrunden fanden in kleinen Gruppen von interessierten Studierenden und Lehrenden statt, um einen gemeinschaftlichen Start in den Tag zu bieten, Tagesstruktur beizubehalten und auch um Rückmeldungen aus der schwierigen Situation zu erhalten. Zweiwöchentliche Treffen und Diskussionen der Professoren begleiteten die Entwicklung. Die regelmäßige Kommunikation erwies sich in der ersten Hälfte des Semesters als sehr wichtig.

### 2.1 Online-Prüfungen und Abschlussarbeiten

Ab Mitte März war der Campus nicht vollständig geschlossen. Es konnten wichtige Arbeiten durchgeführt werden, wie die Kontrolle und Aufrechterhaltung laufender Langzeitexperimente. Für den Besuch von Campus-Gebäuden musste man sich beim zentralen Pförtner anmelden, einen Mund-Nasen-Schutz tragen, die Hände desinfizieren, die Räume lüften und persönliche Kontakte möglichst vermeiden. Die Arbeiten in den Büros und Labors der Universität wurden auf freiwilliger Basis durchgeführt. Die Universitätsbibliothek war ab 27. April 2020 nur für die Ausleihe und Rückgabe von Büchern geöffnet. In der zweiten Aprilhälfte wurden erste Entwürfe eines Hygienekonzepts für die Teilöffnung von Labors und Büros diskutiert. Ab dem 4. Mai 2020 fanden erste mündliche Prüfungen auf dem Campus statt, während die schriftlichen Prüfungen am Samstag, den 23. Mai mit einem eigenen Hygienekonzept begannen.

Für die Prüfung auf dem Campus mussten die Studierenden zu einem festgelegten Eingang des Gebäudes kommen, wo sie von einem Mitarbeiter empfangen wurden. Nach der Händedesinfektion wurden die Studierenden zum Prüfungsraum geführt. Mündliche Prüfungen wurden an der Tafel, Flipchart oder Whiteboard durchgeführt (s. Abb. 2). Das Tafelbild wurde nach der Prüfung fotografiert, ausgedruckt und von den Beteiligten unterschrieben. Nach der Prüfung wurden die Studierenden zum nächsten Ausgang



**Abbildung 2.** Gruppenfoto nach einer Doktor-Prüfung im Mai 2020 mit Mund-Nasen-Schutz und Abstand sowie virtuellen Teilnehmern.

geleitet. Die Teilnahme war freiwillig, und der Gesundheitszustand wurde abgefragt und visuell überprüft. Die schriftlichen Prüfungen wurden in großen Hörsälen mit ausreichendem Abstand zwischen den besetzten Plätzen abgehalten. Üblicherweise wurde ein Verhältnis von 1:10 für einen besetzten Platz im Verhältnis zur Gesamtzahl der Plätze angestrebt. Alle Studierenden müssen die aktuelle E-Mail-Adresse und Telefonnummer angeben, um im Falle einer Infektion sofort kontaktiert zu werden. Prüfungen mit bis zu 200 Personen können auf dem Campus durchgeführt werden. Für größere Prüfungen, z. B. für Mathematik, Technische Mechanik oder Thermodynamik, wurden in der Stadt große Ausstellungshallen angemietet und von externen Sicherheitsdiensten kontrolliert. Dies wurde im Juni für die ab März verschobenen Prüfungen sowie im August für die regulären Prüfungen organisiert.

Abschlusspräsentationen in der Bachelor- oder Masterarbeit waren im Online-Format möglich, oft als Zoom- oder Webex-Konferenz, da während der Präsentation und anschließenden Diskussion nur schlecht getäuscht werden kann. Mündliche Online-Prüfungen waren von der Rechtsabteilung erlaubt, wurden aber nur in Ausnahmefällen durchgeführt. Diese Prüfungen folgen ebenfalls einem bestimmten Verfahren, das die Raumkontrolle vor und nach der Prüfung, die Bildschirmkontrolle durch den Studierenden während einer Präsentation und die Kontrolle des Verhaltens während der Fragen einschließt. Bei technischen Problemen kann die Prüfung eine Pause einlegen und mit einem anderen Thema fortfahren. Bei vielen Pausen muss die Prüfung unterbrochen und zu einem anderen Zeitpunkt wiederholt werden. Die Möglichkeiten mit schriftlichen Online-Prüfungen wurden von einer TU-Arbeitsgruppe geprüft. Jedoch konnte aus technischen und rechtlichen Gründen bis zum Ende des Sommersemesters kein positives Ergebnis erzielt werden.

## 2.2 Eigene Online-Vorlesungen und Übungen

Im Folgenden werden stellvertretend die eigenen Kurse mit den erstellten Materialien beschrieben. Die beiden unmittelbar nach dem 20. April beginnenden Kurse „Gute Herstellungspraxis, GMP“ und „Anlagen- und Arbeitssicherheit“ wurden mit vertonten Powerpoint-Folien vorbereitet, die im ppsx-Format gespeichert wurden. Eine weitere Speicherung als mp4-Datei direkt aus MS-PowerPoint ergibt größere Dateien (Faktor 10 in der Größe), während die Camtasia-Konvertierung nur zu einer 2–3-fachen Dateigröße führt. Dies ist für Studierende mit einer leistungsschwachen Webverbindung wichtig beim Streaming. Das gesamte Kursmaterial zu Moodle wurde mit einem Copyright-Abschnitt mit Haftungsausschluss versehen.

Am 23. und 24. April fanden die ersten Online-Vorlesungen zu GMP bzw. Arbeitssicherheit statt. Es dauerte ca. zwei Wochen, bis das Konzept des *Flipped-Classrooms* mit Selbststudium funktionierte. Die synchrone Kontaktsitzung zur

im Stundenplan vorgesehenen Zeit wurde für einen kurzen Überblick des Lerninhalts genutzt und Fragen konnten dazu gestellt werden. Die Online-Sitzung schloss mit einem kurzen Anwendungsbeispiel. Das Lehren in Anwesenheit des Professors oder Übungsleiters ist ein wesentliches Element für erfolgreiches Lernen [7], da der Lehrende in Person als zentraler Experte und Identifikationsfigur mit dem Fachgebiet wichtig ist. Begleitet wurde der GMP-Kurs durch die gemeinsame Diskussion von Zeitungsartikeln über den Fortschritt der Impfstoffentwicklung oder des Produktions-Scale-ups. Die Hygienevorschriften der TU Dortmund wurden auf der Grundlage des Verfassens von Standard Operation Procedures (SOPs) und zur Veranschaulichung des Zusammenspiels zwischen Gesetzen, Verordnungen und SOPs diskutiert. Später im Juni wurden in den Online-Sitzungen typische Stellenausschreibungen im Bereich der Qualitätssicherung, der Dokumentation oder der pharmazeutischen Verfahrenstechnik vorgestellt und diskutiert. Am Ende der Kurse wurde eine Testklausur mit typischen Fragen oder kurzen Berechnungen mit ca. 1/3 des Umfangs einer normalen Prüfung hochgeladen und anschließend online mit der Lösung besprochen. In der Arbeitssicherheits-Veranstaltung wurden ebenfalls einschlägige Stellenausschreibungen besprochen.

Im April 2020 startete vollständig online ein historisch-technisches Seminar zusammen mit einer Forschungsgruppe für Bergbaugeschichte an der Ruhr-Universität Bochum. Das Seminar bestand aus einer einführenden Lektüre, einem Online-Testat und der Bildung von zwei Gruppen mit anfangs sechs Studierenden. Wir hatten zwei Online-Kontakttreffen und Kommunikation per E-Mail zur Vorbereitung einer Präsentation mit einem historischen Thema aus der Kohleverarbeitung im Ruhrgebiet im 20. Jahrhundert. Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Literaturbeschaffung wurde die Abschlussreflektion auf Ende August 2020 verschoben. Mit der generischen Struktur des Kurses wird er in den kommenden Semestern leicht erweitert genutzt und fortgesetzt werden.

Die fünfwöchige Blockveranstaltung zur Apparatechnik im 6. Semester des Bachelor-Studiums begann am 25. Mai mit voraufgezeichneten und vertonten ppsx-Dateien. Die Vorlesung bestand aus drei synchronen Online-Sitzungen pro Woche für Fragen und Antworten. Neben der kurzen Beschreibung des empfohlenen Lernfortschritts wurden aktuelle Stellenausschreibungen mit Fachbezug besprochen. Die vertonten Folien wurden durch kurze Online-Quizzes zur Lernkontrolle ergänzt und mittels Camtasia als mp4-Datei für ein besseres Streaming gespeichert. Die Übungen wurden vorher in Camtasia aufgezeichnet und durch eine wöchentliche Sprechstunde der Übungsleiter begleitet. Bei der Erstellung der Übung erwies sich ein Graphiktablett als sehr hilfreich. Als weiteres Element wurde auf freiwilliger Basis eine Programmierübung in Kleingruppen angeboten, in der ein Apparatetutzen nach AD-Merkblatt berechnet werden sollte. Hier konnten Bonus-Punkte für die bestandene Prüfung erlangt werden.

Am 3. und 4. Juni begannen zwei Wahlkurse in Englisch zu „Drops, Bubbles & Films in Process Engineering“ und „Essentials of Micro Process Engineering“ für jeweils 6 Wochen als Blockveranstaltung. Das Kursmaterial besteht aus vertonten Folien mit verschiedenen Videos von eigenen Laborexperimenten über Zweiphasenströmung in Kapillaren und Flüssig/flüssig-Extraktionskolonnen. Die Online-Kontaktsitzungen wurden wie zuvor beschrieben als *Flipped-Classroom* organisiert. Die Ergebnisse aus den Prüfungen im Juli zu diesen beiden Veranstaltungen waren vergleichbar, wenn nicht sogar besser als in den Jahren zuvor.

In der gesamten BCI-Fakultät wurden im Sommersemester 2020 im Bachelor- und Master-Studium 16 bzw. 7 Pflichtkurse in digitaler Form angeboten. Weitere 27 Wahlkurse wurden sowohl für Master- als auch für Bachelor-Studierenden angeboten.

### 3 Rückmeldung der Studierenden

Ende Mai 2020 wurde ein Online-Fragebogen in Moodle mit insgesamt 71 Fragen zu den neuen digitalen Unterrichtsformaten eingerichtet. Insgesamt wurden 112 Rückmeldungen gesammelt und ausgewertet. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse gezeigt, die am 8. Juli online mit über 100 Teilnehmern von Studierenden und Fakultätsmitgliedern diskutiert wurden. Einige freie Textkommentare werden zu den Ergebnissen erwähnt. Neben den Lehrformaten wurden die verfügbaren Medien und Technologien sowie die Bedürfnisse und Wünsche für die Zukunft abgefragt.

#### 3.1 Online-Vorlesungen, Übungen und Tutorien

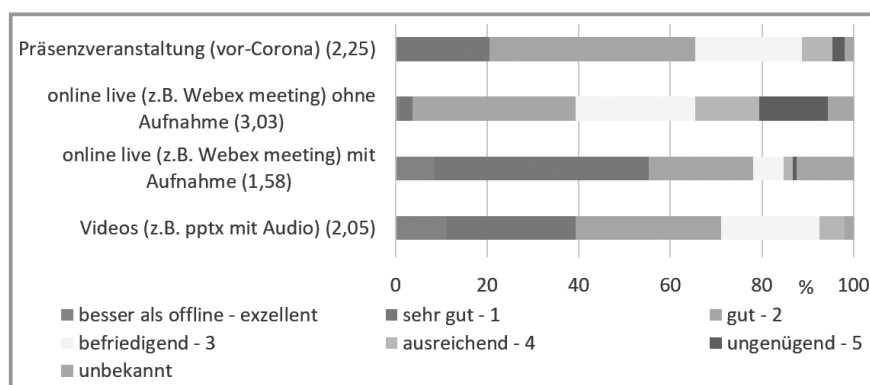
Bei der Befragung wurde zwischen großen Veranstaltungen mit mehr als 50 Studierenden und kleinen unterschieden. Das Diagramm in Abb. 3 zeigt die Antworten von 112 Studierenden zu großen Vorlesungen im Bachelor-Studiengang des BCI. Die Ergebnisse für kleine Vorlesungen werden im Text diskutiert.

Ausgehend von der untersten Zeile in Abb.3 ist das Videoformat für mehr als 70 % der Studierenden attraktiv (65 % in kleinen Vorlesungen). Sogar 12 % geben an, ein Video sei besser als die direkte Präsenzvorlesung. Online-Live-Vorlesungen werden von fast 80 % der Studierenden (75 % in kleinen Vorlesungen) bevorzugt und sollten zum besseren Lernen bis zur Prüfung aufgezeichnet werden und verfügbar sein. Online-Live-Vorlesungen ohne Aufzeichnung werden von fast jedem 7. Studierenden sowohl bei großen als

auch bei kleinen Vorlesungen abgelehnt. Fast 90 % der Studierenden sind mit den Präsenz-Vorlesungen (vor Corona) zufrieden, was die Qualität der Vorlesungen zeigt. Jedoch waren die digitalen Formate auch gut umgesetzt: „Die meisten Dozenten holen in ihren Kursen heraus, was sie können, und machen ihre Arbeit wirklich gut! Nichts kann jedoch eine Präsenzveranstaltung ersetzen.“, lautete ein Kommentar aus dem Studierendenkreis. Diese Aussage wird auch von Zierer [23] nach einer Umfrage an der Universität Augsburg unterstützt.

Für Studierende, die für ihren Lebensunterhalt arbeiten oder sich mit weiteren täglichen Verpflichtungen beschäftigen, sind die flexiblen Formate sehr attraktiv. Das Lernen mit aufgezeichneten Videos oder Folien mit Ton wurde als unterstützend und angepasst an den jeweiligen Lernfortschritt angesehen. Im Falle einer instabilen Datenverbindung während des Online-Kurses bilden die aufgezeichneten Dateien eine Ausweichmöglichkeit. Ein studentischer Kommentar fasst zusammen: „Für den rein technischen Inhalt komme ich mit dem Online-Unterricht besser zurecht, insbesondere mit den Videos oder Power-Point-Sets mit Audio, im Vergleich zu den Präsenzveranstaltungen. Im Gegensatz zu den Präsenzveranstaltungen hat man beim Power-Point und den aufgezeichneten Videos nicht das Problem, dass man, wenn man nach der ersten halben Stunde den Überblick verliert (z. B. weil man kurz unaufmerksam war), die restliche Zeit im Hörsaal sitzt und nicht wirklich viel versteht. Beim Durcharbeiten der Vorlesung brauche ich jetzt manchmal 1,5-mal so viel Zeit, aber danach habe ich den Inhalt besser verstanden, als wenn ich im Vorlesungssaal gesessen hätte.“ Eine häufig geäußerte Forderung war, dass aufgezeichnete Folien und Kurse für die Zeiten nach COVID-19 für flexibles Lernen genommen werden sollten. Darüber hinaus macht die Möglichkeit anonym Fragen zu stellen, es für einige Personen sicherlich einfacher, sich während der Online-Präsenzveranstaltungen zu melden.

Fast jede Vorlesung wird von Übungen begleitet, um den Inhalt zu veranschaulichen und auf die Prüfung vorzubereiten.



**Abbildung 3.** Rückmeldungen zu großen Vorlesungen. Die konventionelle Präsenzveranstaltung wird mit drei digitalen Lehrformaten verglichen. Der Mittelwert jeder Kategorie ist in Klammern angegeben und wurde nach dem deutschen Notensystem berechnet, s. a. Legende.

ten. Im Vergleich zu den Vorlesungen wird ein größerer Teil der digitalen Formate von den Studierenden als unbekannt genannt (s. Abb. 4), da sie wahrscheinlich nicht in dem entsprechenden Format angeboten wurden. Es zeigt sich eine breite Zustimmung für Übungen in Präsenz in der Vor-Corona-Zeit (obere Zeile). Mehr als 10 % der Antworten halten vorab aufgezeichnete, vertonte Videos besser als Übungen in Anwesenheit. Ein persönliches Statement, das dies unterstreicht: „Die Übungen profitieren in hohem Maße von digitalen Formaten. Anstatt im Hörsaal schnell kopieren zu müssen, kann man den Folien folgen und traut sich, in der Anonymität des Internets Fragen zu stellen.“ Die Ergebnisse sind für kleine Übungen nahezu identisch.

Allerdings war jede 6. Antwort mit Online-Live-Übungen ohne Aufzeichnung nicht zufrieden, bei kleinen Übungen jede 7. Antwort. Kleinere Übungen benötigen mehr die Interaktion mit den Studierenden. Im Allgemeinen sind zwei Drittel der Studierenden mit vorab aufgezeichneten Übungen und Online-Live-Übungen mit Aufzeichnung zufrieden. Dies zeigt sich auch in einem persönlichen Kommentar: „Ich würde ein Video oder eine Live-Übung mit Aufzeichnung, in der die Lösung ausgearbeitet wird, als optimale Übung bezeichnen. Am besten ist es, auf einem Whiteboard zu schreiben, denn so kann man sich Notizen machen und hat genügend Zeit, die Lösung zu verstehen, was mir bei einigen MS-PowerPoint-Varianten schwer fiel. Der Vorteil eines Videos ist, dass man die Geschwindigkeit erhöhen kann, wenn es zu langsam ist.“

Die Rückmeldung zu den Online-Tutorien war überraschend gut, da die hohe Anerkennung der Präsenztutorien (Mittelwert von 1,81) nur noch von live präsentierten Tutorien übertroffen wurde (Mittelwert von 1,66). Fast 75 % der Studierenden gaben ein „sehr gut“ und „gut“ als Antwort, da der persönliche Kontakt und Austausch hier gut realisiert wurde. Mehr als 1/3 der Antworten sprachen sich für ein synchrones Online-Tutorium mit Aufzeichnung aus und fast 40 % lehnten die Tutorien ohne Aufzeichnung ab. Ein

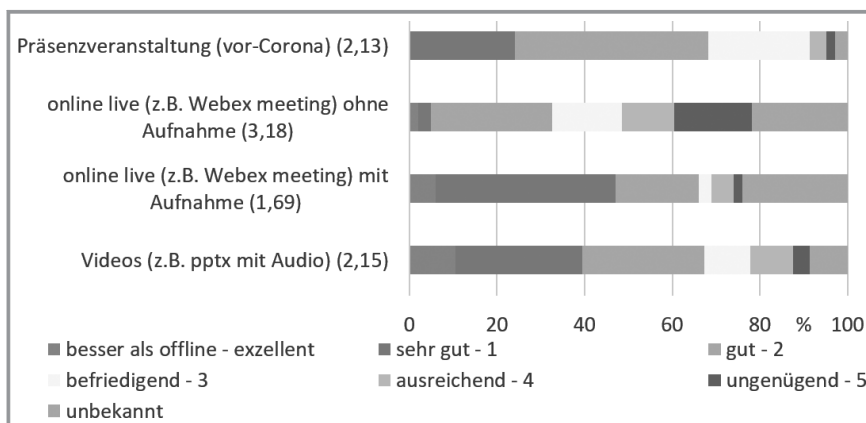
persönlicher Kommentar sagt: „Nur hier (in den Tutorien) macht der Einsatz kooperativer Medien wirklich Sinn. Die meiste Zeit arbeiten wir mit der „Screen-Sharing“-Funktion.“ Diese Aussage stimmt mit ähnlichen Erkenntnissen aus dem kooperativen Unterricht in einem Einführungskurs [24] überein. Wahrscheinlich profitieren Tutorien am wenigsten von einem rein digitalen Format ohne Interaktion.

In der Umfrage wurden auch verschiedene Feedback-Elemente abgefragt. Für fast 80 % der Studierenden war es wichtig, dass sie in den Unterricht einbezogen werden, indem sie offline oder live Fragen stellen konnten. Eine abschließende Lernkontrollfrage war für mehr als 70 % der Studierenden wichtig. Ein Kommentar der Studierenden lautete: „Fragen durch Sprechen stellen zu können, ist besonders in schwierigen Fächern wichtig, da komplexe Fragen nicht so gut aufgeschrieben werden können.“ Online-Wikis und Umfragen während der Vorlesung waren für mehr als ein Drittel der Antworten wichtig, jedoch für fast 20 % der Studierenden eher unwichtig. Insgesamt ist die Interaktion zwischen Professoren, Dozenten und Tutoren mit den Studierenden ein wichtiger Aspekt und muss an den jeweiligen Kurs angepasst werden. Chats, Online-Kontaktstunden sowie das Sammeln von Fragen und deren regelmäßige Beantwortung sind die Favoriten aus der Umfrage.

Auch die technische Qualität der digitalen Angebote war Teil der Umfrage. Eine gute Audioqualität ist für 40 % der Antworten am wichtigsten, zusammen mit einer stabilen Webverbindung (30 % der Antworten erwähnen eine niedrige Verbindungsqualität). Obwohl die Webverbindung für mehr als 60 % der Antworten „sehr gut“ bis „gut“ war, ist eine Verbindung mit geringer Leistung sehr störend und damit entscheidend für den Lernerfolg. Die eigene technische Ausstattung wurde von mehr als 80 % der Studierenden als mindestens gut empfunden.

### 3.2 Praktika, Gruppenarbeit und Abschlussarbeiten

Hochschulpraktika sind ein wesentliches Element in der biotechnologischen und chemisch-technischen Ausbildung. Alle Bachelor-Praktikumsversuche wurden größtenteils aufgezeichnet, und die Experimente wurden hauptsächlich online durchgeführt. Das Antestat vor dem Versuch wurde in Kleingruppen online durchgeführt. Der Versuch wurde am Computer geplant und entweder elektronisch (z. B. Programmierung eines PID-Reglers mit nachgeschalteter Simulation) oder mit Fernunterstützung an der realen Anlage mit „Versuchsergebnissen“ durchgeführt.



**Abbildung 4.** Feedback zu großen Übungen mit mehr als 50 Teilnehmern, die das Präsenzformat mit drei Kategorien von digitalen Lehrformaten vergleichen. Der Mittelwert jeder Kategorie ist in Klammern angegeben, die nach dem deutschen Notensystem berechnet wurden.

Die Studierenden werteten die erhaltenen Daten aus und diskutierten die Ergebnisse mit den Betreuern. Das Praktikum in Mikrobiologie fand in den Laboren mit Abstandsmaßnahmen und nicht mehr als 20 Personen pro Raum statt. Aufgrund der reduzierten Kapazität in den Laboren wurden den teilnehmenden Studierenden mehr Versuchstage angeboten. Weitere Informationen zu digitalen Hochschulpraktika finden sich in der Sonderausgabe „Remote delivery of practical skills in chemical engineering education“ in *Education in Chemical Engineering* [17].

Die Gruppenarbeit (Design-Projekt) ist der Eckpfeiler in der ersten Hälfte des 7. Semesters des Bachelor-Curriculums im BCI. Eine Abfrage bei den Studierenden zu Beginn des Sommersemesters zeigte das Interesse an einer virtuellen Gruppenarbeit mit einer reduzierten Gruppengröße (7–8 statt 9–10 Mitglieder). Viele Studierende waren glücklich, dass überhaupt eine Gruppenarbeit mit verschiedenen Themen angeboten wurde. Diese reichten vom klassischen Prozess- und Anlagenlayout bis hin zu einer Ressourceneffizienzberechnung und -bewertung der Fakultät. Insgesamt 39 Studierende starteten am 8. Juni auf freiwilliger Basis in fünf Gruppen in die virtuelle Gruppenarbeit. Die wöchentlichen Gruppenpräsentationen wurden in Zoom abgehalten, wo alle Studierenden während der Präsentation sichtbar waren. Einige trafen sich persönlich in kleinen Untergruppen, weil die digitale Kommunikation doch zeitraubender war im Vergleich zum direkten persönlichen Kontakt. Keine der Gruppen traf sich komplett, sondern kommunizierte ausschließlich über Web-Tools.

Zum Ende der Gruppenphase erhielt der Studienbeirat der Fakultät von fast 2/3 der teilnehmenden Studierenden ein Feedback als Sammlung von Social-Media-Nachrichten. Das Gesamtfeedback war gut, obwohl einige Studierende über einen hohen physischen und psychischen Stresslevel während der Bearbeitung klagten. Zu Beginn gab es einige Probleme mit dem Software-Zugang und digitaler Ausrüstung. Teilweise wurden Internetprobleme bei den Teilnehmern bemängelt. Daher waren viele Teilnehmer der Meinung, dass rein digitale Kommunikation schwierig sei. Das Bewertungsschema der Gruppenarbeit sollte zudem früh zu Beginn der Arbeit erläutert werden, da das Format der virtuellen Gruppenarbeit für alle Teilnehmer wie auch für die Betreuer neu ist.

Zum Abschluss noch eine kurze Anmerkung zum Inhalt der Bachelor- oder Masterarbeit. Es wurde empfohlen, vorwiegend theoretische Aufgaben mit Programmierfähigkeiten, Simulationen oder analytischen Untersuchungen zu geben. Zum Beispiel begann eine Bachelorarbeit über die Untersuchung der diffusiven Vermischung mit OpenFOAM unter

Einfluss der Gitterauflösung und des verwendeten numerischen Schemas. Eine weitere Bachelorarbeit begann mit der Raspberry-Pi-Programmierung von optischen Sensoren zur Erfassung von Grenzflächenniveaus in einem kleinen Glasgefäß oder mit selbst entwickelten elektrischen Leitfähigkeitssensoren. Die Vorarbeit wurde in der Küche des Studierenden durchgeführt. Andere Arduino- oder Raspberry-Pi-Projekte wurden mit einfachen Chemikalien, eigenständiger Programmierung, Aufbau und Test zu Hause im Rahmen einer Bachelor- oder Masterarbeit begonnen. Abschlussarbeiten in Zusammenarbeit mit Industriepartnern entlasteten die Labors und Büros der Universitäten. Diese Situation kann jedoch nicht lange so aufrecht erhalten bleiben, aber es ist sehr wichtig, mehr gute Überbrückungslösungen für diese außergewöhnlichen Zeiten zu finden.

### 3.3 Vergleich der unterschiedlichen digitalen Formate

Schließlich wurden die Studierenden gefragt, welches Unterrichtsformat (frontale Präsenzveranstaltung, kooperative Online-Veranstaltung, synchrone Online-Live-Veranstaltung ohne und mit Aufzeichnung sowie vertonte Videos) sich für große und kleine Vorlesungen oder Übungen und Tutorien eignet. Die Ergebnisse in Abb. 5 zeigen deutlich, dass insbesondere für Vorlesungen und Übungen Online-Live-Veranstaltungen mit Aufzeichnung am beliebtesten sind. Dieses Format ist auch für 28 % der Studierenden in Tutorien von Vorteil.

Live-Online-Veranstaltungen ohne Aufzeichnung sind nur in Tutorien für 8 % der Studierenden sinnvoll, ansonsten würden jeweils weniger als 3 % dieses Format bevorzugen. Große Kurse profitieren ebenfalls vom vertonten Videoformat, während kleine Vorlesungen und Übungen zusammen mit Tutorien bevorzugt im klassischen analogen Format gehalten werden sollen. Insbesondere die Tutorien sollten für mehr als 40 % der Studierenden im analogen

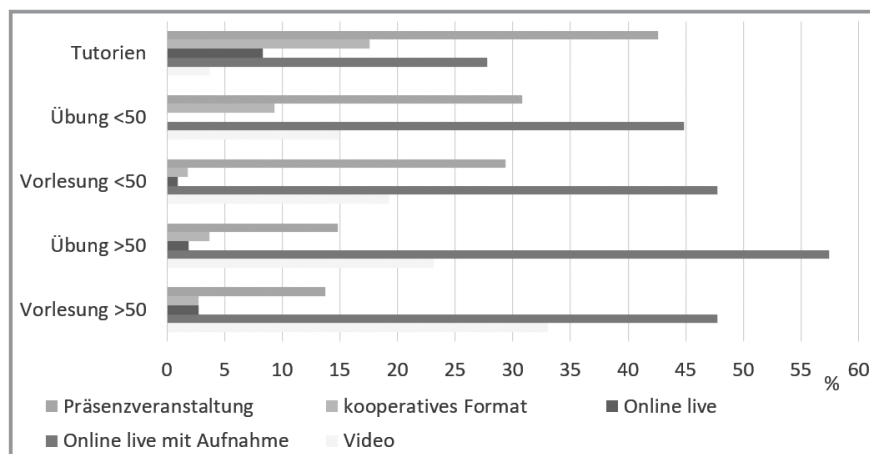


Abbildung 5. Vergleich der unterschiedlichen digitalen Formate für die Lehrveranstaltungsformen.

Format gehalten werden, obwohl fast 30 % für das Online-Live-Format gestimmt haben. Kooperative Formate beim Lehren und Lernen sind in kleinen Übungen und Tutorien aufgrund der engen Interaktion von wenigen Personen von Vorteil, s. a. [8]. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alle Formate ihre Vor- und Nachteile auch für die verschiedenen Lernstile der Studierenden haben. Eine hybride Mischung aus Präsenz-Elementen für den direkten Informationsaustausch mit unterstützenden Tools der aufgezeichneten Inhalte ist wahrscheinlich der beste Weg für die kommenden Herausforderungen durch Pandemie-Maßnahmen sowie für eine intelligente Lehre im Bio- und Chemieingenieurwesen.

#### 4 Zukunft der universitären Lehre unterstützt durch digitale Formate

Angesichts dieser interessanten, aber vielschichtigen Ergebnisse wird es von größter Bedeutung sein, was für die Zukunft der Lehre an den Universitäten und Hochschulen gelernt werden kann. Insgesamt ist und bleibt die Lehre mit persönlichem Kontakt wichtig, online oder in Präsenz für das direkte Feedback. Die Ausgestaltung zukünftiger Lehre ist natürlich von der weiteren Entwicklung der Pandemie abhängig, zu der wir verschiedene Szenarien in Betracht ziehen müssen. Ein vollständig geschlossener Campus wird die Folge einer starken zweiten Welle mit hohen Infektionsraten sein. Hier wird eine fast vollständige digitale Lehre notwendig sein. Umfassende Corona-Tests werden eine Option sein, aber sie sind mit hohem Aufwand, aber trügerischer Sicherheit verbunden. Große Veranstaltungen und Hörsäle werden sich erst dann mit vielen Studierenden füllen, wenn eine Impfung verfügbar und ein hohes Immunitätsniveau der Bevölkerung erreicht ist. Im Falle einer teilweisen Öffnung des Campus werden kleinere Veranstaltungen schon persönliche Kontakte unter Einhaltung von Distanzmaßnahmen ermöglichen. Für große Gruppen besteht eine Alternative aus der Bildung von Untergruppen, die nur einen Teil der Vorlesungen persönlich besuchen, um direkten Kontakt zu haben. In einem rollierenden Modell können sie den Rest der Veranstaltungen als live aufgezeichnete Sitzungen besuchen und innerhalb des Flipped-Classroom-Konzepts online teilnehmen. Die Vorgabe der Barrierefreiheit eines Studiums verlangt schon die digitale Verfügbarkeit umfassender Vorlesungs- und Übungsmaterialien.

Neben Bleistift und Papier oder Tafel und Kreide sollten wir moderne Hilfsmittel einsetzen, um junge (und alte) Schüler und Lehrer für zukünftige Anforderungen auszubilden. Blended-Learning-Formate sind vielversprechend, da mit Präsenzveranstaltungen Struktur und Verbindungen geschaffen werden, während digitale Formate mehr Übersicht, aber auch Details und Flexibilität ermöglichen. Darüber hinaus kann das Konzept des *Flipped-Classroom*, das auf Selbstlernen im Voraus und vertiefendes Präsenzlernen

mit Anwendungen basiert, Raum für neue Inhalte und Methoden schaffen, die in der modernen Welt gefordert sind. Mit den Möglichkeiten digitaler Lehr- und Lernmittel wird die Zukunft des Lernens anders aussehen, in der Schule, an den Universitäten und während des gesamten Lebens [18]. Mit den Erfahrungen aus dem letzten Semester und dem Feedback der Studierenden werden nun wichtige Maßnahmen in den folgenden vier Bereichen Lernen, Üben, Testen und Teilhabe beschrieben.

#### Bereich I – Lehren und Lernen unterstützt durch digitale Werkzeuge und Maßnahmen

Es braucht eine Vielfalt verschiedener Lehrformen für Flexibilität in Zeit und Ort, wann und wo immer es dem Studierenden passt. Das ermöglicht individuell zugeschnittenes Lernen mit flexibler Geschwindigkeit und Inhalten, die an die Bedürfnisse der Studierenden und die Anforderungen des Curriculums angepasst sind. Auch wird die Wahl des individuellen Bildungsweges wichtig, auf dem die Studierenden ihren Bildungsprozess verändern und anpassen können. Die Studierenden lernen auf verschiedenen Wegen, Software-Tools und Lerntechniken, die ihren Bedürfnissen am besten entsprechen. Der klassische Inhalt ist nach wie vor wichtig, zusammen mit angemessenen Hilfen für den Dschungel der Möglichkeiten in einem Fach.

#### Bereich II – Projizieren und Üben

Neben klassischen Vorlesungen, Übungen und Tutorien ermöglicht die projektbasierte Ausbildung, in kleinen Gruppen zu lernen und das erworbene Wissen vom ersten Semester an mit Posterpräsentationen, Seminaren oder Design-Laboren mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen anzuwenden. Letzteres sind praktische (oder theoretische) Arbeiten in Kleingruppen, die ein kleines Forschungs- oder Entwicklungsthema bearbeiten und mit einem kurzen Bericht mit Präsentation abschließen. Die praxisorientierte Ausbildung dient der Vermittlung anwendungsnahe Fertigkeiten, die in verschiedenen zukünftigen Berufen dringend benötigt werden. Das Curriculum bietet ausreichend Zeit und Möglichkeiten für Praktika, Mitarbeit und Betreuung der Studierenden. Auch praktische Übungen können bei der Vorbereitung und Leistungskontrolle von digitalen Formaten nutzen. Industriepraktika sollten mit wissenschaftlichen Kenntnissen und Methoden unterstützt werden und müssen den spezifischen aktuellen Pandemiebedingungen entsprechen.

#### Bereich III – Anwenden und Überprüfen des Gelernten

In dieser Lernphase steht das Anwenden des Wissens und seine Interpretation in Modellen und an praktischen Systemen im Mittelpunkt. Wichtig ist die Entwicklung eines kritischen Denkens aus den Erfahrungen beim Anwenden und Umsetzen. Dies kann in verschiedenen Veranstaltungen auf der Mikroebene stattfinden oder in speziellen Kursen zu historischen Entwicklungen oder über Ingenieursethik integriert und abgefragt werden. Eine Vielfalt der



Prüfungsmodi ist ebenso notwendig, die von der Prüfung des Wissens bis zur Diskussion, Präsentation und Einüben von Rollenmodellen reichen können.

#### Bereich IV – Partizipation und Teilhabe

Die Studierenden beteiligen sich an der Gestaltung der Curricula mit kritischem, aber konstruktivem Feedback zu Inhalt und Dauer der Ausbildungselemente. Die Rolle der Universitätsprofessoren wandelt sich von Lehrern zu Mentoren, wobei das Mentoring zum zentralen Erfolgsfaktor in der Ausbildung wird.

Da Mentoring eine der herausragenden Aufgaben ist, müssen neue Formate der Kontaktfindung und Betreuung ausgearbeitet werden. Im Allgemeinen wird das Mentoring für Forschungskarrieren im akademischen Bereich von den Professoren oder Postdocs übernommen, während Mentoring für industrielle Karrieren von Alumni-Organisationen oder anderen professionellen Institutionen angeboten werden kann. Die tertiäre Bildung wird durch die Weiterentwicklung von Lehrplattformen immer zugänglicher. In den kommenden Jahren wird die Grenze zwischen beruflicher und akademischer Ausbildung weiter verschwimmen, die Ausbildung wird individueller. All diese Veränderungen erhöhen ihrerseits die Bedeutung der Universitäten als Integratoren von Wissenschafts-, Bildungs-, Geschäfts- und Produktionsbereichen [25, 26].

## 5 Zusammenfassung

Mit den Maßnahmen der COVID-19-Pandemie durchläuft das gesamte Bildungssystem derzeit strukturelle Veränderungen, die sich in einer verstärkten Anwendung von digitalen und Fernlernerntechnologien zeigen. In diesem Beitrag wurde der Lockdown für eine mittelgroße deutsche Universität, insbesondere für die Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen, vorgestellt. Vorlesungen und Übungen, Tutorien oder Abschlussarbeiten wurden mit den getroffenen digitalen Maßnahmen und dem direkten Feedback der Studierenden diskutiert. Es wurde deutlich, dass kein digitales Werkzeug für alle Anwendungen geeignet ist. Große Kurse profitieren von aufgezeichneten Videos und vertonten Folien, während kleine Übungen und Tutorien eine enge Interaktion zwischen Studenten und Betreuern erfordern. Eine Mischung aus digitalen Werkzeugen ist oft die erfolgreiche Antwort auf schnell wechselnde Bedingungen und führt zu einem belastbaren Lehr- und Lernsystem. Basierend auf den Erfahrungen der letzten Monate werden im Beitrag vier Bereiche mit Lehrkonzepten für die zukünftige Ausbildung skizziert.

Abschließend lohnt es sich noch zu fragen, ob wir über die geeigneten digitalen Werkzeuge verfügen. Reichen Programmieren, Daten erfassen und auswerten oder das Beherrschen der digitalen Kommunikation? Bereiten wir die Studierenden auf ihren weiteren, beruflichen wie privaten Werdegang vor, begleitet von lebenslangem Lernen?

Über den digitalen Unterricht hinaus bleibt die persönliche Interaktion ein wichtiges Element. Zudem ist das Mentoring ein wesentlicher Bestandteil, daher: Engagieren Sie sich für und mit den Studierenden. Seien Sie Teil der Lösung und begleiten Sie, wie Menschen mit diesen Möglichkeiten wachsen und neue Unterrichtsformate inspirieren können. Fangen Sie einfach an, testen Sie die Werkzeuge, lernen Sie aus Misserfolgen, reflektieren Sie in Teams über Lernaufwand und Leistung, vernetzen Sie sich mit anderen Fakultäten, um voneinander zu lernen.

Die Umfrage wurde von Kirsten Lindner-Schwentick und Lukas Seppelfricke mit Unterstützung der Fachschaft durchgeführt. Allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt, dass sie im Sommersemester viele Aktivitäten durchgeführt und unterstützt haben. Ein besonderer Dank gilt auch allen Studierenden und Betreuern, die in diesem Semester sehr engagiert waren. Veröffentlichung ermöglicht und organisiert durch Projekt DEAL.

## Literatur

- [1] J. Müller-Jung, Sicherheitsrisiko Virus, *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 27. Juni 2020, S. 1.
- [2] [www.zeit.de](http://www.zeit.de) (abgerufen am 20. Juli 2020)
- [3] B. Holzer, An der Massenuniversität machen die Viren Party, *Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung*, 31. Mai 2020, S. 60.
- [4] K. A. Weeden, B. Cornwell, The small-world network of college classes. Implications for epidemic spread on a university campus, *Sociolog. Sci.* **2020**, 7, 222–241. DOI: <https://doi.org/10.15195/v7.a9>
- [5] K. J. Becker, Junge Erwachsene sind das Problem, *www.faz.net*, 22. Juli 2020. (abgerufen am 22. Juli 2020)
- [6] *Fluid Mechanics and Heat Transfer: Inexpensive Demonstrations and Laboratory Exercises* (Eds: W. R. Penney, E. C. Clausen), Section I, CRC Press, Boca Raton, FL **2018**.
- [7] J. Handke, *Handbuch Hochschullehre Digital: Leitfaden für eine moderne und mediengerechte Lehre*, Tectum Wissenschaftsverlag, Marburg **2020**.
- [8] R. M. Felder, R. Brent, Effective teaching: A workshop, *Chemical Engineering Education*, **2009**. <https://engineering.purdue.edu/Engr/AboutUs/Administration/AcademicAffairs/Resources/Teaching/effective-teaching.pdf> (abgerufen am 20. August 2020)
- [9] N. M. Seel, D. Ifenthaler, *Online Lernen und Lehren*, Reinhard, München, **2009**.
- [10] *Lehren und Lernen online – Lehr- und Lernerfahrungen im Kontext akademischer Online-Lehre* (Eds: H. R. Griesehop, E. Bauer), Springer VS, Wiesbaden **2017**.
- [11] M. V. Jamieson, J. M. Shaw, Student and Instructor Satisfaction and Engagement with Blended Learning in Chemical Engineering Design, in *Proc. of the Canadian Engineering Education Association (CEEA17)*, Conf. Paper 040, **2017**. DOI: <https://doi.org/10.24908/pceea.vi0.13474>
- [12] *Inverted Classroom and Beyond: Lehren und Lernen im 21. Jahrhundert* (Eds: E. M. Großkurth, J. Handke), Tectum Wissenschaftsverlag, Marburg **2016**.
- [13] M. T. Munir, S. Baroutian, B. R. Young, S. Carter, Flipped classroom with cooperative learning as a cornerstone, *Edu. Chem.*

- Eng.* **2018**, *23* (4), 25–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.05.001>
- [14] M. M. Valero, M. Martinez, F. Pozo, E. Planas, A successful experience with the flipped classroom in the Transport Phenomena course, *Edu. Chem. Eng.* **2019**, *26* (1), 67–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.003>
- [15] M. S. Feurstein, Erklärvideos von Studierenden und ihr Einsatz in der Hochschullehre, in *Bildungsräume – Proc. 25. Jahrestagung Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft* (Ed: C. Igel), Waxmann, Münster **2017**, 103–109.
- [16] M. S. Feurstein, Towards an Integration of 360-Degree Video in Higher Education – Workflow, challenges and scenarios, in *Proc. of DeLFI Workshops 2018* (Ed: D. Schiffner) **2018**. [https://epub.wu.ac.at/6705/1/WS\\_VRAR\\_paper3.pdf](https://epub.wu.ac.at/6705/1/WS_VRAR_paper3.pdf) (abgerufen am 20. August 2020)
- [17] *Remote delivery of practical skills in chemical engineering education* (Eds: J. Glassey, F. D. Magalhaes), Article Collection, Education for Chemical Engineers, **2020**. [www.sciencedirect.com/journal/education-for-chemical-engineers/special-issue/1040RH69WVP](http://www.sciencedirect.com/journal/education-for-chemical-engineers/special-issue/1040RH69WVP) (abgerufen am 20. August 2020)
- [18] A. Gottburgsen, K. Wannemacher, J. Wernz, J. Willige, *Ingenieur- ausbildung für die digitale Transformation – Zukunft durch Veränderung*, VDI-Studie, VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf **2019**.
- [19] M. Wilk, S. Rommel, M. A. Liauw, B. Schinke, H.-W. Zanthoff, Bildung 4.0: Herausforderungen für die Aus- und Fortbildung, *Chem. Ing. Tech.* **2020**, *92* (7), 983–992. DOI: <https://doi.org/10.1002/cite.202000022>
- [20] M. Kerres, Against All Odds: Education in Germany Coping with Covid-19, *Postdigital Sci. Edu.* **2020**, *2*, 690–694. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42438-020-00130-7>
- [21] N. Davis, *Digital technologies and change in education: the arena framework*, Routledge, New York **2017**.
- [22] [www.tu-dortmund.de/coronavirus](http://www.tu-dortmund.de/coronavirus) (abgerufen am 20. August 2020)
- [23] K. Zierer, So viel Präsenz wie möglich – Einschätzungen von Studierenden zum Corona-Semester, *Forschung & Lehre* **2020**, *9*, 755.
- [24] D. DiBiasio, J. E. Groccia, Active and cooperative learning in an introductory chemical engineering course, in *Proc. Frontiers in Education, 25th Annual Conference. Engineering Education for the 21st Century*, IEEE, Piscataway, NJ **1995**. DOI: <https://doi.org/10.1109/FIE.1995.483141>
- [25] A. M. Alexankov, International experience of modification system of education for Industry 4.0 (in Russisch), *Strategic Priorities* **2017**, *1* (13), 53–69.
- [26] M. Ciolacu, P. M. Svasta, W. Berg, H. Popp, Education 4.0 for tall thin engineer in a data driven society, in *IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging*, IEEE, Piscataway, NJ **2017**, 432–437, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/SITME.2017.8259942>