

Antrag auf ein Fellowship in der digitalen Hochschullehre

Hybride Lehre kleinerer Kurse

am Beispiel der Vorlesung

Physikalische Grundlagen Erneuerbarer Energien

Gerhard G. Paulus

Friedrich-Schiller-Universität Jena

29. Juni 2020

Kurzbeschreibung

Ziel des Projekts ist die Verbindung von Präsenz- und digitaler Lehre für kleinere Vorlesungen – hybride Lehre. Dazu soll, gestützt auf externe Expertise, ein mobiles System beschafft, konfiguriert und programmiert werden, das Immersion, Kommunikation und Interaktion maximiert. Ursprünglich für Lehre unter Corona-Bedingungen konzipiert, soll den digital teilnehmenden Studierenden durch hervorragende Bild- und Tonqualität, durch verschiedene Bildeinstellungen („Szenen“) und interaktive Elemente eine zu den anwesenden Studierenden vergleichbare Teilhabe ermöglicht werden. Gleichzeitig bleiben die Vorteile der digitalen Lehre wie dauerhafte Abrufbarkeit erhalten. Umgekehrt soll die Technik mobil, kostengünstig im Betrieb und leicht zu bedienen sein, um einen Einsatz in der Breite zu ermöglichen. Nach Test- und Optimierungsdurchläufen im Sommersemester 2021 soll das System anhand der Vorlesung Physikalische Grundlagen Erneuerbarer Energien mit einem öffentlichen Livestream im Wintersemester demonstriert werden.

1. Persönliche Motivation

Der Antrag hat seine Wurzeln in vielschichtigem Grund. Thematisch gründet er auf einer Vorlesung, die ich seit gut 10 Jahren an der Physikalisch-Astronomischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität anbiete. Ich hatte nach meiner Berufung nach Jena bemerkt, dass die physikalischen Grundlagen der Erneuerbaren Energien und der Klimaproblematik, meines Erachtens gerade für die Physikerin und den Physiker Themen herausragender Bedeutung, in der Lehre nicht berücksichtigt waren und den Entschluss gefasst, das Defizit im Rahmen meiner Möglichkeiten zu beheben, obwohl diese Themen nicht zu meinen Forschungsfeldern gehören. Bei der Entwicklung der Vorlesung habe ich zu meinem Vergnügen festgestellt, dass die Physik Erneuerbarer Energien und der Erderwärmung eine Reihe physikalischer Edelsteine enthält. Zudem steht es einem Physiker gut an, über eine der zentralen Herausforderungen unserer Zeit dem Nicht-Experten fundiert Auskunft geben zu können.

Die Vorlesung ist für fortgeschrittene Bachelor- und für Masterstudenten und -studentinnen konzipiert. Sie findet trotz eines üppigen Angebots der Fakultät an anderen elektiven Vorlesungen regen Zuspruch, erfreulicherweise gerade auch unter Lehramtstudierenden. Bisher gibt es für die Vorlesung als begleitendes Material lediglich ein Skript, das allerdings in weiten Teilen sehr sorgfältig ausgearbeitet ist und in absehbarer Zeit Veröffentlichungsreife erreichen wird. Gleichwohl sehe ich einen Bedarf, einen Kurs über die physikalischen Grundprinzipien der Erderwärmung und Erneuerbarer Energien einem breiten Kreis von Studierenden, den Kollegen und Kolleginnen an den Schulen sowie der interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Letzterer, einschließlich Schulen, habe ich in den vergangenen Jahren bereits durch eine Reihe von öffentlichen und nichtöffentlichen Vorträgen gedient, z.B. im Rahmen der Samstagsvorlesungen der Fakultät: 2010 über die Zukunft der Energieerzeugung, anlässlich der Fukushima-Katastrophe von 2011 über die Physik des Atommülls, 2016 über die Geschichte und Physik der Windenergiekonverter und 2020 schließlich über die Physik der Erderwärmung. Letztere wurde von ca. 350 Hörern besucht. Die genannten Samstagsvorlesungen wurden vom Multimediazentrum aufgezeichnet und in der Digitalen Bibliothek Thüringen veröffentlicht.¹

Leider lassen diese Aufzeichnungen in einer Reihe von Punkten zu wünschen übrig. Problematisch ist die weitgehend statische Bildregie, die die Zuschauer schnell ermüdet, inakzeptabel ist die mangelnde Synchronisation der Vortragsfolien mit dem Vortrag selbst. Dazu kommt, dass der Laserpointer auf den Folien nicht sichtbar ist. All dies muss dazu führen, dass das Material trotz seiner Aktualität kaum genutzt wird. Die limitierte Reichweite der Digitalen Bibliothek Thüringen verschärft die Problematik weiter.

Eine dritte Ebene meiner persönlichen Motivation, neben den Inhalten und dem Outreach-Gedanken, sind die Erfahrungen, die ich zusammen mit meinen Mitarbeitern und einem Livestream-Unternehmen durch die ad-hoc-Umstellung meiner großen Experimentalphysik-Vorlesung auf digitale Lehre im Zuge der COVID-19-Krise gemacht habe. Unsere Überzeugung und Ausgangspunkt war und ist, dass Lehre ein hochkomplexes soziales Unterfangen ist, das von der verbalen und non-verbalen Interaktion der Lehrenden und Studierenden lebt, woraus folgt, dass ein Maximum an Interaktion und Immersion anzustreben ist.

Wir haben uns nach sorgfältiger Wägung für einen aufwendig produzierten öffentlichen Youtube-Livestream² entschieden, um die vielen Experimente, die für die Vorlesung von zentraler Bedeutung sind, optimal den Studentinnen und Studenten zu präsentieren. Kleinere Vorlesungsformate, wie der für dieses Projekt in Rede stehende Kurs, haben zunächst geringere Anforderungen an die Kamertechnik und -führung. Zudem wäre es unrealistisch, einen ähnlich hohen Aufwand für die Vielzahl kleinerer Vorlesungen zu betreiben. Gleichwohl ist eine Reihe der von uns auch im Übungsbetrieb eingesetzten Techniken und Methoden (z.B. Live-Umfragen) durchaus übertragbar oder zumindest adaptierbar. Andererseits haben diese Kurse ihre eigenen Herausforderungen, z.B. viel kürzere Rüstzeiten und im Regelbetrieb weniger Ressourcen für die logistische und technische Unterstützung.

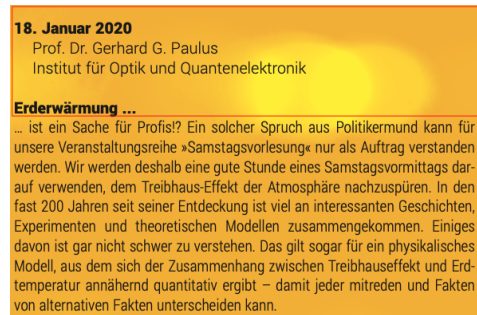


Fig. 1: Ankündigung einer öffentlichen Vorlesung zum Thema Erderwärmung (Ausschnitt aus dem Plakat der Fakultät zu ihrem Samstagsvorlesungsprogramm).



Fig. 2: Titelbild des Youtube-Livestreams der Experimentalphysikvorlesung im Sommersemester 2020.

¹ z.B. die Vorlesung zur Erderwärmung: https://www.db-thueringen.de/receive/dbt_mods_00040252

² https://www.youtube.com/channel/UCGgtrJWTXx7-C_0lKAFXPiA

2. Projektskizze

2.1 Ausgangssituation – Vorarbeiten

Wie bereits dargestellt, gehen wir von der Annahme aus, dass gute Lehre mit intensiver Kommunikation einhergehen muss. Nachdem die Vielzahl der Kanäle menschlicher Ausdrucksfähigkeit und Kommunikation digital bei Weitem nicht abgebildet werden kann, bleibt die Präsenzlehre der Goldstandard.³ Digitale Formate sind entsprechend als Notbehelf, wie derzeit in der Corona-Krise, oder als Ergänzung zu betrachten, allerdings als potentiell sehr effektive Notbehelfe bzw. Ergänzungen. Die zwingende Konsequenz unserer Prämisse ist, dass digitale Lehre versuchen muss, den Kontakt zu den Studierenden und ihre Beteiligung an der Lehre so eng wie möglich zu gestalten.

Für eine große Vorlesung haben wir technische, organisatorische und didaktische Einrichtungen und Herangehensweisen entwickelt, um der o.gen. Philosophie zu entsprechen. Dazu wurde ...

- die Vorlesung live übertragen, da Live u.a. für Authentizität sorgt und den Studenten hilft, ihren digitalen Studienalltag zu strukturieren.
- die Vorlesung aufwendig mit mehreren Kameras, darunter eine SteadyCam und eine Seilkamera, die von einer Regie zusammengeschaltet werden, inszeniert. Das Ziel ist ein lebendiges Bild, Live!, das die Hörer ganz eng an der Vorlesung und den Experimenten teilhaben lässt, und mir als Dozenten die Chance gibt, meine Begeisterung zu teilen.
- der Übungsbetrieb von Grund auf umgestellt auf eine Art flipped-classroom-Konzept: Es gibt nun zwei Sorten von Übungsaufgaben, rechenintensive für das häusliche Studium und verständnisintensive, die in Zoom-Konferenzen diskutiert werden. Die Übungsgruppen werden mittels Breakout-Rooms in drei- bis -vierköpfige Kleingruppen geteilt, die die Lösungen erarbeiten und dabei vom Übungsgruppenleiter betreut werden.
- Für Interaktivität sorgen wir durch Online-Umfragen zum Vorlesungsstoff sowie durch einen Live-Chat, der von einem kompetenten Mitarbeiter betreut wird.
- Die Lösungen der Heimübungsserien werden über ein aufgezeichnetes Video vor den Übungsgruppensitzungen bereitgestellt, so dass Fragen dazu in den Übungsgruppen diskutiert werden können.
- Großen Wert legen wir auf eine einwandfrei Bild- und v.a. Tonqualität, um die durch das digitale Format ohnehin stärkere Belastung nicht unnötig weiter zu erhöhen.

Nachdem die sich entspannende COVID-19-Situation Spielräume eröffnete, sind wir in der zweiten Hälfte des Kurses zu einem Konzept übergegangen, das wir *hybride Lehre* nennen. Eine begrenzte Zahl von Studenten wird nach gewissen Kriterien unter Einhaltung eines strikten Hygieneplans zur Teilnahme an der Vorlesung, perspektivisch auch zu Übungen, zugelassen. Ohnehin wohnt dem oben beschriebenen Übungsgruppenkonzept der hybride Ansatz bereits inne. Obwohl in der ersten "hybriden" Vorlesung am 25. Juni lediglich sechs Studentinnen und Studenten zugegen waren, alle Gesichter hinter Masken versteckt, war für mich als Dozenten sofort eine Hebung der bis dahin blutleeren Stimmung im Saal spürbar, mit unmittelbaren Auswirkungen auf mein Befinden und, vermutlich, meine Performance.

³ Ginge es statt um Lehre um Konzerte oder gar Fußballspiele, wäre diese Feststellung unstrittig – umgekehrt bemerkenswerterweise nicht.

Die Vorteile des Hybrid-Konzeptes liegen auf der Hand:

- Die Lernatmosphäre und Lehrleistung wird durch die Präsenz von Studierenden positiv beeinflusst.
- Live-Lehre erhöht die Authentizität, insbesondere in Kombination mit Präsenzanteilen.
- Die offline-Nutzbarkeit wird durch den hybriden Ansatz nicht negativ beeinflusst, sondern profitiert ebenfalls von einer lebendigen Lehre.
- Unter Corona-Bedingungen kann der Präsenzanteil je nach Lage stufenlos angepasst werden.
- Die Kurse eignen sich für mit anderen Universitäten betriebenen Masterstudiengängen oder für Studierende mit Behinderungen.

Beachtet werden sollte, dass hybride Lehre zwingend live sein muss, ungeachtet der Tatsache, dass abgesehen von den Präsenzübungen (Datenschutz!) alle Inhalte dauerhaft online verfügbar bleiben. Wir betrachten, s.o., die harte Randbedingung Live nicht als Nachteil; andere mögen das anders sehen.

2.2 Ziele und Beschreibung des Vorhabens

2.2.1 Ziele

Das in Abschnitt [2.1](#) beschriebene Konzept für eine große Experimentalphysik-Vorlesung wurde von uns mit Hilfe einer anonymen moodle-Umfrage evaluiert und hat dabei ein bemerkenswert positives Echo gefunden, besonders deutlich abzulesen an zahlreichen begeisterten Freitextantworten. Zu ähnlichen Ergebnissen führte eine vom Fachschaftratsrat speziell für die digitale Lehre aufgesetzte Zwischenevaluation. Der folgerichtige nächste Schritt und gleichzeitig die Zielstellung dieses Projektes ist, dieselbe Lehrphilosophie in kleineren Vorlesungen umzusetzen und dies am Beispiel meiner Vorlesung *Physikalische Grundlagen Erneuerbarer Energien* zu demonstrieren.

Die Unterschiede zur Experimentalphysik sind: (i) eine kleinere Hörschaft, (ii) fortgeschrittenere/erfahrenere Studierende, (iii) keine oder zumindest viel weniger Vorlesungsexperimente. Der personelle und finanzielle Aufwand, der für eine große Anfängervorlesung fraglos gerechtfertigt ist, ist für kleinere Vorlesungen mit ein oder zwei Dutzend Hörern nicht darstellbar, schon gar nicht nachhaltig darstellbar. Außerdem muss das Ziel sein, Technologien und Prozeduren zu etablieren, die auf andere Vorlesungen übertragen werden können. Ich denke hier u.a. an meine Vorlesung *Nichtlineare Optik*, die dann z.B. im Rahmen der Max Planck School of Photonics auch an den Partneruniversitäten genutzt werden könnte.

Zusammenfassend stellen sich die **Ziele** des Projekts wie folgt dar:

1. Entwicklung und Aufbau einer Technologie zur Verwirklichung hybrider Lehre in kleineren Modulen (bis ca. 25 Studierende).
2. Demonstration hybrider Lehre am Beispiel der Vorlesung *Physikalische Grundlagen Erneuerbarer Energien*.
3. Verstetigung hybrider Lehre
4. Nutzung des Konzepts für Outreach-Veranstaltungen

Als **Lastenheft** ergibt sich:

- a) Aufbau und Konfiguration preiswerter Kamera- und Tontechnik, die jedoch eine einwandfreie Bild- und Tonqualität liefert und von studentischen Hilfskräften bedient werden kann.
- b) Entwicklung geeigneter Regiesoftware, die eine einfache Bedienung ermöglicht. Dabei ist besonders auf die unkomplizierte Einbindung von Live-Umfragen zu achten.
- c) Einrichtung eines einfachen Studios für den Übungsbetrieb und die Aufnahme der Videos mit den Lösungen der Heimübungsserien. Gegenüber dem derzeit genutzten System ist auf eine unkomplizierte Bedienung zu achten.⁴
- d) Der Live-Gedanke soll nicht nur im engeren Sinn für größtmögliche Authentizität sorgen, sondern durch eine abwechslungsreiche Szenenregie auch für eine lebendige Vorlesung, die dem/der Vorlesenden die Möglichkeit eröffnet, den eigenen Enthusiasmus auf die Studierenden zu übertragen. Dies erfordert mindestens zwei Kameras, einen leistungsfähigen Rechner und die entsprechende Regielektronik und -software.
- e) Die Technik muss mobil und ohne hohen Zeitaufwand aufbaubar sein.⁵
- f) Demonstration des Systems anhand der Vorlesung *Physikalische Grundlagen Erneuerbarer Energien*.
- g) Erstellung eines Handbuchs, das die Prozeduren und die Bedienung der Technik dokumentiert.

2.2.2 Vorhabensbeschreibung

2.2.2.1 Vorlesung

Die Vorlesung *Physikalische Grundlagen Erneuerbarer Energien* findet, wie viele andere kleinere Vorlesungen auch, in einem größeren Seminarraum oder kleinen Vorlesungssaal statt, die für die kombinierte digitale und Präsenzlehre nicht eingerichtet sind. Unabhängig davon muss die Vorlesung in mehrerer Hinsicht verträglich mit dem digitalen Format gemacht werden.

Während die Präsenzstudenten/innen eine, abgesehen von der herumstehenden Technik, weitgehend "normale" Vorlesung erleben, werden dem digital teilnehmenden Studierenden die Vorlesung im Live-Stream in wenigstens *vier "Szenen"* präsentiert:

1. Der Vorlesende alleine in Nahaufnahme für Situationen, in denen Inhalte durch Worte allein erklärt werden.
2. Ein geteilter Bildschirm, dessen eine Hälfte den mit einem iPad verwirklichten "Tafel"-Anschrieb darstellt und dessen andere Hälfte den Vorlesenden relativ nah beim Erklären und Schreiben zeigt.
3. Die "Folien" einer Präsentation mit dem/der Dozenten/in relativ klein in der rechten unteren Bildecke.
4. Den/die Dozenten/in vor der Präsentation, so wie es die Präsenzstudierenden sehen. Diese Szene könnte mit einer Kamera, die dem/der Vorlesenden selbständig folgt, verwirklicht werden.

Der Livestream wird mit der freien Open-Source-Software *Open Broadcaster Software* produziert. Für ein stets ruckelfreies Bild ist ein sehr leistungsfähiger Rechner erforderlich. Wenn möglich, werden wir einen portablen Rechner nutzen. Der Stream kann öffentlich oder nicht-öffentlich eingestellt

⁴ Das existierende Studio ist mit Gerätschaften aus Laborbeständen und Privatbesitz ausgerüstet, kann also so dauerhaft ohnehin nicht betrieben werden.

⁵ Wenn sich hybride Lehre wie hier vorgeschlagen durchsetzt, würde man die Technik permanent in einigen Vorlesungssälen und Seminarräumen installieren.

werden. Für die Vorlesung *Physikalische Grundlagen Erneuerbarer Energien* ist ein öffentlicher Live-Stream vorgesehen. Wir werden jedoch ein Semester vorher einen Test mit einer anderen Vorlesung (voraussichtlich Solar Cells) als nicht-öffentlichen Livestream vornehmen.

Der augenscheinlichste Unterschied betrifft damit den Verzicht auf die Tafel, allerdings ohne auf den Tafelanschrieb zu verzichten. Auch wenn dieser vielerorts als überholt gilt, halten wir an der Auffassung fest, dass ordentliche Tafelnotizen und Mitschriften durch die Kopplung des Haptischen mit den Inhalten ("begreifen!"), durch die mit dem Schreiben einhergehenden Wiederholungen und durch die inhärente Begrenzung des Vorlesungstempos erheblich zu einer guten Vorlesung beitragen. Allerdings stößt man bei der Tafel tatsächlich schnell an die Grenzen der Technik (u.a. Auflösung und Beleuchtung), v.a. bei begrenztem Budget. Zudem würde der große Bewegungsraum vor der Tafel in Kombination mit Lesbarkeit des Anschriebes mindestens eine/n Kamerafrau/mann erfordern. Nach unbefriedigenden Experimenten mit einem Smartboard haben wir uns für ein *iPad als Medium für Tafelnotizen* entschieden. Das Schriftbild ist jeder Tafel und erst recht jedem Smartboard um Klassen voraus. Ein weiterer Vorteil ist, dass in den Niederschriften beliebig vor- und zurück gescrollt werden kann. Als kleineren Nachteil empfinde ich lediglich die geringere Bewegungsfreiheit, da das iPad die Nutzung eines Stehpultes erfordert, an das man beim Schreiben gewissermaßen gefesselt ist.

Um *Fragen* auch den digital teilnehmenden Studierenden zu ermöglichen, findet simultan zum Live-Stream eine *Zoom-Konferenz* statt. Wir haben diese Technik bereits in diesem Semester bei rein digitalen Vorlesungen verwendet. Wenn bei YouTube die geringste Latenz eingestellt wird, beträgt die Verzögerung in der Regel weniger als vier Sekunden. Das erlaubt zwar keine völlig normale Konversation, ist aber nach unserer Erfahrung ausreichend. Allerdings bemerken wir eine eher zurückhaltende Nutzung dieses Angebots. Durch welche Maßnahmen man dem begegnen kann, wird Gegenstand des Experimentierens sein.

Ein weiterer Interaktionskanal sind *Online-Umfragen*, z.B. über den Internetdienst *Poll Everywhere*. Die Einbindung in die Vorlesung bzw. in die o.gen. Szenen erfordert ein entsprechend programmiertes Regiesystem. Auch hierfür gibt es ein Vorbild aus der Experimentalphysik-Vorlesung, das entsprechend angepasst werden kann.

Um die Nutzbarkeit der digitalen Aufzeichnungen zu erhöhen, wird die aufgezeichnete Vorlesung im Nachhinein mit *Sprungmarken* versehen.

Die Komplexität des Unterfangens (Kameratechnik, Licht- und Tontechnik, Regiesoftware zur Kopplung von Kameras, Ton, iPad sowie zur Einblendung der Umfragen usw.) erfordert die Nutzung externer Expertise. Es wäre ineffizient und im Ergebnis aller Wahrscheinlichkeit nach unbefriedigend, zu versuchen, das entsprechende Know-how ohne die Unterstützung von Experten generieren zu wollen. Entscheidend ist der Wissenstransfer, um das System nach Abschluss des Projektes selbstständig betreiben zu können.

2.2.2.2 Übungen und Seminare

Für eine erfolgreiche Lehrveranstaltung ist die praktische Anwendung des Stoffes unerlässlich. Ziel des hybriden Ansatzes ist, dass die Veranstaltung für Studierende oder interessierte Zuhörer die nicht vor Ort sind "studierbar" bleibt, d.h. alle Inhalte über die frei zugänglichen Kanäle wie YouTube zur Verfügung gestellt werden.

Neben der eigentlichen Live-Übertragung der Vorlesung werden dazu Heimübungsserien (Übungsauf-

gaben) online zur Verfügung gestellt, die von den Studierenden oder anderen Zuhörern eigenverantwortlich gelöst werden. Die Lösungen werden online abgegeben und korrigiert elektronisch zurück übermittelt. Zeitgleich werden die Lösungen der Aufgaben in einem hochwertig produzierten Video on-demand zur Verfügung gestellt. So haben die Studierenden die Möglichkeit, ihre Lösungen mit den Musterlösungen zu vergleichen. Zusammen mit den Korrekturen werden sie so befähigt, die eigene Leistung einzuschätzen und potentielle Verständnislücken aufzudecken.

Darauf aufbauend wird dann das eigentliche Seminar dazu verwendet, die entstanden Fragen im Gespräch zu klären. Dieser Ansatz orientiert sich am *Flipped-Classroom Prinzip* und schafft Freiräume in den Seminaren, die für interaktive Inhalte genutzt werden. Für diese werden eigene Präsenzübungsreihen vorbereitet, die in kleinen Gruppen im Seminar von den Studierenden in Zusammenarbeit gelöst werden. Diese Aufgaben sind mehr verständnis- und diskussionsorientiert und ergänzen somit die Heimübungsreihen. Auch aus technischer Sicht hat das Vorteile: ein virtuelles Whiteboard, um das sich eine Kleingruppe versammeln kann, gibt es zwar, jedoch setzt das intensive Schreiben darauf auf Seiten der Studenten ein iPad mit Stift oder vergleichbare Geräte voraus.

Der Seminarleiter unterstützt die Studenten und Studentinnen bei der Lösung der Aufgaben und beantwortet Fragen. Im letzten Teil des Seminars werden die Ergebnisse von den Studierenden allen anderen vorgestellt und verglichen. Der Seminarleiter dokumentiert und vertieft die Lösungen und moderiert auftretende Diskussionen. Da unser Konzept auf maximaler Interaktion aufbaut, soll das Seminar bevorzugt im Präsenzbetrieb umgesetzt werden. Aufzeichnungen verbieten sich jedoch aus Datenschutzgründen. Damit aber auch nicht anwesenden Studierende an den Seminaren teilnehmen können, ist es denkbar, in das Seminar eine Online-Konferenz zu integrieren. Die in diesem Projekt zu konfigurierende Kamera- und Tontechnik ermöglicht dies. Eine gemischte Zusammenarbeit in den Kleingruppen zwischen anwesenden und nicht anwesenden Studierenden erscheint allerdings als nicht praktikabel. Die zugeschalteten Teilnehmer in der Webkonferenz müssen also eigene Gruppen bilden.

Für die Vorlesung *Physikalische Grundlagen Erneuerbarer Energien* wechseln sich Heim- und Präsenzübung wöchentlich ab. Die Seminare finden also nur zweiwöchentlich statt und passen so in das Schema 2-stündiger Vorlesungen mit entsprechender ECTS-Bewertung. Außerdem bleibt so genügend Zeit für die Studenten und Studentinnen, die Heimübungsreihe ausführlich zu bearbeiten.

Zusammenfassend bietet das Verfahren eine Reihe von Vorteilen:

- Die Studierenden werden eng in das Modul eingebunden, indem die Kommunikation und Interaktion maximiert wird.
- Die Präsenz von Studierenden schafft Vorlesungsatmosphäre und wirkt sich positiv auf die Lehrleistung der Dozentin / des Dozenten aus.
- Die unterschiedlichen Lehrformate bieten viel Abwechslung.
- Die Lehrmethoden sind so ausgewählt, dass Risiken durch technische Schwierigkeiten minimiert werden.

2.3 Ablaufplan

	Thema	
1. Woche	Einführung	Heimübungsaufgaben
2. Woche	Strahlungsgleichgewicht	Präsenzübungen
3. Woche	Treibhauseffekt	Heimübungsaufgaben
4. Woche	Treibhauseffekt und spektrale Absorption I	Präsenzübungen
5. Woche	Treibhauseffekt und spektrale Absorption II	Heimübungsaufgaben
6. Woche	Energiewandlung mit endoreversible Wärmekraftmaschinen	Präsenzübungen
7. Woche	Atmosphäre als endoreversible Wärmekraftmaschine	Heimübungsaufgaben
8. Woche	Eigenschaften des Windes	Präsenzübungen
9. Woche	Grundlagen der Tragflächentheorie	Heimübungsaufgaben
10. Woche	Ideale Windkraftmaschinen: Der Betz-Leistungsbeiwert	Präsenzübungen
11. Woche	Ideale Windkraftmaschinen: Die Betz-Optimalauslegung	Heimübungsaufgaben
12. Woche	Reale Windkraftmaschinen / Verluste	Präsenzübungen
13. Woche	Reale Windkraftmaschinen: Schmitz-Optimalauslegung	Heimübungsaufgaben
14. Woche	Wärmedämmung bei Gebäuden	Präsenzübungen

2.4 Evaluierung

Wir werden eine zweistufige Evaluierung vornehmen bzw. vornehmen lassen. Die erste Stufe ist eine Eigenevaluierung über eine anonyme moodle-Umfrage. In dieser Umfrage sollen sich die Studierenden zur Qualität und Praktikabilität des Lehrformats äußern. Die Fragen betreffen dabei u.a. die Plattform (für die *Physikalische Grundlagen Erneuerbarer Energien* wird das YouTube sein), die Bild- und Tonqualität, die Kameraführung, das Übungsgruppenkonzept, die online-Lösungen usw. Die Umfrage wird bereits nach der 4. oder 5. Vorlesung durchgeführt, um frühzeitig eine aussagekräftige Rückkopplung zu erhalten, um evtl. an der einen oder anderen Stelle nachzujustieren.

Die zweite Stufe stützt sich auf die von der Fachschaft der Fakultät autonom durchgeführten Lehrevvaluation. Der standardisierte und seit vielen Jahren etablierte Fragenkatalog deckt die meisten Aspekte von Lehre und Lehrqualität ab. Insbesondere ermöglicht er einen direkten Vergleich der Vorlesung mit Vorlesungen der Kolleginnen und Kollegen. Tatsächlich führe ich die bemerkenswert hohe Lehrqualität an der Physikalisch-Astronomischen Fakultät zu erheblichen Teilen auf diese rigorose Bewertung der Lehre und die intensive Diskussion einzelner negativer Ergebnisse im Fakultätsrat zurück.

2.5 Erfolgseinschätzung

Nachdem wir das beschriebene Konzept hinsichtlich seiner Grundideen – was die Seminare betrifft sogar im Detail – bereits im Rahmen einer großen Vorlesung getestet haben, können kaum Zweifel bestehen, dass zumindest das dauerhaft bleibende digitale Produkt gelingen wird. Entscheidend ist die Nutzung der Expertise professioneller Livestreaming-Produzenten. Im Hinblick auf die Inhalte der Vorlesung ist die Einschätzung ähnlich positiv: Die Inhalte sind erstens bereits umfassend aufbereitet worden, zweitens hochaktuell und von großer gesellschaftlicher Relevanz und bieten, drittens, auch aus physikalischer Sicht sehr reizvolle Einsichten. Eine gewisse Erfahrung im Outreach-Bereich, die wir uns über die Jahre erarbeitet haben, ist ebenfalls von Nutzen.

Obleich es das Letzte ist, was wir wünschen würden, ist festzustellen, dass die Erfolgseinschätzung bei einer andauernden COVID-19-Krise besonders positiv ausfallen muss: Uns ist kein Konzept bekannt, das flexibler dem Wunsch nach Rückkehr zur Präsenzlehre und nicht vorhersehbaren Corona-Einschränkungen entsprechen kann.

2.6 Risiken

Während wir keine Zweifel am Erfolg des dauerhaft bleibenden digitalen Produkts haben, ist das Ergebnis für den Präsenzteil des hybriden Ansatzes schwer vorhersehbar. In die erste Vorlesung meines derzeitigen Kurses Experimentalphysik, zu der Ende Juni 2020 wieder Studierende zugelassen waren, meldeten sich und kamen nur 6 der maximal 30 erlaubten Hörer. Der Grund dafür ist schlicht, dass die nächste von den Studierenden zu hörende Vorlesung wieder digital ist, sie also zurück nach Hause fahren müssen. Warum sollen sie dann ausgerechnet zu der Vorlesung, die nach allgemeiner Meinung die höchste digitale Qualität bietet, um 8 Uhr mit Nase-Mund-Schutz und ohne Kaffee in der Hand bei mir in der Vorlesung sitzen?

Umgekehrt könnte sich nach Überwindung der Corona-Krise der bereits weitverbreitete Überdruß gegen digitale Lehre Bahn brechen: Die Teilnehmenden vor Ort könnten sich an der Aufzeichnung stören, obwohl wir selbstverständlich darauf achten müssen und werden, dass außer den Lehrenden niemand gefilmt wird.

Als Risiko für die Teilnehmerzahl am Präsenzteil der Lehre könnte man die leichte und dauerhafte Verfügbarkeit der digitalen Ausgabe vermuten. Die Diskussion erinnert an die divergierenden Auffassungen zur Frage, ob man ein Skript gar nicht, stückweise oder gleich komplett zur Verfügung stellen sollte: Wenn ein Skript verfügbar sei, käme ja niemand mehr in die Vorlesung und erst schreibe keiner mehr mit. Ich teile diese Wahrnehmung nicht: Obwohl viele meiner Skripte fast druckreif sind und obwohl ich sie immer zu Anfang des Semesters komplett zur Verfügung stelle, erkenne ich keine negativen Auswirkungen.

Für öffentliche Livestreams ist schließlich noch die Urheberrechtsproblematik zu beachten. Wir begegnen dem durch überwiegende Verwendung selbst erstellten Materials und Freien Inhalten (CC-Lizenzen). Für dieses Projekt, also für die Vorlesung *Physikalische Grundlagen Erneuerbarer Energien*, haben wir darüber hinaus Mittel für Bildrechte budgetiert.

3. Verstetigung und Übertragbarkeit

Wie eingangs betont (vergl. Abschnitt [2.2.1](#)) ist Ausgangspunkt und Kernidee des Projekts, ein Lehrformat für kleinere Lehrveranstaltungen zu entwickeln und zu validieren, das die Vorteile von Präsenz- und digitaler Lehre vereint. Für eine große Experimental-Vorlesung haben wir die zugrunde liegende Lehrphilosophie und die meisten Komponenten, von denen einige auf das kleinere Format anzupassen sind, bereits umgesetzt und mit sehr guten Ergebnissen evaluiert bekommen. Die Übertragbarkeit und Verstetigung gehört damit zu den Genen dieses Antrags. Die exemplarische Umsetzung im Rahmen der Vorlesung *Physikalische Grundlagen Erneuerbarer Energien* soll die Eignung und Leistungsfähigkeit des Konzepts demonstrieren.

Die Prioritäten Verstetigung und Übertragbarkeit finden ihre Entsprechung am auffälligsten im Budget: Die Mittel werden auf die Beschaffung, Konfiguration und Programmierung von Bild-, Ton- und Regietechnik konzentriert, um unkompliziert und ohne Mitwirkung von Spezialisten hybride Lehre im Universitätsalltag verwirklichen zu können. Zwei eingewiesene studentische Hilfskräfte müssen zur Bedienung ausreichen. Langfristig ist eine feste Installation der Technik in mehreren Vorlesungs- und Seminarräumen das Ziel⁶

Nach erfolgreichem Abschluss dieses Projekts werde ich meine englisch-sprachige Vorlesung *Nonlinear Optics* als Livestream produzieren. Sie wird sich im Rahmen der Max Planck School of Photonics an Studierende an mehreren Standorten wenden.

⁶ Derzeit steht Livestream-Technik an der Fakultät nur in zwei größeren Vorlesungssälen zur Verfügung. Die in Abschnitt [2.2.2](#) beschriebene Funktionalität kann sie nicht bieten.