

## Abschlussbericht

zum

Junior-Fellowship für Innovationen in der Hochschullehre

## Ownership of Learning im Praktikum mit webbasierten, interaktiven Jupyter-Notebooks

Dr. Ralf Bausinger, Physikalische Praktika  
Fachbereich Physik der Universität Konstanz

### Beschreibung der Lehrinnovation

Die vorliegende Lehrinnovation umfasst mehrere Interventionen, die die Diversität der Studierenden im Rahmen des Pflichtmoduls „Physikalisches Fortgeschrittenenpraktikum“ (FP) berücksichtigen. Die Diversität ergibt sich dabei unter anderem aus der besonderen Struktur der Physik als Wissenschaftsdisziplin und der individuellen Entwicklung der Studierenden in den ersten Studiensemestern.

Die Physik als Wissenschaftsdisziplin ist in zwei große methodische Richtungen unterteilt, die theoretische und die Experimentalphysik. Diese Spezialisierung hat sich in den letzten 100 Jahren bewährt, da die beiden Gruppen in intensivem Austausch stehen: Experimental-PhysikerInnen führen Beobachtungen an physikalischen Systemen durch, häufig in quantitativer Form. Theoretische PhysikerInnen entwerfen Modelle auf Basis möglichst grundlegender Leitsätze. Ziel dieser Modellierung ist es, Vorhersagen des Verhaltens der physikalischen Systeme zu treffen, die dann mit den vorhandenen und möglichst auch allen zukünftigen Beobachtungen der Experimentalphysik übereinstimmen. So schließt sich der Kreis.

“The physics community explores and explains the physical world through a blend of theoretical and experimental studies. The future of physics as a discipline depends on training of students in both the theoretical and experimental aspects of the field.”  
[Wilcox, 2017]

Laborpraktika bieten sich dabei in besonderer Weise an, beide methodischen Richtungen in ihrem Zusammenwirken begreifbar zu machen. Dazu wird in einem Versuch ein physikalischer Effekt anhand grundlegender physikalischer Theorien beschrieben. Das Wissen zu den Theorien stammt in der Regel aus Vorlesungen, kann aber auch durch selbständiges Literaturstudium erarbeitet werden. Anhand dieses Modells werden dann Vorhersagen gemacht, wie sich der experimentelle Aufbau unter gewissen Bedingungen verhält. Im Experiment werden diese Bedingungen eingestellt und das Verhalten des Systems dokumentiert, gemessen. Die theoretischen Vorhersagen und die Messergebnisse werden in eine vergleichbare Form gebracht. Im Idealfall stimmen dann beide im Rahmen der Mess- und Vorhersage-Genauigkeit überein. Werden Diskrepanzen aufgedeckt, so ist nach experimentellen und/oder theoretischen Gründen für die Unterschiede zu suchen. Nach entsprechenden Anpassungen erfolgt dann ein weiterer Durchlauf mit einem Vergleich der Vorhersagen mit den Messergebnissen, bis schließlich beide übereinstimmen [Koponen, 2007].

Wann und wie sich diese Spezialisierung während des Studiums vollzieht, also aus Studierenden der Physik theoretische oder Experimental-PhysikerInnen werden, ist noch weitgehend unerforscht. Dies mag daran liegen, dass diese Trennung in anderen Disziplinen nicht derart ausgeprägt ist wie in der Physik. Man kann jedoch annehmen, dass eine Spezialisierung früh im Studium didaktische Herausforderungen mit sich bringt, da sie sich demotivierend auswirken kann im Hinblick auf

Lerninhalte, die dem komplementären Methodenspektrum entstammen. Da die Laborpraktika beide Methodenbereiche integrierend ansprechen, sollte gerade dort besonders auf diese spezifische Diversität eingegangen werden. In der aktuellen didaktischen Forschung (Physics Education Research, PER) finden sich zu den unterschiedlichen Einstellungen einige Hinweise.

“In the interviews, it was suggested theoretical physicists may hold differing views, particularly regarding statements about enjoyment while doing experiments or building things and working with their hands.” [Zwickl, 2013]

Danielsson fand 2011 bei Interviews mit Studierenden in Schweden zwei stereotype Modelle des ‚Analytical Physics Student‘ und des ‚Practical Physics Student‘ [Danielsson, 2011]. Darin sind typische Verhaltensweisen, Einstellungen und Erwartungen bei der Durchführung von Versuchen für zwei Rollenmodelle zusammengefasst. Je nach Ausprägung der persönlichen Interessen für theoretische und experimentelle Methoden findet sich bei den interviewten Studierenden eine Überlagerung der beiden Modelle mit unterschiedlicher Gewichtung [vgl. Abbildung 1].

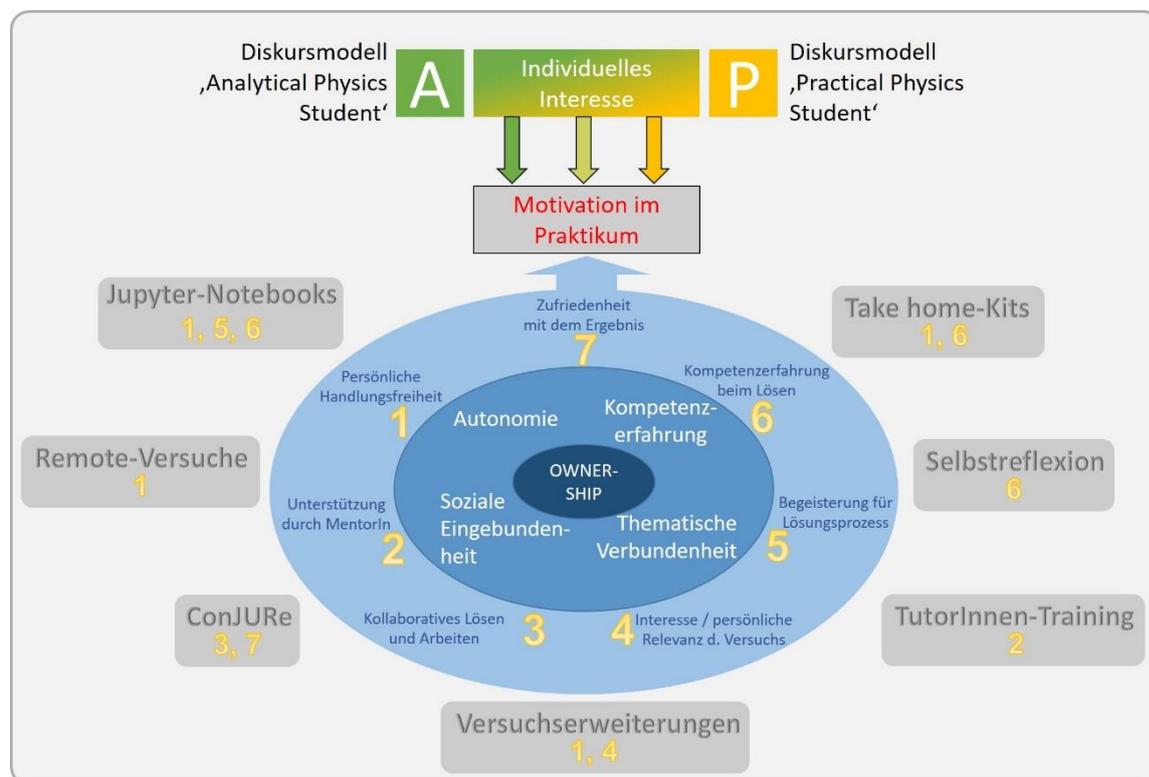


Abbildung 1: Schematische Übersicht über Themenkomplexe und Interventionen der Lehrinnovation

Im Rahmen des Projekts wurden Interviews mit Studierenden durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich Aspekte der beiden Diskursmodelle auch im hiesigen Studiengang identifizieren lassen. Anhand der Interviews wurde ein Fragebogen entwickelt, der typische Aspekte der beiden Diskursmodelle abfragt und damit Präferenzen für theoretische und experimentelle Methoden anzeigt (Preferences for Analytical or Practical Physics, PrefAPP, Anhang A.).

Mit Hilfe der Interviews und des Fragebogens lassen sich bereits im Bachelorstudium Spezialisierungen erkennen, die eine Herausforderung für die individuelle Motivation in bestimmten Phasen des Versuchsablaufs bedeuten können.

Um nun die Auswirkungen solcher Spezialisierungen auf den Lernerfolg im Praktikum klassifizieren zu können und entsprechende Unterstützungsmaßnahmen zu etablieren, wird das Konzept des Ownership am Versuch angewendet.

Die klassische Selbstbestimmungstheorie von Ryan und Deci [Ryan, 2000] sagt eine hohe Motivation für jene sozialen Kontexte voraus, in denen Personen die Möglichkeit haben, ihre psychologischen Grundbedürfnisse nach *Autonomie, sozialer Eingebundenheit, thematischer Verbundenheit und Kompetenzerfahrung* gleichermaßen zu befriedigen. Im Zusammenhang mit studentischem Lernen fasst das Konzept des Ownership of Learning (OSL) diese Bedürfnisse zusammen. Insbesondere für das Lernen im Praktikum identifizieren Dounas-Frazer et al. folgende Aspekte für ein motivationsförderndes Ownership am Versuch [Dounas-Frazer, 2017]:

1. Persönliche Handlungsfreiheit (Autonomie)
2. Angemessene Unterstützung durch MentorInnen (soziale Eingebundenheit)
3. Kollaboratives Lösen herausfordernder Aufgaben zusammen mit KommilitonInnen (soziale Eingebundenheit)
4. Interesse für und persönliche Relevanz des Versuchs (thematische Verbundenheit)
5. Begeisterung für den Prozess zur Lösung der Aufgabe(n) (thematische Verbundenheit)
6. Erlebnis der Selbstkompetenz beim Lösungsprozess (Kompetenzerfahrung)
7. Zufriedenheit mit den Ergebnissen des Versuchs (Kompetenzerfahrung)

Da bei der Erarbeitung der theoretischen Grundlagen zum Versuch andere Aspekte angesprochen werden als bei der Durchführung der Messungen, ist zu erwarten, dass sich die Ausprägung des Ownerships während eines Versuchs ändert, also in Phasen verläuft. Deshalb wurden Reflexionsfragen entwickelt, die sich an den oben genannten Bereichen orientieren, und das Ownership zu unterschiedlichen Zeitpunkten während der Versuchsdurchführung messen (Abbildung 2). Dabei werden verschiedene Kenngrößen (welches Experiment wird durchgeführt bzw. zu welcher Phase des Versuchs erfolgt die Abfrage) mit abgespeichert, um den Verlauf korrekt nachvollziehen und ggf. versuchsspezifische Verläufe identifizieren zu können. (Reflexionsfragen zum Ownership am Versuch in Anhang B.)

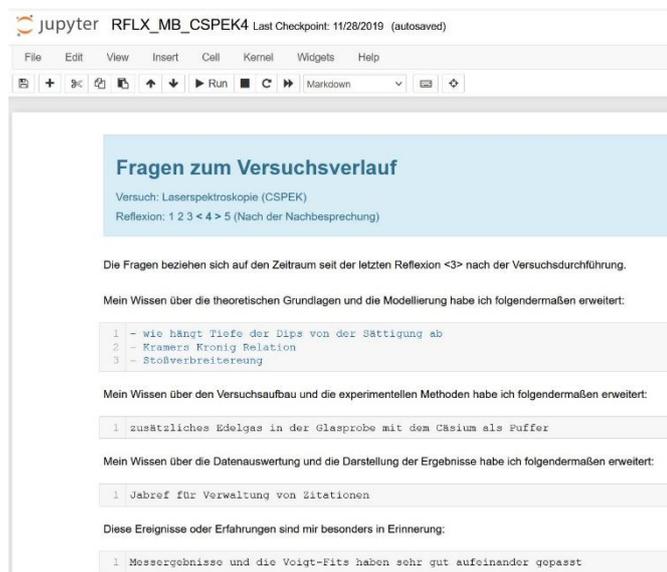


Abbildung 2: Fragen zur Entwicklung der Aspekte des Ownerships im Verlauf eines Versuchs

## Erweiterung des Versuchsspektrums

Ziel dieser Intervention ist es, das Spektrum physikalischer Fragestellungen, die mit einem bestehenden Aufbau experimentell untersucht werden können, durch zusätzliche Geräte und Bauteile so zu erweitern, dass sich die Versuchsgruppen individuelle Versuchsabläufe zusammenstellen können. Komplexere theoretische Fragestellungen werden dadurch experimentell zugänglich. So sollen sowohl die Autonomie als auch die thematische Verbundenheit gestärkt werden. Zunächst wurden die Versuchserweiterungen, wie geplant, an den Versuchen Laserspektroskopie (CSPEK), Kernspinresonanz (PNMR), Einzelphotonenkorrelation (SPKOR), Nd:YAG-Laser (NDYAG), Rauschen (NOISE) und Helium-Neon-Laser (HENE) durchgeführt. Einzelheiten zu den Versuchserweiterungen finden sich im Anhang C.

Als sich Ende März 2020 herauskristallisierte, dass das Sommersemester ohne Präsenzlehre auskommen müsse, und es nicht absehbar war, wie lange dieser Zustand anhalten würde, wurde

entschieden, das Fortgeschrittenenpraktikum an realen Versuchsaufbauten durchzuführen, die per Remotezugriff über eine Internetverbindung bedient werden können. Ziel war es, den Studierenden eine verlässliche Durchführung des Praktikums innerhalb des Semesters garantieren zu können, sodass es zu keinen Verschiebungen innerhalb ihres Studienablaufs kommen würde. Reine Auswerterversuche, bei denen die Studierenden zur Verfügung gestellte Datensätze evaluieren, wurden ausgeschlossen, da das Aufnehmen von Messdaten einen wesentlichen Teil des Praktikums darstellt. Die Recherche nach Simulationen, die ein möglichst realistisches Experimentieren an komplexeren Aufbauten ermöglichen, wie es dem Niveau des Fortgeschrittenenpraktikums entspräche, ergab leider keine brauchbaren Ergebnisse. Leider war auch die Suche bei Anbietern kommerzieller Remote-Labore nicht erfolgreich, da die Versuche eher auf den stärker nachgefragten Bereich der Grundpraktika ausgelegt sind. Somit war kein wirkliches Experimentieren im Sinne einer akzeptablen Parameterauswahl auf FP-Niveau möglich. Im Zuge dieser Recherchen wurden jedoch Ideen für Versuchsthemen gesammelt, die schließlich in drei Remoteversuche mündeten, die einer nach dem anderen entwickelt, teils aufgebaut, getestet und dokumentiert wurden und bis Ende Juni 2020 einsetzbar waren.

Die Vorgaben der Universität für das Sommersemester 2020 besagten, möglichst asynchrone Lehre durchzuführen. Meine Vorlesung zur Mess- und Steuerungstechnik gestaltete ich asynchron mit Hilfe von selbst erstellten Videos zu den Vorlesungsinhalten und das dazugehörige Praktikum synchron mit an den Online-Schaltungssimulator Tinkercad Circuits angepassten Praktikums-Aufgaben. Der erarbeitete Workflow für die Videoproduktion half bei der Erstellung von Lehrvideos für die Remote-Versuche im FP, die ersten Erfahrungen mit den Videokonferenzen gaben wichtige Hinweise für die Strukturierung der Online-Meetings während der Durchführung der Remote-Experimente. Die Vorteile der asynchronen Lehre wurde im Fortgeschrittenenpraktikum auch auf die Versuchsdurchführung übertragen: durch die Loslösung von den Laborräumen ergab sich die Freiheit, die Versuche nicht zu festen Zeiten durchführen zu müssen. Die Studierenden konnten sich, in Absprache mit den TutorInnen, die Zeiträume für die Versuchsdurchführung selbst wählen. Diese Autonomie bezüglich der freien Orts- und Zeitwahl wurde sehr positiv aufgenommen und als hilfreich im Hinblick auf den Studienverlauf empfunden.

Da sich ein Radioastronomie-Versuch für das FP im Aufbau befand, waren bereits Überlegungen zu möglichen Versuchsschwerpunkten vorhanden. Über einen Radioteleskop-Simulator des European Hands-on Universe-Programms stieß ich auf das SALSA-Projekt der Chalmers Universität Göteborg am Space Observatory Onsala in Schweden. Dort stehen drei Radioteleskope, ‚Valle‘, ‚Brage‘ und seit diesem Frühjahr ‚Torre‘ mit je 2,3 m Antennendurchmesser für ferngesteuerte Messungen zur Verfügung. Nach Rücksprache mit dem dortigen Systemverantwortlichen konnten die Teleskope im Konstanzer Fortgeschrittenen-Praktikum eingesetzt werden. Anfang April starteten erste Tests zu möglichen Messungen an Sonne, Milchstraße und künstlichen Satelliten und im Anschluss wurde der genaue Versuchsablauf festgelegt. Gegen Ende des Monats begann das Training der vier TutorInnen, parallel zur Produktion der Lehrvideos, und am 13. Mai 2020 empfing die erste Studierendengruppe Radiostrahlung, die seit gut 60 000 Jahren vom anderen Ende unserer Galaxie Richtung schwedische Westküste unterwegs war.

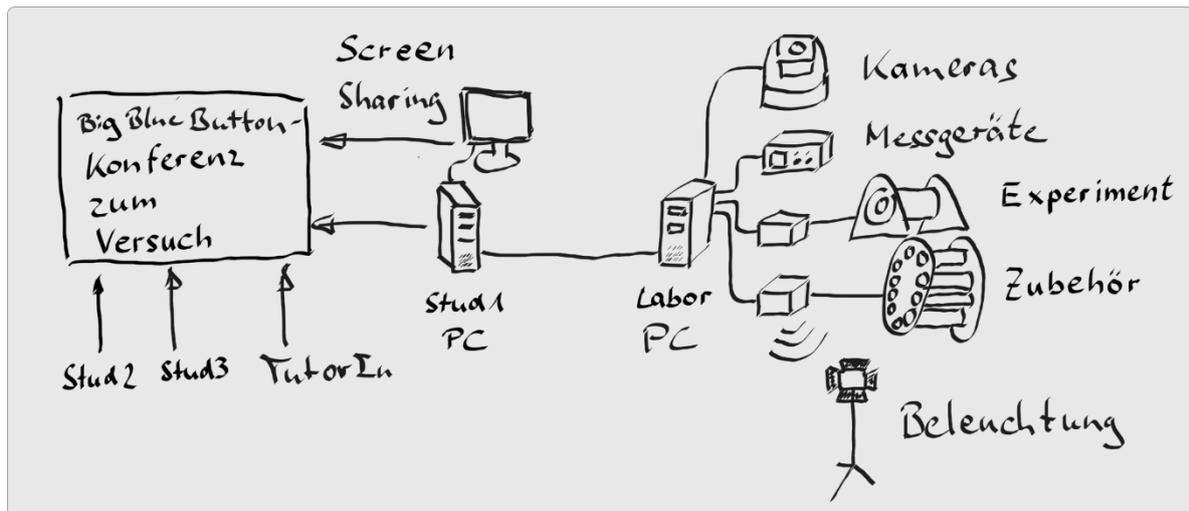


Abbildung 3: Durchführung von Remote-Versuchen. Studierende und TutorIn treffen sich im Videokonferenzraum. Nach der Vorbesprechung am Virtuellen Whiteboard meldet sich eine Studentin oder ein Student via Remote Desktop Client auf dem Labor-PC an. Hierüber lassen sich Messgeräte, Experiment- und Zubehör-Steuerung sowie Kameras kontrollieren und auslesen. Die Desktop-Ansicht und die Kamerabilder vom experimentellen Aufbau werden zum studentischen PC übertragen und mittels Screen-Sharing mit den anderen Konferenzteilnehmern geteilt.

Basis der beiden weiteren Remote-Versuche im Sommersemester 2020 zu den Grundlagen und den Anwendungen der Erdfeld-Kernspinresonanz (EFNMR1/2) ist ein Terranova-Spektrometer, dessen Messparameter vom PC aus gesteuert werden. Für den Grundlagen-Teil sind 500 ml destilliertes Wasser ausreichend, für den erweiterten Versuch zu den Anwendungen der EFNMR kommen jedoch insgesamt elf unterschiedliche Proben zum Einsatz, sodass ein Probenwechsler inkl. Steuersoftware entwickelt und gebaut werden musste, ohne dabei, pandemiebedingt, auf die Wissenschaftlichen Werkstätten der Universität zurückgreifen zu können. Das Spektrometer war bereits im Rahmen eines eintägigen Experiments im Fortgeschrittenenpraktikum im Einsatz. Durch die Aufteilung auf zwei getrennte Versuche standen nun insgesamt zwei Experimentier-Tage zur Verfügung, um die bisherigen Versuchsthemen aus dem Präsenzbetrieb zu bearbeiten. Ergänzend wurden weitere Thematiken, wie die bildgebende Kernspinresonanz mit Anwendungen in der Medizin und die Analyse von Kopplungen zwischen Wasserstoff- und Fluoratomen zur Ermittlung chemischer Strukturen, in den Anwendungsversuch aufgenommen.

Der Ablauf aller Remoteversuche folgt jeweils einem ähnlichen Schema (vgl. Abbildung 3). Die zwei oder drei Studierenden einer Gruppe sowie die Tutorin bzw. der Tutor des Versuchs treffen sich in einem virtuellen Raum der Videokonferenz-Software BigBlueButton (BBB), die von der Universität bereitgestellt wird. Neben diesen versuchsassoziierten Konferenzräumen hat jede TutorIn noch einen persönlichen Raum für die vor- und nachbereitenden Besprechungen mit ihren Studierendengruppen. Abwechselnd meldet sich ein Mitglied der Versuchsgruppe per Remote Desktop Client auf dem Steuerrechner des Experiments an und übernimmt die Einstellung der Messparameter und die Durchführung der Messungen. Sie oder er teilt den eigenen Bildschirm via BBB-Videokonferenz mit den anderen Versuchsteilnehmern, sodass Mitstudierende bzw. TutorIn das Geschehen verfolgen und in der Diskussion Einfluss auf den Ablauf nehmen können. Ergänzt wird der visuelle Eindruck noch durch Livestreams schwenk- und zoombarer Kameras, die verschiedene Details des Versuchsaufbaus einfangen. Mit zunehmender Dauer des Remotebetriebs wurden Versuche mit einem weiteren Messrechner sowie Oszilloskop ausgerüstet, sodass dann sogar zwei Studierende gleichzeitig Messungen durchführen konnten.

An diesen drei Remote-Versuchen absolvierten insgesamt 120 Studierende ab dem Sommersemester 2020 bis zum Wintersemester 2021/22 erfolgreich ihr Fortgeschrittenenpraktikum innerhalb der regulären Vorlesungszeit.

Parallel zur Optimierung dieser ersten drei Remote-Versuche wurden drei weitere Versuche entwickelt, um ab dem dritten Semester im Remotebetrieb im Sommer 2021 auch Studierenden im FP2 oder FP3 Remote-Versuche anbieten zu können (erste Studierende experimentierten bereits im Wintersemester 20/21 an den Prototypen). Mit den Versuchen ‚Deterministisches Chaos‘ (CHAOS) und ‚Quantisierte Leitfähigkeit an Goldkontakten‘ (QCOND) wurden zwei völlig neue Versuche konzipiert, die sich aufgrund der wenigen mechanischen Freiheitsgrade, aber des hohen Anteils an elektronischer Messtechnik gut für den Remotebetrieb eignen. Thematisch ordnen sie sich harmonisch in den bisherigen Versuchskanon ein, da die quantisierte Leitfähigkeit ein Forschungsgebiet im Fachbereich darstellt und die nichtlineare Dynamik im Chaosversuch eine Ergänzung zum Themenkatalog der Grundvorlesungen bietet. Da mittlerweile auch wieder ein regelmäßiger Zugang der Kursleitung zum Experiment sichergestellt war, in diesem Fall um flüssigen Stickstoff zur Kühlung des Supraleiters vor der Versuchsdurchführung einzufüllen, wurde als Drittes der bestehende SQUID-Versuch, wie geplant, mit einem motorischen Probenlift versehen. Die mechanischen Bedienelemente der Experimentsteuerung wurden mit Schrittmotoren versehen und eine digitale Temperaturmessung installiert, sodass der Versuch nun ebenfalls ferngesteuert durchgeführt werden kann.

Alle drei Versuche machen Gebrauch von den Digitaloszilloskopen im Praktikum, die zur Messwerterfassung verwendet werden. Aufgrund der Erfahrungen mit der proprietären Software zum ferngesteuerten Auslesen der Oszilloskopdaten im Sommersemester 2021 wurde dann zum und im Laufe des Wintersemesters 2021/22 jeweils eigene Kontroll- und Ausleseroutinen für die Oszilloskope in die Steuerprogramme der drei Versuche integriert.

Aufgrund der positiven Rückmeldungen zum SALSA-Versuch und zu astronomischen Themen im Allgemeinen wurde ein bestehender Aufbau zu astronomischen Beobachtungen so erweitert, dass er für regelmäßige Beobachtungen im Rahmen des Fortgeschrittenenpraktikums geeignet ist. Bei den Versuchsthemen fiel die Wahl auf die spektro(helio)skopische Beobachtung der Sonne und die differentialphotometrische Vermessung von Exoplaneten-Transits.

Bei der Sonnenbeobachtung werden Strukturen in verschiedenen Tiefen der Sonnen-‘Oberfläche‘ bei unterschiedlichen Wellenlängen beobachtet. Aus den spektroskopischen Daten lassen sich Informationen zur Rotationsgeschwindigkeit der Sonne (Doppler-Effekt), zu ihrem Durchmesser und zur magnetischen Flussdichte (Zeeman-Effekt) gewinnen. Die Überprüfung potentieller Exoplaneten, also Planeten, die um andere Sterne als unsere Sonne kreisen, ist Gegenstand aktueller Forschung. Dabei werden Helligkeitsänderungen eines Sterns im Promille-Bereich ausgewertet, die aufgrund der Bedeckung des ‚Sternscheibchens‘ durch den Planeten bei dessen Umlauf hervorgerufen werden. Der präzise Bedeckungszeitpunkt, die Periode und der Intensitätsverlauf während der Bedeckung sind dabei wichtige experimentelle Parameter. Die Beobachtungszeit an großen Sternwarten ist viel zu teuer, um solche „Routineaufgaben“ durchzuführen. Deshalb werden solche Beobachtungen vermehrt an kleineren Teleskopen durchgeführt. Somit bietet sich die Möglichkeit, im Rahmen des Fortgeschrittenenpraktikums einen realen Beitrag zur aktuellen astronomischen Forschung zu leisten.

Bei den Astronomie-Versuchen wirkt sich das hohe Interesse für astronomische Themen positiv auf das Ownership aus. Außerdem bietet die große Zahl astronomischer Objekte sowie deren zeitliche Dynamik die einzigartige Möglichkeit, jeder Versuchsgruppe eine individuelle Messaufgabe zuzuweisen. Im Fall der Exoplaneten bedeutet dies zudem einen authentischen Beitrag zur Forschung. Somit ergibt sich eine völlig neuartige Situation, dass nämlich keine ‚Musterlösung‘ vorhanden ist. Diese Situation ist zuerst neu und deshalb ungewohnt für viele Studierende; wird der Lösungsprozess aber erfolgreich durchlaufen, stellt sich eine hohe Zufriedenheit mit dem Resultat ein.

Zusammenfassend wurden während des Projekts acht der bestehenden Versuche im Praktikum erweitert, zwei davon sogar dahingehend, dass die Messungen nun ferngesteuert durchgeführt werden können (EFNMR, SQUID). Zwei weitere, komplett neue Remote-Versuche wurden konzipiert und aufgebaut (CHAOS, QCOND). Mit den beiden neuen Astronomie-Versuchen zur Beobachtung im Optischen und mit dem Radioteleskop wurde ein neuer Themenbereich erschlossen, der auf großes Interesse bei den Studierenden stößt.

### Take home-Kits

Die Idee, Studierenden die Durchführung von Experimenten auch außerhalb der üblichen Lehlabore zu ermöglichen, hat durch die zeitweise Schließung der Hochschulen enorm an Bedeutung und Interesse gewonnen. ‚Send home kits‘ und ‚At-Home Labs‘ sind nur einige Bezeichnungen für solche Konzepte, die die Durchführung physikalischer Experimente mit minimalem materiellen Aufwand<sup>1</sup> im individuellen Lebensbereich der Studierenden erlauben.

Welche positiven Auswirkungen können solche Konzepte, jenseits des Einsatzes als ‚Notlösung‘, aus Studierendensicht bieten? Im Hinblick auf das Ownership of Learning werden zahlreiche Aspekte angesprochen. Der Hauptpunkt ist sicherlich der Gewinn an Autonomie, den Aufbau nach eigenen Vorstellungen zu gestalten. Die Studierenden lernen als neue experimentelle Kompetenz die Planung des Experiments kennen. Auch sind die zeitlichen und räumlichen Einschränkungen geringer, die Studierenden entscheiden selbst, wann ein günstiger Zeitpunkt ist, sich mit dem Experiment auseinanderzusetzen. Im Hinblick auf die soziale Eingebundenheit im Verhältnis zu Mentoren und Peers kann bei Home Labs pauschal keine Wertung abgegeben werden. Allerdings kann der Grad der sozialen Interaktion in der geschützten Umgebung der Wohnung autonomer gesteuert werden als im universitären Umfeld, soweit niederschwellige Angebote zur Kontaktaufnahme mit KommilitonInnen und TutorInnen existieren. Die eigenen Kompetenzen können so zuerst im geschützten Bereich erprobt werden. Im Hinblick auf die persönliche Relevanz der Versuchsthemen wirkt sich die Erkenntnis verstärkend aus, dass sich die Gegenstände, mit denen man täglich umgeht, durchaus als physikalische Objekte beschreiben lassen, ein gewöhnlicher Besenstiel also ebenso ein Trägheitsmoment besitzt wie das ausgefallene Reversionspendel im Praktikumslabor. Aus der anderen Richtung betrachtet steigt dann möglicherweise auch die Begeisterung für die optimierten Versuchsapparaturen, die entwickelt wurden, um störende Effekte möglichst zu eliminieren. Ein in solch hohem Maße selbständig erarbeitetes Experiment führt dann auch zu einem besonderen Kompetenzerlebnis und zur Zufriedenheit mit dem Endergebnis.

Im Praktikum zur Mess- und Steuerungstechnik an der Universität Konstanz werden seit dem Sommersemester 2011 Take Home-Kits an die Studierenden ausgegeben, die Bauteile enthalten, die sowohl im Präsenzpraktikum verwendet werden, als auch ein eigenständiges Experimentieren zu Hause erlauben. Im Rahmen des Fellowships wurde nun dieses Konzept auf das Fortgeschrittenenpraktikum übertragen.

Im Bereich der Fortgeschrittenenpraktika erscheint es aufgrund der Komplexität der experimentellen Aufbauten schwer, diese in vereinfachter Form „für den Hausgebrauch“ nachzubauen. Dies ist aber auch nicht das primäre Ziel des Projekts. Vielmehr gibt es in vielen Versuchen des Praktikums Geräte oder Methoden, deren Verständnis als Teil des Gesamtaufbaus eine besondere Herausforderung für die Studierenden darstellt. Beispiele sind der Lockin-Verstärker mit dem Konzept der phasensensitiven Detektion, die Differenzverstärkung zweier Signalquellen, die Temperaturmessung mittels Diode oder die vektorielle Zerlegung des lokalen Erdmagnetfeldes. Zu solchen spezifischen Teilaspekten eines Versuches wurden nun Take Home-Kits entwickelt, um den Studierenden die

---

<sup>1</sup> beinhaltet in diesem Kontext Materialien, die in jedem Haushalt vorhanden bzw. leicht zu beschaffen sind oder kostengünstig in größerer Anzahl an die Studierenden verschickt werden können. Einschränkungen bei der Qualität des Messaufbaus werden dabei in Kauf genommen.

Gelegenheit zu bieten, sich in der heimischen Umgebung mit der besonderen Thematik auseinanderzusetzen. Dabei sind die Take Home-Kits nicht nur auf experimentelle Aspekte beschränkt, sondern schließen auch Überlegungen zur theoretischen Beschreibung und zur Datenauswertung mit ein.

Ein wichtiger Baustein für die Entwicklung der Take Home-Kits ist die günstige Verfügbarkeit von Mikrocontroller-Plattformen wie Arduino oder ESP32 in Verbindung mit den passenden Entwicklungsumgebungen. Durch die Digitalisierung lassen sich grundlegende Gerätefunktionen aus dem Praktikum auf den Mikrocontrollern nachbilden, meist in reduzierter Qualität, was aber für die Untersuchung grundlegender Funktionen nicht ausschlaggebend ist. Zur Messwerterfassung stehen für alle relevanten Größen günstige Sensoren zur Verfügung, die mittels Mikrocontroller programmiert und ausgelesen werden. Mittels Lithium-Polymer-Akkus zur Energieversorgung und kleiner Displays auf Basis organischer Leuchtdioden können die Geräte auch für die autarke Anwendung ohne PC oder Laptop konzipiert werden. So kann beispielsweise das Erdmagnetfeld fernab von etwaigen Gebäuden gemessen werden. Die 3D-Drucktechnik ermöglicht darüber hinaus eine kostengünstige Fertigung mechanischer Bauteile zur Befestigung der Sensoren oder für Gehäuse.

So wurden beispielsweise für den Kernspinresonanz-Versuch im Erdmagnetfeld Take Home-Kits auf Basis des Mikrocontrollers ESP32 und des 3-Achsen-Sensors MPU 9265 zur dreidimensionalen Messung der magnetischen Flussdichte inklusive Kalibrier-Würfel (IMU Calibration Structure by MateusOP CC BY 4.0) aufgebaut (Abbildung 4). Angesprochen und ausgelesen wird der Sensor über ein Jupyter-Notebook mit MicroPython-Kernel. Auf Basis der Sensordaten erfolgt die Umrechnung in die einzelnen vektoriellen Komponenten. Die ermittelten Werte werden dann mit jenen verglichen, die aus einem theoretischen Modell des globalen Magnetfeldes stammen. So wird den Studierenden nochmals anhand realer Messwerte der Unterschied zwischen dem berechneten, mittleren Feld im Bodenseeraum und dessen Variation aufgrund lokaler, baulicher Gegebenheiten (Stahlbeton variiert das Magnetfeld) greifbar. Die persönliche Relevanz wird erhöht, wenn der Zusammenhang zum Kalibrieren des Kompasses im eigenen Smartphone erarbeitet wird.



Abbildung 4: Take Home-Kit zum EFNMR-Versuch. Sensor in Kalibrier-Würfel (links) und Steuerung. Im Hintergrund das Jupyter-Notebook zum Einlesen der Magnetfeld-Komponenten.

Das Take Home-Kit zum Astronomie-Versuch bietet ein breites Spektrum an Methoden der praktischen Astronomie: visuelle Beobachtungen, Winkelmessungen, Spektroskopie mittels Transmissionsgitter. Alle Beobachtungen können auch mit einer CCD-Kamera aufgezeichnet werden, somit sind auch photometrische Messungen möglich. Abbildung 5 zeigt eine Gruppe Studierender, die der Fragestellung nachgehen wollen, ob sich das Take Home-Kit auch für die Detektion eines hellen Exoplaneten-Systems eignet.

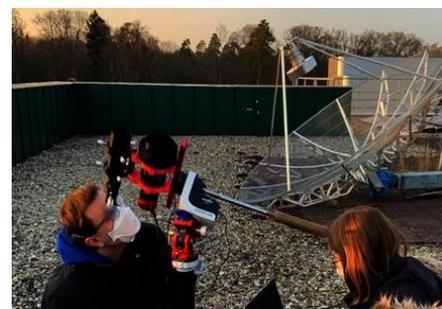


Abbildung 5: Einführung am Astro-Take Home-Kit bei einsetzender Dämmerung, im Hintergrund der 3 m-Spiegel des Radioteleskops.

## Von Exoplaneten zu Jupyter

Unter einem Jupyter-Notebook versteht man eine interaktive Programmierumgebung, in welcher ausführbarer Programmcode mit formatierten Hinweisen und Kommentaren (Texte, Formeln, Abbildungen, Diagramme, Multimedia-Elemente, ...) kombiniert ist. Diese Umgebung lässt sich verhältnismäßig einfach installieren und ermöglicht dadurch einen niederschweligen Einstieg in die Programmierung. Im einfachsten Fall werden Jupyter-Notebooks über den Webbrowser aufgerufen. Die enge Kommentierung des Programmcodes ermöglicht es auch Studierenden mit geringer Erfahrung in der Programmierung, die vermittelten Konzepte durch kleine Anpassungen im bereitgestellten Code in eigene Ideen umzusetzen. Dies steigert die Motivation, sich eingehender mit der Programmiersprache auseinanderzusetzen.

Der Zugang zur Jupyter-Umgebung kann auf zahlreiche Arten erfolgen. Für eine lokale Installation bietet sich die Anaconda-Distribution an, die von den Studierenden auf dem eigenen Rechner installiert wird und auch auf den Laborrechnern im Praktikum zum Einsatz kommt. Eine zweite Möglichkeit besteht in einem zentralen Server, einem sogenannten JupyterHub. Seit Ende 2021 ist ein solcher Hub im Fachbereich Physik vorhanden. Eine weitere Möglichkeit bietet der kostenlose Binder-Service, bei dem ein öffentlich zugängliches Notebook (gespeichert in einem GitHub-Repository) auf einer virtuellen Maschine installiert wird, und dann über eine Webadresse dort betrachtet und bearbeitet werden kann. Nachteilig sind u. a. die langen Ladezeiten, die notwendige Veröffentlichung und Einschränkungen bei interaktiven oder 3D-grafischen Elementen. Gute Erfahrungen im Projekt wurden mit den lokalen Installationen gemacht, es traten keine unlösbaren Probleme bei der Installation auf den Studierenden-Rechnern auf („Also, der Grund, warum ich auch Python benutze ist, weil mein Laptop zu schlecht ist um [Name einer kommerziellen Software] laufen zu lassen.“). Auch datenschutz- und urheberrechtlich verlangte diese Lösung die geringsten Einschränkungen.

Im Fellowship wurden die Möglichkeiten für den Einsatz von Jupyter-Notebooks im Rahmen des Fortgeschrittenenpraktikums untersucht. Folgende Anwendungsschwerpunkte für Jupyter-Notebooks haben sich als sinnvoll und hilfreich erwiesen:

*Kompetenzen vermitteln:* die Notebooks unterstützen durch die Kombination aus Informationen und Aktionen die Vorbereitung der Studierenden auf die physikalischen Versuchsinhalte und die Methoden der Datenauswertung.

*Datenbanken und Webservices:* Durch eine Vielzahl verfügbarer Python-Bibliotheken kann zum Zeitpunkt der Ausführung des Notebooks auf öffentlich zugängliche Datenbanken mit (Forschungs-)Daten und auf aktuelle Werte sich ändernder Parameter zugegriffen werden. So können beim Erdfeld-NMR-Versuch durch Eingabe eines Ortsnamens dessen geographische Koordinaten ermittelt werden, die dann für die Berechnung des lokalen Magnetfeldes an diesem Ort zu einem ausgewählten Zeitpunkt Verwendung finden. Dies ermöglicht, ohne großen zeitlichen Aufwand eigene Forschungsfragen zu stellen und zu überprüfen: „... wie groß ist die Horizontalkomponente des Magnetfeldes am Äquator, am Südpol oder in Australien ...“, oder „... ist die Flussdichte in Konstanz nächstes Jahr höher oder niedriger als heute ...“. Ein weiteres Beispiel: Die komplette Beobachtungsplanung bei den Astronomie-Versuchen wird durch die AstroPy-Bibliothek erleichtert, die Auf- und Untergangszeiten sowie Sichtbarkeitsplots für die zu beobachtenden Objekte liefert. Mit demselben Paket lassen sich auch die Fluoreszenz-Linien beim Helium-Neon-Laser identifizieren, da eine Funktion zum Abfragen der NIST Atomic Lines Database integriert ist.

Natürlich lassen sich diese Ergebnisse auch durch separate Software oder die Recherche auf verschiedenen Webseiten ermitteln. Der Vorteil der Jupyter-Notebooks ist, dass dieser Recherche-Prozess sehr kompakt und zusammenhängend in einem einzelnen Dokument zusammengefasst und

erläutert wird. Letztlich könnte der Prozess sogar automatisiert werden, im Praktikum ist jedoch der Weg das Ziel.

**Messwert-Erfassung:** die Notebooks ermöglichen die interaktive Steuerung von Messgeräten und die Speicherung von Daten, z. B. von den im Praktikum eingesetzten Oszilloskopen oder den in den Take Home-Kits verwendeten Mikrocontrollern und Sensoren.

Dies sind die drei Differentialgleichungen 1. Ordnung, die die Jerk-Schaltung modellieren, die wir im experimentellen Teil vermessen.

$$\frac{dx}{dt} = y$$

$$\frac{dy}{dt} = \alpha z$$

$$\frac{dz}{dt} = -\rho x - \mu z - \epsilon(\exp(y) - 1)$$

Gesetzter Markdown-Text

LaTeX-Formelsatz

In [3]:

```

# define the jerk system
# function returns the derivatives in the current state
# x, y, and z make up the system state, t is time, and alpha, rho, epsilon, mu are the system parameters
def jerk(t, current_state):
    # positions x, y, z at the current time
    x, y, z = current_state

    # derivatives describing the jerk system
    dx_dt = y
    dy_dt = sys.alp * z
    dz_dt = - sys.rho * x - sys.mu * z - sys.eps * (np.exp(y)-1)

    # return the derivatives
    return [dx_dt, dy_dt, dz_dt]

```

Programmcode in Python

Aktive Zelle mit Markdown-Quellcode und LaTeX-Elementen sowie einem Link

Das System wird durch vier Parameter  $\mu$ ,  $\alpha$ ,  $\rho$  und  $\epsilon$  bestimmt. Die Parameter sind folgender Publikation entnommen, die Sie auch im CMS in Ihrem FP-Account finden:  
 G. Kom et al.: Asymmetric Double Strange Attractors in a Simple Autonomous Jerk Circuit. *\*Complexity\**, 2018.  
[\[https://doi.org/10.1155/2018/4658785\]](https://doi.org/10.1155/2018/4658785) (<https://doi.org/10.1155/2018/4658785>)

Abbildung 6: Ausschnitt aus einem Jupyter-Notebook mit formatiertem Text und ausführbaren Programmcode-Zellen.

Abbildung 6 zeigt einen Ausschnitt aus dem Jupyter-Notebook zur numerischen Integration der drei Differentialgleichungen, anhand derer physikalische Aspekte des Deterministischen Chaos untersucht werden. Jupyter-Notebooks sind in Zellen organisiert, die ein oder mehrere Zeilen umfassen können. Die erste Zelle in Abbildung 6 stellt bereits interpretierten Markdown-Text dar. Insbesondere in den naturwissenschaftlich-mathematischen und sprachwissenschaftlichen Disziplinen ist ein vielseitiger Zeichen- und Formelsatz (mathematische Gleichungen, chemische Gleichungen, Schriftzeichen) für die wissenschaftliche Kommunikation sehr wichtig. Hier hat sich die Verwendung des Textsatzsystems ‚LaTeX‘ zur Formeldarstellung bewährt. LaTeX wird deshalb von allen Studierenden im FP verwendet, die Verwendbarkeit auch in Jupyter-Notebooks ist hierbei ein großer Vorteil. Die dritte Zelle ist eine ausführbare Codezelle für Python-Programmcode. Die vierte Zelle ist die momentan aktive und damit bearbeit- und ausführbare Zelle, gekennzeichnet durch den blauen Randbalken, und enthält den Quellcode für eine Textausgabe mit normalem Absatztext, griechischen Formelzeichen und einem Hyperlink. Es lassen sich auch multimediale Elemente wie Bilder, Videos und Audiodateien einbinden.

Didaktisch wichtigstes Element sind jedoch die Visualisierungen/Diagramme, z. B. von Messdaten oder aber von Gleichungen, die das zu untersuchende physikalische System beschreiben (Abbildung 7). Je nach Programmierkenntnissen der Studierenden und Komplexität der mathematischen Beschreibung können die Parameter entweder direkt im Quellcode variiert und durch Ausführen der Codezelle aktualisiert werden, oder es werden interaktive Elemente eingefügt, mit deren Hilfe sich Änderungen des simulierten Systems per Mausklick darstellen lassen. Physikalische Aufgabenstellungen können damit trotz Heterogenität in den Programmierkenntnissen gelöst werden.

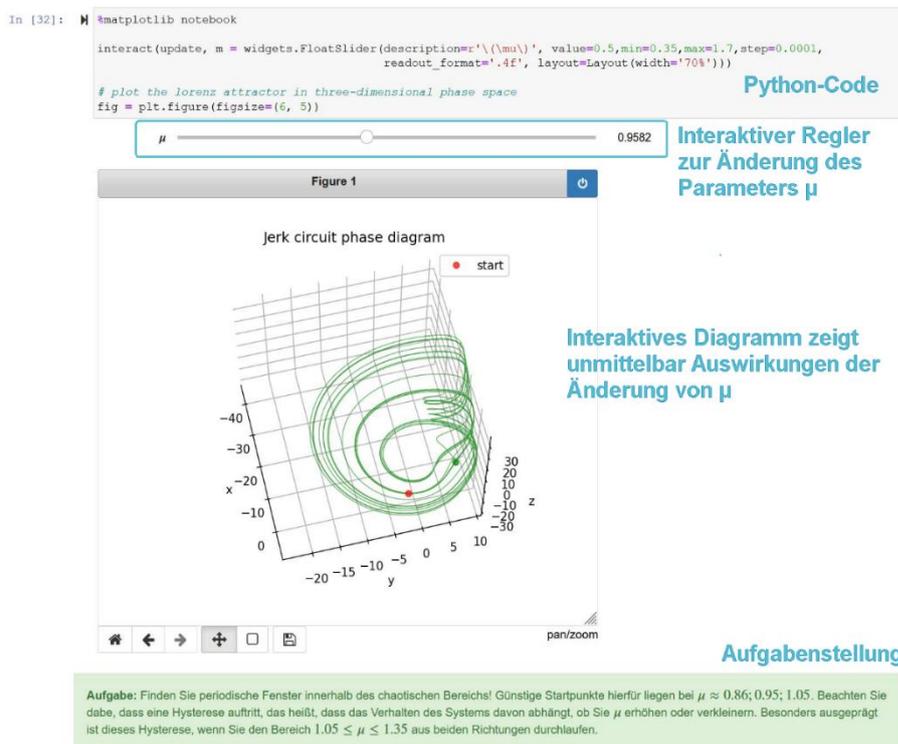


Abbildung 7: Interaktive Visualisierung eines chaotischen Attraktors. Das Diagramm kann gedreht und vergrößert werden. Änderungen an den abgebildeten Daten erfolgen per Programmcode oder mittels interaktiver Bedienelemente.

## Offene Pädagogik - ConJURe

Die offene Pädagogik (Open Pedagogy; Open Educational Practices) erweitert das Konzept der Open Educational Resources (OER), bei dem auf frei verfügbare, geteilte Materialien zurückgegriffen wird, um Methoden und Konzepte, die auf Open License-Technologien basieren. Diese Hilfsmittel flexibilisieren das Lernen und Lehren und erleichtern Lernenden und Lehrenden die gleichwertige Teilhabe bei der Schaffung gemeinsamer Lernumgebungen.

Das Public Knowledge Project ist eine Initiative mehrerer Universitäten, die mit ‚Open Journal Systems‘ (OJS) eine Open Source Software zur Verfügung stellt, welche Unterstützung bei der redaktionellen Verwaltung und Veröffentlichung wissenschaftlicher Zeitschriften bietet.

An der Universität Konstanz wird durch das Kommunikations- Informations-, Medienzentrum (KIM) ein solches Open Journal System angeboten, auf dem, neben sechs fachwissenschaftlichen Zeitschriften, mit dem ‚Constance Journal of Undergraduate Research - ConJURe‘ (ISSN: 2751-0042) auch ein Course Journal [Stranack 2017, Shuttleworth 2019] für das Physikalische Fortgeschrittenenpraktikum eingerichtet ist.

OJS basiert auf unterschiedlichen Rollen, die sich die redaktionelle Verwaltung einer Zeitschrift und die Abwicklung des Peer Review-Prozesses der eingereichten Publikationen und der anschließenden Veröffentlichung teilen.

Mit Beginn des Semesters werden die Studierenden sowohl als AutorInnen wie auch als ReviewerInnen registriert. Der Kursleiter agiert als Editor und verteilt die jeweiligen eingereichten

Manuskripte für den Review-Prozess an andere Studierendengruppen. Die TutorInnen sind als Section Editors jeweils für die Einreichungen Ihrer Gruppen/Versuche zuständig.

Es handelt sich um einen Double-blind Peer Review-Prozess, sodass AutorInnen und Peer ReviewerInnen keine Kenntnis von der Identität der jeweils anderen besitzen. Das Feedback durch die ReviewerInnen folgt ebenfalls formalen Vorgaben und wird, durch das Feedback der TutorInnen ergänzt, an die AutorInnen zurückgemeldet. Die Bewertung des Gesamtversuchs erfolgt anhand des überarbeiteten Artikels. Die überarbeiteten Artikel werden dann in Form einer Kursausgabe zusammengestellt und für die Kursteilnehmer zugänglich gemacht, sodass eine gemeinsame Sammlung an Artikeln des jeweiligen Semesters entsteht.

Welche Vorteile bringt nun ein solches Course Journal, insbesondere auch im Hinblick auf das Ownership? Die Studierenden lernen schon früh in Ihrer Ausbildung die Prinzipien des wissenschaftlichen Peer Review-Prozesses kennen. Dabei ist es jedoch wichtig, keine zusätzliche Arbeitsbelastung hervorzurufen. Prinzipiell ist in den meisten Praktika eine Ausarbeitung der theoretischen Vorhersagen und eine Interpretation der Messergebnisse in schriftlicher Form obligatorisch. Hier können nun durch Reduktion des Umfangs des schriftlichen Berichts auf ein 4-6 Seiten umfassendes Letter-Format Kapazitäten für die Begutachtung der Peer-Manuskripte geschaffen werden. Dies ist didaktisch gerechtfertigt, denn auch beim kritischen Lesen der fremden Manuskripte müssen sich die Studierenden mit der Physik des Versuchs auseinandersetzen. Darüber hinaus sehen sie aber auch aus eigener Perspektive, welche Informationen sie in ihren eigenen Beschreibungen angeben müssen, um einen Versuch umfassend darzustellen, so, dass andere Leser die Gedankengänge nachvollziehen und die Messungen ggf. reproduzieren können. Die schriftliche Kommunikation wissenschaftlicher Ergebnisse wird so nicht nur aus der Sender-Sicht erlebt, sondern die Studierenden erleben auch als Empfänger, welche Informationen für eine prägnante und verständliche Darstellung wissenschaftlicher Erkenntnisse notwendig sind.

Auch werden die Adressaten des eigenen Artikels greifbarer, da es sich um Mitstudierende, Peers, also Personen ‚auf Augenhöhe‘ mit in etwa gleichem Wissensstand handelt. Damit besteht die Aufgabe nicht mehr darin, gegenüber einer Tutorin oder einem Tutor mit definitionsgemäß höherem Wissensstand die eigenen Kenntnisse und Kompetenzen zu offenbaren, sondern tatsächlich das eigene Wissen an die Mitstudierenden weiterzugeben. Somit nähert sich diese Form der Darstellung der eigenen Versuchsergebnisse dem eigentlichen Ziel wissenschaftlicher Kommunikation stärker an als die bloße Zusammenfassung für den Lehrenden.

Zum Abschluss des Kurses erscheinen dann alle Artikel in einer gemeinsamen Heftausgabe. An einem Gesamtwerk mitzuarbeiten, bei dem dennoch der eigene, individuelle Beitrag zu erkennen ist, sozusagen die eigene Handschrift, wird als sehr motivierend eingeschätzt und spricht damit über das kollaborative Arbeiten und die Zufriedenheit mit dem Ergebnis das Ownership positiv an.



Abbildung 8: Titelseite von ConJURE

## TutorInnen-Training und -Coaching

Neben der fachlichen Einarbeitung der Tutorinnen und Tutoren in das Versuchsthema ist auch das didaktische Training ein wichtiger Baustein für eine passgenaue, objektive und konsistente Unterstützung der einzelnen Studierendengruppen während des Versuchsablaufs. Aufbauend auf einem Trainingskonzept, das der Verfasser ab 2011 für studentische TutorInnen in den Fachbereichen Biologie und Physik (CoMeTT) aufgebaut hat und das mittlerweile in der uniweiten TutorInnenqualifizierung ‚QualiTut‘ aufgegangen ist, wurden weitere Aspekte hinzugenommen, die für die Unterstützung der Betreuenden bei ihrer Lehraufgabe wichtig sind. Aufgrund der beiden Lehrsprachen Deutsch bzw. Englisch, der kulturellen Hintergründe und der verschiedenen individuellen Erfahrungen mit Laborpraktika wurde als weiteres Themengebiet die Interkulturelle Kommunikation in das Trainingsprogramm aufgenommen.

Hier wurde besonders auf folgende Themen eingegangen:

- *Einstellungen*: Förderung von Neugier auf und Offenheit gegenüber andere Kulturen; wie nehme ich die hiesige Kultur wahr im Vergleich zu jener/n in meinem/n prägenden Kulturkreis/en (insbesondere im globalen Wissenschaftsbetrieb mit wechselnden Arbeitsstellen ist das nicht nur auf den Kulturkreis des Heimatlandes beschränkt)
- *Wissen*: welches Verhalten wird in unterschiedlichen Kulturkreisen von den beteiligten Gruppen und hierarchischen Strukturen erwartet? Z. B.: Sind Fragen erwünscht oder werden diese als offensiv angesehen? Wird eine Diskussion als Interesse oder als respektlose Anzweiflung aufgefasst?
- *Erkennen*: Anhand von Beispielen aus dem Teilnehmerkreis wird trainiert, solche Situationen zu erkennen.
- *Integrieren*: kulturelle Differenzen werden als Bereicherung angesehen, nicht unterdrückt, sondern aktiv kommuniziert und in die Diskussion integriert

Als didaktisches Mittel wird in der Interaktion mit Studierenden das ‚Prinzip der minimalen Hilfe‘ angewendet. In vielen Kulturkreisen ist es wichtig, das eigene Fachwissen umfassend zu präsentieren, um einen Expertenstatus zu erlangen. Im Fortgeschrittenenpraktikum nimmt man jedoch den Studierenden die Möglichkeit, ihre eigenen Strategien zu entwickeln, wenn man ihnen sofort fertige Lösungen präsentiert. Hier greift das Prinzip der minimalen Hilfe, das eben nur genau jene notwendigen Hinweise vorsieht, die den Studierenden erlauben, im Lösungsprozess einen Schritt weiterzukommen. Dazu wird die Technik des ‚Sokratischen Dialogs‘ verwendet, der auf gesichertem Wissen aufbaut und von dort aus neue Anwendungsgebiete der eigenen Kenntnisse und Fähigkeiten erschließt. Anstelle fertiger Antworten werden anhand von (Rück-)Fragen an die Studierenden die Antworten aus deren vorhandenem Wissen erarbeitet. Dadurch kommen die Studierenden nicht nur im Lösungsprozess weiter, sondern erleben ihre eigenen Kompetenzen und lernen die professionelle Herangehensweise an eine Fragestellung.

Mit Beginn der Corona-Pandemie konnten keine Trainings in der Gruppe durchgeführt werden. Deshalb wurden in den vergangenen vier Semestern individuelle Coachings in Verbindung mit dem fachlichen Training zum Versuch durchgeführt und durch Hospitationen während der Versuchsbetreuung ergänzt.

## Beurteilung der Lehrinnovation

Um die Auswirkungen der verschiedenen Interventionen auf die sieben Aspekte des Ownerships im Versuch genauer zu untersuchen, wurden halbstrukturierte Interviews mit Praktikumssteilnehmern durchgeführt. Die Zitate in den folgenden Abschnitten geben diese Rückmeldungen der Studierenden zu den einzelnen Aspekten wieder. Ergänzt werden diese Zitate durch die Ergebnisse aus den regelmäßigen Evaluationen zum Semesterende.

### Autonomie und Handlungsfreiheit

Beim Aspekt der Autonomie wurden insbesondere durch die Interaktivität der Jupyter Notebooks und die Versuchserweiterungen inkl. der Remote-Versuche (vgl. Abbildung 1) positive Veränderungen erwartet.

In vielen Interviews wurde der Aspekt der Zeiteinteilung angesprochen. Wünschenswerte Verhaltensweisen, wie das Entwickeln eigener theoretischer Fragestellungen, das Überprüfen dieser Fragestellungen am Experiment, eigene Recherchen zu Abweichungen zwischen theoretischer Vorhersage und den Messergebnissen, werden von den Studierenden durchaus als potentiell hilfreich identifiziert, aber mit Verweis auf die ‚knappe Zeit im Studium‘ nicht immer durchgeführt.

„Man merkt aber halt auch einfach, dass dieses ganze ‚Versuch vorbereiten‘, ‚Versuch durchführen‘, ‚sich Gedanken dazu machen‘, ‚Versuch auswerten‘, ‚Versuch aufschreiben‘ einfach eine wahnsinnig schwierige und zeitaufwändige Sache ist, die dann einfach, teilweise, im Praktikum an sich - schwer umzusetzen ist, es wirklich hundertprozentig sinnvoll durchzuführen. Also, dass halt einfach - dass man sich für so, oder - dass man bei sowas a) einen guten - zumindest groben Plan braucht; und b) aber auch einfach Zeit nehmen muss, es sinnvoll zu reflektieren. Was halt auch einfach - dass man - was man für seine spätere wissenschaftliche Arbeit, die man so sieht, auch vielleicht berücksichtigen sollte. Was halt im Praktikum immer nur schwer durchführbar ist, weil man einfach so viele andere Sachen zu tun hat und einfach so wenig Zeit dafür tatsächlich zur Verfügung hat.“

Objektiv betrachtet beträgt die *durchschnittliche* Arbeitszeit pro Versuch 33 h im Vergleich zur vorgesehenen Arbeitszeit laut ECTS-Aufteilung von 37-45 h. Phasenweise können sich aber höhere Belastungen ergeben, beispielsweise in der Klausurenphase am Ende der Vorlesungszeit.

Die freie Zeitwahl für die Durchführung der Remote-Versuche hat hier für eine Verbesserung der Situation und eine größere Autonomie gesorgt. Über 70% der Studierenden gaben in der am Semesterende stattfindenden Umfrage an, dass ihnen die freie Termineinteilung eine flexiblere Planung ihres Studiums ermöglichte.

„Dadurch, dass wir uns - das war jetzt glaube ich auch dem online dann geschuldet - dass wir uns die Zeiten selbstsetzen konnten, sind wir auf jeden Fall besser vorbereitet reingegangen.“

„Wegen der freien Terminwahl hatte ich auch dann jeweils genügend Zeit für die Berichte. Daher insgesamt höhere Qualität und mehr Motivation.“

Als insbesondere im Wintersemester 2021/22 wieder vermehrt synchrone Lehrveranstaltungen durchgeführt wurden, verringerte sich die zeitliche Autonomie, Termine für die drei Versuche zu finden, allerdings für einige Studierende wieder.

„Ich konnte keine Termine für die Versuche finden, welche nicht zu Überschneidungen mit Vorlesungen geführt haben, wodurch ich Vorlesungen ausfallen lassen musste. Mittwochs waren die Versuche immer ausgebucht und wenn man sie nach der letzten Veranstaltung am Tag erst nachmittags startet, zögen sie sich zu lange in den Abend.“

Der Remotebetrieb hatte weiterhin als positiven Nebeneffekt, dass auch der ‚Studienort‘ frei wählbar war. 73% der Studierenden empfanden dies als Flexibilisierung ihrer Studienplanung.

„Ich mein', ich bin, ich mach' ja hier ein Praktikum [hier ist nicht das Fortgeschrittenenpraktikum gemeint, sondern ein externes Praktikum in einem Betrieb] und dann haben wir den Tutoren geschrieben, es geht halt nur so oder so – irgendwie: das wären verschiedene Optionen und die waren da alle ganz entspannt. Sagten dann, es wäre cool, wenn wir das davor noch hinkriegen. Deshalb haben wir auch noch zwei Versuche gemacht, bevor ich das Praktikum gestartet hab'. Ganz cool, dass wir uns einfach, gefühlt, auch einen Tag wünschen konnten, der uns beiden gepasst hat. Weil man dann im Master auch gar nicht mehr so die gleichen Vorlesungen hört.“

Insofern hat sich die freie Zeitwahl an den Versuchen positiv auf die Autonomie ausgewirkt. Dies wurde auch durch frühzeitige Aufforderungen unterstützt, auch bereits Termine für die zweite Semesterhälfte zu verabreden, insbesondere im Hinblick auf die Prüfungsphase zum Ende der Vorlesungszeit.

Durch die begrenzte Anzahl an Remote-Versuchen war die Autonomie bei der Versuchsauswahl eingeschränkt. Generell hätten es die meisten Studierenden begrüßt, sich die Versuche selbst auswählen zu können, allerdings sahen sie auch keinen demotivierenden Einfluss durch die Beschränkung.

„Ja obwohl. Ich sehe es aber auch ein bisschen so, es gäbe bestimmt Versuche, die ich nie angeguckt hätte, die ich im Nachhinein aber ziemlich gut fand. Natürlich hätte ich auf jeden Fall den SALSA-Versuch [Radioteleskop] gemacht, den ich auch gut fand. Aber es gibt bestimmt auch einfach Themen, zu denen man vielleicht erstmal gezwungen werden muss, ehm, [lacht], dass man sich das vielleicht mal anschaut. Das, was man sonst vielleicht einfach gar nicht entdeckt hätte.“

Vor der Lehrinnovation umfassten die Aufgabenstellungen im Praktikum das komplette Spektrum, das mit den verfügbaren Aufbauten untersucht werden konnte. Für alternative Aufgabenstellungen war kein Freiraum.

„Aber ich glaube, das macht einfach Sinn, dass man das vorgibt, weil das einfach durch die Messapparatur, ja, meistens eingeschränkt ist.“

Durch die Erweiterung der Versuchsaufbauten wurden Optionen geschaffen, den Versuchsablauf und die Fragestellungen nicht komplett vorzugeben, sondern im Sinne der größeren Autonomie individueller zu gestalten.

Vor dem Wechsel in den Remote-Praktikums-Betrieb konnten die Studierenden aufgrund der Versuchserweiterungen alternative Fragestellungen auswählen. Auch hier scheint wieder das Zeit-Argument zumindest sehr wichtig für die Entscheidung zu sein, welcher Verlauf gewählt wird.

„Da ist es besser, man hat einen konkreten Plan, als dass man dann noch mehr Zeit damit verbringt sich zu überlegen, was man messen könnte.“

„Ich probier' schon gern Dinge aus. [...] Finde ich cool, finde ich cool, wenn dafür Zeit bleibt. Wenn es nicht zu krass durchgetaktet ist. Ja, gut, dann bauen wir das jetzt mal noch ein bisschen anders auf und schauen, was rauskommt.“

„Und auch, was man jetzt auch im FP konnte, oder, das war ja bei uns zumindest der Fall, wir konnten ja gewissermaßen dann entscheiden, wie tief wird dann jetzt in die Materie gehen und wie ausführlich wir das Ganze behandeln. Das finde ich jetzt eigentlich auch ganz angenehm; dass man dann halt auch, einfach wenn es gewisse Dinge gab, die einen mehr interessiert haben, dass man dann mehr in die Tiefe gehen konnte.“

„Also abgesehen davon, dass die meisten Versuche ja eigentlich ansprechender waren ... also es war einfach cooler, es war ein bisschen schwerer und man wusste vielleicht nicht direkt, was man erwartet was rauskommt.“

Hier wird es in Zukunft wichtig sein, die Versuchserweiterungen ‚so zeitneutral wie möglich‘ zu gestalten und vor allem auch in den Auswahlmöglichkeiten darzustellen. Ein Muster, das sich immer wieder in den Interviews findet, ist, dass Autonomie und Individualität in den Aufgabenstellungen oder bei den zu vermessenden Proben begrüßt wird, es andererseits aber auch beruhigend ist, wenn bereits konkrete Erfolgserlebnisse von Vorgängergruppen vorhanden sind. Es ist somit zu erwarten,

dass sich zukünftig immer mehr Studierende für alternative Versuchsthemen entscheiden werden, wenn ein gewisser Erfahrungsschatz durch die eher neugierigeren Studierenden gelegt ist.

„Also einerseits ist es natürlich angenehm, wenn Leute schon vor einem den Versuch gemacht haben; weil man dann eben weiß – oder - dass es im besten Fall funktioniert. Andererseits ist es natürlich immer spannend, wenn man selber was – was machen darf und irgendwie - ja genau - irgendwas Individuelles in seinem Versuch hat, wo man sich auch nicht auf - auf die Ergebnisse von Anderen verlassen kann; dass die einem Tipps geben können oder sowas.“

Unter diesem Aspekt kann auch ein Teil der Faszination für die neuen Astronomie-Versuche erklärt werden. Ist der erste Punkt in der Milchstraße vermessen, das erste Sonnenspektrum aufgezeichnet oder die erste Lichtkurve eines Exoplaneten-Transits aufgenommen, dann ist der grundsätzliche Messvorgang klar und reproduzierbar. Aber mit der Milchstraße ist glücklicherweise eine großräumige, komplexe Struktur verbunden, die an jedem Punkt andere Ergebnisse liefert; auf unserer Sonne können wir täglich spontane Veränderungen beobachten, während es eine wachsende Anzahl an bekannten Exoplaneten gibt, deren individuelle Parameter Gegenstand aktueller Forschung sind. Der Vorrat an unterschiedlichen ‚Proben‘ ist in der Astronomie quasi unerschöpflich. So wird für jede Versuchsgruppe aus einer Messung ihr eigenes, individuelles Mosaiksteinchen auf einem stabilen Fundament.

Im Versuchsverlauf wird die Autonomie am stärksten während der Datenaufnahme und bei der Datenauswertung wahrgenommen. Ein signifikanter Unterschied zwischen den eher theoretisch bzw. eher experimentell interessierten Studierenden konnte im Autonomie-Empfinden bislang nicht festgestellt werden.

„Also für mich ganz klar, wo Flexibilität und Kreativität gleichfalls zum Spiel kommen kann, ist eben während der Messung: dass man sich halt überlegt: „Kann ich jetzt so machen, kann ich aber auch so machen.“ Aber auch vor allem bei der Auswertung: wie stelle ich die Daten dar und was erzähle ich dann darüber. Und das hilft mir beim Lernen, weil ich das dann – mehr das Gefühl hab, dass ich mich auch tatsächlich reinvertiefe - reindenke, hier die Versuche zu verstehen.“

„Ich find's eigentlich 'nen sehr guten Mix, also wie wir schon vorher angesprochen haben, dass wir so einen gewissen Rahmen haben und auch ein Ziel. Aber im Endeffekt die Datenpunkte, die wir dann aufnehmen, wie viele, mit welcher Auflösung, über wie viele Kurven wir mitteln; solche Sachen halt. Das ist dann eher - wo wir dann - wo wir dann für das Ergebnis zuständig sind.“

„Und dann, je nachdem, wie die Ergebnisse sind, versucht man ja auch zu erklären, ja, warum ist das jetzt so und dann muss man natürlich selber gucken: gibt's andere Leute, die sowas schon gemessen haben und das Problem hatten. Also da sind wir natürlich selbständig.“

Für die geringer empfundene Autonomie bei der Erarbeitung der theoretischen Versuchsgrundlagen könnte das Vorkolloquium, also die Prüfung der Kenntnisse der Versuchsgruppen durch die Tutorin oder den Tutor vor der Durchführung der Messungen, eine Rolle spielen. Das zulässige Antwortspektrum ist durch den Tutor oder die Tutorin vorgegeben und daran orientiert sich eine effiziente Vorbereitung, weniger an den persönlichen Vorlieben und Interessen. Nichtsdestotrotz wird die Wichtigkeit einer gründlichen Vorbereitung für eine autonome Versuchsdurchführung durchaus betont.

„Da war die Vorbereitung immer schon auch sehr wichtig. Weil, dann hat der ganze Versuch halt insgesamt auch einfach mehr Spaß gemacht. Und wenn man sich dann nicht ordentlich vorbereitet hat, dann war's dann halt oder ist's halt dann so, dass du halt planlos vor dem Versuch sitzt und dann auch einfach nicht so viel mitnimmst. Also, wenn du da dann halt schon gewisse Stunden davor reinsteckst, dann macht das Ganze dann um einiges mehr Spaß.“

Hier sollen die Jupyter-Notebooks die eigenständige Einarbeitung in den Versuch unterstützen, indem sie besondere Aspekte des Versuchs kleinschrittig aufbereiten und damit die aktive Veränderung der Notebooks fördern.

„Aber das war ja so ein Jupyter-Notebook, da mach' ich meine ganzen Auswertungen drin und fand das eigentlich ganz lustig und hab' auch diese Fouriertrafo, hab' ich einfach direkt übernommen, aus dem Code da, mit meinen eigenen Daten.“

„Also, wenn man den Code vor allem halt nicht selber geschrieben hat. Und dann zu verstehen, was der Code macht, da ist Jupyter Notebook auf jeden Fall hilfreich.“

Für Studierende mit erst kurzer Programmiererfahrung muss darauf geachtet werden, dass die Auseinandersetzung mit den theoretischen Grundlagen Vorrang vor dem Verständnis der Programmierung hat.

„Wenn man keine Vorerfahrung besitzt werden selbst einfache programmieraufgaben sehr zeitaufwendig“

Die Inhalte der Jupyter-Notebooks sollen das Verständnis der physikalischen Inhalte unterstützen, nicht davon ablenken. Deshalb werden vermehrt interaktive Elemente wie numerische Eingabefelder oder Schieberegler eingesetzt, um ohne Programmierung die simulierten physikalischen Systeme gezielt beeinflussen zu können.

Für programmiererfahrene Nutzer sind die ausführlichen Kommentierungen zum Programmcode und die interaktiven Eingabeelemente eher überflüssig, aber wohl unkritisch:

„Ich denke zum - also zum Daten darstellen und so gefällt es mir sehr gut und um Sachen übersichtlich zu gestalten. Aber jetzt um selber zu programmieren gefällt mir - also nehm' ich jetzt doch lieber irgendwie 'ne gewöhnliche Programmierumgebung.“

## Unterstützung durch MentorInnen

Zweifelsohne sind die Tutorinnen und Tutoren in den Praktika der wichtigste externe Faktor für den Lernerfolg der Studierenden. Neben Fachwissen gehören auch didaktische Handlungsmöglichkeiten und Empathie zum Repertoire eines erfolgreichen Betreuenden. Die hilfreiche Unterstützung durch Mentoren ist ein sehr wichtiger Aspekt des *Ownerships* am Versuch. Je nach Ausprägung kann sie sich positiv oder negativ auf die Motivation auswirken:

„Also ich hab' es immer sehr positiv wahrgenommen, wenn man immer 'ne gute und volle Unterstützung hatte während dem Versuch von den Tutoren; dass man eben auch immer nachfragen konnte. Und wenn die Tutoren dann auch selber einfach interessiert und motiviert waren und dann nicht irgendwie demotiviert nebendran gesessen sind. Das, fand ich, hat mich dann selber immer demotiviert, wenn ich gemerkt hab', dass der Tutor ja selber auch nicht wirklich Lust hat, so.“

Neben der grundlegenden Aufgabe, die Studierenden in den einzelnen Phasen des Versuchsablaufs fachlich zu unterstützen, stellen die Tutorinnen und Tutoren, bewusst oder unbewusst, auch ein Rollenmodell der Physikerin oder des Physikers dar und geben spontanes oder formales Feedback zur Arbeit der Studierenden.

„Man hat ja kaum Feedback unter dem Semester und dann hat man ab und zu wenigstens mal einen Versuch und dann sagt dir ein Tutor: „Ja, gut gemacht!“ Und nicht nur so am Ende eine Klausur - oder gar nichts. Das ist schon eigentlich ganz nett.“

Die Versuchsgruppen im Fortgeschrittenen-Praktikum werden von Promovierenden und Postdocs der Experimentalphysik-Lehrstühle betreut, wobei jeweils ein Versuch/Thema einer oder einem Betreuenden zugeordnet ist. Im Hinblick auf die angemessene Unterstützung durch MentorInnen wäre eine Betreuung auch durch TutorInnen mit Erfahrungen in Themen der theoretischen Physik sehr bereichernd. Leider stehen dazu im Moment nicht genügend Betreuende zur Verfügung.

Da englischsprachige Betreuende seltener in Übungsgruppen oder Seminaren eingesetzt werden, spricht etwa eine Hälfte der Tutorinnen und Tutoren Deutsch als Muttersprache, die andere Hälfte betreut die Studierenden auf Englisch. Neben der sprachlichen Vielfalt stellen auch kulturelle Besonderheiten und teilweise geringe Erfahrungen mit Laborpraktika (in vielen Ländern gibt es keine Laborpraktika während des Studiums) Herausforderungen dar im Bestreben, eine hochwertige Betreuung und ein objektives Feedback über alle Versuche und Gruppen hinweg sicherzustellen.

Neben der Betreuung der Studierenden während der Messungen am Versuchsaufbau, finden noch weitere Besprechungen der Tutorinnen bzw. Tutoren mit ihren Versuchsgruppen statt: einmal zu Beginn der vierwöchigen Versuchsphase, zum *Kennenlernen des Versuchs*, dann eine Woche nach

dem Experiment, zur *Nachbesprechung* der Messergebnisse und Auswertungen, und schließlich zur *Endbesprechung* der endgültigen Version der schriftlichen Ausarbeitung oder des Artikels.

Die mündliche Abfragesituation im Vorkolloquium stellt hohe Ansprüche an die Tutorinnen und Tutoren, da Aussagen der Studierenden schnell und flexibel analysiert werden müssen. Hierzu wurden Guidelines für die Betreuenden (und auch die Studierenden) entwickelt, um konsistente Kriterien zu gewährleisten.

„AP [Anfängerpraktikum] und FP sind ja tatsächlich Situationen, die auch eher so Richtung Klausur gehen, also das, was man da sagt, schon richtig sein sollte. Es gibt da schon einen gewissen Druck, dass man was Richtiges erzählt und nicht nur, was man sich vielleicht mal so gedacht hat. Deswegen ist das schon eine andere Situation - ist schade auf jeden Fall und auch sehr tutorabhängig. Wenn man jetzt jemanden vor sich hatte, der auch nur so ein bisschen - auch Spaß dran hat und das versucht zu vermitteln. Dann gibt's halt Tutoren, die das sehr wichtig finden, dass man immer das Richtige sagt.“

„Das war die Stresssituation an den ganzen Praktika. Egal, wie gut ich vorbereitet bin, am Schluss kann es sein, dass es nicht passt und ich halt nächste Woche noch mal kommen muss.“

Die letzte Interviewpassage ist auch dahingehend interessant, als dass diese Studierende tatsächlich niemals ‚heimgeschickt‘ wurde und, zumindest für die beiden FP-Semester ist dies bekannt, jeweils die Bestnote erreicht hat. Es ist demnach wichtig, die Situation des Vorkolloquiums noch transparenter zu gestalten, ohne dabei letztlich einen detaillierten Fragenkatalog anzugeben, da sich die Studierenden selbständiger auf den Versuch vorbereiten sollen als beispielsweise noch im Anfängerpraktikum. Einen wichtigen Anteil spielt dabei die Kommunikation der Betreuenden mit den Studierenden. Dazu eine kurze Interview-Passage mit zwei Studierenden:

Micha: „Wir hatten auch richtig coole Tutoren!“

Alex: „Sehr lustige Tutoren!“

Micha: „Und da kann man dann auch nachdenken, wenn die Rahmenbedingungen stimmen, wenn man merkt, ich hab' jetzt die Antwort gegeben, die wichtig war; das ist jetzt 'ne follow-up question. Und die gucken nur, können wir's noch. Und wir dürfen ja auch Fragen stellen, die der Tutor da vielleicht nicht weiß. Aber es ist dann auch ok, wenn man es nicht weiß. Ist irgendwie nicht immer gegeben, habe ich das Gefühl.“

Um der Heterogenität bei den Tutoren und Tutorinnen entgegenzuwirken, werden solche Situationen jeweils auch aktuell in das TutorInnen-Training bzw. -Coaching integriert.

Ein interessanter neuer Aspekt trat bei der Online-Betreuung während der Messphasen an den Remote-Apparaturen auf. Durch die gemeinsamen Videokonferenzen konnten die TutorInnen ihren Studierendengruppen quasi über die Schulter blickend beim Experimentieren zuschauen. Die Einstellungen und Messergebnisse waren durch das Teilen des Bildschirms sehr deutlich ablesbar, was ja für die Interaktion der Studierenden untereinander essentiell ist.

„Was mir jetzt nicht so gut gefallen hat ist, dass bei den Online-Versuchen jetzt z. B. der Tutor die ganze Zeit mit dabei war direkt am Versuch. Das war, also, ja, da hatte man, irgendwie, also, ja genau, da fand ich es angenehmer, wenn man zum Beispiel beim SALSA-Versuch, da war man eben dann zu zweit in diesem BigBlueButton-Raum und hat halt, wenn irgendwas nicht geklappt hat, hat man den Tutor dazu gerufen. Bei uns zumindest. Das fand ich jetzt angenehmer. Also ich würde vermuten, wenn's jetzt in Präsenz stattfindet, dass da auch nicht der Tutor die ganze Zeit daneben hockt.“

Hier waren Hospitation und Coaching sehr effektiv, um die Betreuenden gezielt dabei zu unterstützen, dem Beratungsbedarf der Studierenden individuell nach dem Prinzip der minimalen Hilfe gerecht zu werden. Die folgenden Zitate aus Interviews und Umfragen zeigen das breite Spektrum sowohl des Betreuungsbedarfs als auch des Betreuungsangebots.

„Dass man eben generell alleine am Versuch arbeitet, aber wenn irgendwas jetzt nicht funktioniert, dass der Tutor eben - vielleicht eben abrufbereit steht, dass man ihm 'ne E-Mail schreiben kann, dass er mal in den BigBlueButton-Raum kommen kann, ehm, kommen soll; dass er einem weiterhilft, falls was nicht klappt. Aber natürlich ist es hilfreich, wenn der Tutor einem Tipps gibt, wie man was misst und wie man an was rangeht; aber irgendwie ist es dann auch manchmal eben hinderlich, wenn jetzt

der Tutor schon fünf Gruppen vor einem hatte und weiß, wie er das jetzt messen will oder wie es am besten geht und [Aufnahme unverständlich] und er einem dann direkt sagt, was man für Werte einstellen soll.“

„Bei dem FP und beim online fand ich, hat man jetzt nicht mehr so eine permanente Betreuung gebraucht, also, da fand ich, war das jetzt auch mit dem online völlig ausreichend; dass man dann nicht ständig Kontakt hatte zu seinem Tutor. Genau, das fand ich da eigentlich dann teilweise eher angenehmer, wenn man dann selber vor sich hin messen konnte.“

„Ja, genau, aber ich hab's dann eher immer positiv empfunden, wenn der Tutor dann da war und uns bei Fragen immer helfen konnte.“

Aufgrund der Diversität der betreuenden Promovierenden und Postdocs sind die ‚Interkulturelle Kommunikation‘ und das ‚Prinzip der minimalen Hilfe‘ wichtige Themen, um das Betreuungsangebot und die Nachfrage der Studierenden in Einklang zu bringen. Das Training in der Gruppe macht kulturelle Unterschiede direkt erfahrbar. Individuelle Strategien zum Umgang mit kultureller Diversität lassen sich gut im individuellen Coaching erarbeiten. Die individuell angepasste Unterstützung durch die Tutoren wirkt sich dadurch positiv auf das Ownership der Studierenden am Versuch aus.

### Gemeinsames Lösen und Zusammenarbeit

Die Eingebundenheit in eine Peer Group ist ein weiterer Baustein des Ownerships, da sie zu Diskussionen anregt, Anlässe zum Vergleich untereinander bietet und den Versuch als gemeinsame Erfahrung erlebbar macht. Die Arbeit in Zweiergruppen ist ein wichtiges didaktisches Element in den Physikalischen Praktika, nicht nur in Konstanz. In dieser Hinsicht unterscheiden sie sich von Praktika in anderen naturwissenschaftlichen Fächern, wie z. B. der Chemie oder der Biologie. Die Studierenden arbeiten dort häufig an Einzelarbeitsplätzen, weil das individuelle Erlernen manueller Techniken ein wesentliches Lernziel darstellt. Insofern hat sich das Abstandsgebot im Zuge der Corona-Hygienemaßnahmen besonders stark auf die physikalischen Praktika ausgewirkt, da Laborplätze hier gemeinsam genutzt werden. So war die Vielzahl der positiven Aspekte der Arbeit in einer Zweiergruppe der Hauptgrund, die Versuche nicht durch Einzelpersonen durchführen zu lassen, neben Sicherheitsaspekten und zeitlichen sowie personellen Beschränkungen.

Trotz der freien Zeitwahl ergab sich durch die reduzierte Versuchsanzahl im Remote-Betrieb der Effekt, dass alle Studierendengruppen eines Kurses jeweils einen der drei Versuche etwa zur gleichen Zeit, innerhalb eines Zeitraums von etwa 6 Wochen, durchgeführt haben. Diese Synchronisierung der Versuche hat zu einem verstärkten Austausch der Gruppen untereinander geführt, der im Präsenzbetrieb so nicht beobachtet wird, da mehr Versuchsthemen zur Verfügung stehen.

„Das war sehr cool. Wir haben beim Plätzchen backen in der großen Physikergruppe - da wurde jetzt die Quantisierte Leitfähigkeit hart diskutiert. Weil die natürlich auch welche in ihrer Bachelorarbeit schon hatten und das war eigentlich ganz cool, dass wir wirklich alle immer das gleiche hatten.“

„Aber ich würd' sagen, diese drei, vier Wochen, wo man sich mit diesem einen Versuch beschäftigt hat, da wurde dann schon auch mal diskutiert und auch einfach so untereinander ausgetauscht ...“

„... war manchmal schon Gesprächsthema beim Essen.“

Dieser Austausch über die Versuchsergebnisse im Praktikum, in der oben geschilderten Form eher informell und sicherlich auch durch eine hohe Emotionalität geprägt, soll in Form des Peer Review-Prozesses als Teil der wissenschaftlichen Qualitätssicherung intensiviert werden. Durch das Course Journal ‚ConJURE‘ soll das Vorgehen dabei möglichst realistisch nachvollzogen werden.

Das Journal ist einsatzbereit und der redaktionelle Ablauf wurde auch bereits getestet, vgl. Abbildung 8. Allerdings war es durch den Zeitaufwand für die Produktion der sechs Remote-Versuche in den vergangenen vier Semestern nicht möglich, das Journal adäquat einzuführen, sodass die Studierenden den Peer-Review-Prozess aktiv kennenlernen können.

Dennoch wird die Idee eines Course Journals sehr positiv aufgenommen.

„Also ich denke, das ist eine Win-Win-Situation, würde ich jetzt fast sagen, weil, einerseits lernt man halt dadurch einfach, wie man Paper schreibt und das ist ja, glaube ich, jetzt wichtiger für die zukünftige Laufbahn von 'nem Physiker. Vermutlich werde ich jetzt in Zukunft nicht mehr so viele Praktikumsberichte schreiben, aber vermutlich das eine oder andere Paper. [...] Wenn man dann den anderen Bericht liest, dann kann man da natürlich auch für sich selber was mitnehmen, wenn man sieht: okay, die haben das so oder so ausgewertet. Entweder: das mache ich beim nächsten Versuch auch oder das würde ich niemals so machen. Und auch, wenn man jetzt eben Feedback zu seinem Bericht bekommt, dann ist natürlich auch - also von anderen Studenten ist das vielleicht auch noch mal was Anderes als von dem Tutor.“

In diesem Zitat zeigt sich, dass der Aspekt der sozialen Eingebundenheit, der eigentlich durch die Intervention intendiert ist, nicht so stark im Vordergrund steht. Auch aus anderen Interviews geht hervor, dass vielmehr *persönliche* (Lern-)Erfolge und Vorteile gesehen werden, woraus natürlich ebenfalls eine Motivationssteigerung resultiert. Das Motiv des kollaborativen Unterstützens und Arbeitens scheint jedoch sekundär.

Sicherlich spielt in dieser Hinsicht die notwendige, gewollte Anonymisierung des gesamten Prozesses eine ausschlaggebende Rolle. Da es sich um einen Doppelblind-Peer Review-Prozess handelt, ist die Verbundenheit von Feedback-Gebern und Feedback-Nehmern nur wenig ausgeprägt, auch wenn die Ausarbeitung und die Rückmeldung darauf durchaus einen Mehrwert für die einzelnen Parteien darstellt.

Außerdem übernimmt die Tutorin bzw. der Tutor jeweils eine Vermittlerrolle, überprüft das Feedback auf Plausibilität und Vollständigkeit und ergänzt es gegebenenfalls noch. Die Betreuenden sind auch nach wie vor für die Punktevergabe im Hinblick auf den überarbeiteten Artikel zuständig.

Eine Bewertung der Artikel durch die Peers ist bislang nicht vorgesehen. Bewertungen durch Peers sind in der Literatur dokumentiert, besonders im Bereich der Sprach- und Computerwissenschaften, in den naturwissenschaftlichen Fächern aber nur sehr sporadisch anzutreffen. Mit ConJURE bietet sich ein Testfeld für die Durchführung verschiedener Evaluationsmethoden wie Selbst-, Peer- oder TutorInnen-Evaluierung an, auch wenn noch einige Vorbehalte auszuräumen sind.

„Aber sobald man halt weiß, dass jetzt - mein Mitbewohner den Bericht geschrieben hat, dann werde ich dem jetzt keine schlechte Punktzahl geben und dadurch den WG-Frieden riskieren. Obwohl er es vielleicht verdient hätte. Also ich denke, bewerten durch andere Studenten ist – also, ist denke ich schwierig, sobald man sich halt kennt untereinander.“

„Ja, ok, es ist natürlich jetzt ein Unterschied, ob die – ob andere Studenten den Bericht bewerten können oder nur durchlesen und Feedback geben. Also, bewerten, denke ich, wäre nicht fair.“

Hier kann auch das Doppelblind-Verfahren kein stichhaltiges Gegenargument liefern, da in einem kleinen Kurs mit überschaubarer Teilnehmerzahl die Verblindung schnell aufgedeckt werden kann:

„Also, das Problem ist natürlich, dass man halt unter den Studenten sehr gut vernetzt ist und deswegen: sobald man halt irgendwie 'ne Abbildung sieht, dann kann man schon einschätzen, wer die gemacht hat.“

Die Einbeziehung ähnlicher Lehrveranstaltungen, u. a. auch an anderen Hochschulen, wäre dabei eine Möglichkeit, den ReviewerInnen-Pool zu vergrößern.

Im Gespräch mit Kolleginnen und Kollegen wird auch oft befürchtet, dass sich mit dem Journal ein reichhaltiges ‚Vorlagenreservoir‘ ergibt. Der restriktive Ansatz zur Minderung des Problems ist zum einen die bestehende interne Plagiatskontrolle innerhalb der Physikalischen Praktika in Konstanz, welche die Artikel nach wie vor durchlaufen, sowie die Beschränkung des Leserkreises auf die Studierenden, die im jeweiligen Semester am Praktikum teilgenommen und diesen Teil bereits abgeschlossen haben. Der progressive Ansatz zielt darauf, dass sich durch die Erweiterungen an den Versuchen zahlreiche individuelle Fragestellungen ergeben und damit jeder Artikel ein separates Thema beleuchtet.

Zusammenfassend birgt ConJURE, vermutlich aufgrund der Anonymisierung im Peer Review-Prozess, weniger das Potential, die soziale Eingebundenheit der Studierenden zu erhöhen. Als Werkzeug im Studienverlauf kann es jedoch den Publikationsprozess sehr realistisch nachbilden und damit über die Faszination, das Kompetenzerlebnis und die Zufriedenheit mit dem fertigen Ergebnis zu einer Motivationssteigerung beitragen.

### Interesse und persönliche Relevanz

Das Interesse der Studierenden für die physikalischen Themen soll insbesondere durch die Erweiterung der Versuche gesteigert werden, da nun die Möglichkeit gegeben ist, eigene Schwerpunkte zu setzen und somit auch die persönliche Relevanz zu erhöhen. In den Interviews wurden auch immer wieder individuelle Anknüpfungspunkte an die Versuchsthemen genannt.

„Quantisierte Leitfähigkeit. Das ist ja tatsächlich irgendwie ein sehr aktuelles Thema, wie diese Schritte kreiert werden, warum die entstehen. Das fand ich dann schon spannend, ein bisschen nachzulesen von anderen Gruppen, was die da tatsächlich noch forschen und ob das jetzt wirklich quantisiert ist.“

„Da hät' man jetzt, wie gesagt, auch nicht die Möglichkeit gehabt, das SALSA-Teleskop zu machen, oder EFNMR. Oder Deterministisches Chaos – das ist tatsächlich etwas, was mich ja auch interessiert, aber - nicht unbedingt an der Uni gibt. Ich hab' mir mal überlegt, so Richtung-Chaosforschung – wie entsteht aus dem Chaos ein Schneekristall?“

Es entstehen also Anlässe zu eigenen Recherchen und auch die Motivation, sich mit Themen zu beschäftigen, die einem persönlich weniger zusagen, um dann jedoch bei bestimmten Aspekten tiefer einsteigen zu können.

„Die Versuche waren an sich interessant, sich bei EFNMRI durch die ganzen theoretischen Grundlagen zu "quälen" empfand ich als mühsam, allerdings bin ich mir der Notwendigkeit bewusst.“

Bei der Auswahl der Oberthemen der Versuche gibt es drei Kriterien, die für eine Umsetzung im Praktikum sprechen: 1) das Thema wird in einer der Arbeitsgruppen des Fachbereichs bearbeitet und bietet damit über die TutorInnen Anknüpfungspunkte zur aktuellen Forschung; 2) es handelt sich um einen grundlegenden physikalischen Effekt oder um ein Verfahren, das in vielen naturwissenschaftlichen Teilgebieten Anwendung findet; oder 3) es ist ein eher exotisches Thema, das weder in der Konstanzer Forschung noch in den grundlegenden Vorlesungen prominent vertreten ist und nicht zuletzt dadurch ein besonderes Interesse der Studierenden weckt. Wie in vielen Lebensbereichen, birgt natürlich auch in einem Physikpraktikum die Exotik einen großen Reiz, und damit ein großes Potential für eine Steigerung des Interesses. Dennoch muss das Verhältnis dieser drei Bereiche ausgewogen bleiben, um allen Interessengruppen Anknüpfungspunkte zu bieten.

„Deshalb find' ich's auf jeden Fall cool, gerade durch EFNMR hatten wir nochmal einen Einblick in die Medizin-Richtung; durch SALSA in die Astronomie-Richtung und so, deshalb, das ist schon sehr, sehr cool. Und in die Forschungsgruppen hier an der Uni kann man natürlich auch immer noch mal selber reingucken, wenn es einen interessiert, wie Martin [Name geändert] gesagt hat, durch einen HiWi oder so. Deshalb ist es auf jeden Fall wichtig, dass es noch andere Sachen gibt; und nicht nur – im FP auch noch - was wir eh irgendwie anders sehen können.“

„Ich mein', Konstanz ist keine so große Uni, hat dadurch natürlich ein kleineres – weniger, was die Forschungsgruppen machen – 'ne kleinere Vielfalt. Und deshalb ist es auf jeden Fall gut, wenn man auch noch andere Einblicke bekommt.“

Abgesehen von dieser Exotik wurden in den Interviews nur wenige konkrete Erklärungen genannt, warum die Astronomie ein Thema ist, das so viel Interesse hervorruft. Relativ häufig wurden noch die enormen Dimensionen in Raum und Zeit genannt. Vielleicht handelt es sich auch noch um ein Relikt aus der Zeit, als die gesamte Menschheit noch am Lagerfeuer saß und beim Blick nach oben vom Leuchten der Milchstraße geblendet wurde. Aber selbst heute noch fasziniert ein Sternenmeer vor einem dunklen Mittelgebirgshimmel oder der Klassiker, der Blick durchs Teleskop auf Mondkrater oder die Saturnringe.

„Das Teleskop war natürlich ein supercooler Versuch. Das habe ich jetzt auch von allen sehr zurückgemeldet bekommen, so von allen anderen Gruppen auch.“

„Den Astronomie-Versuch, den fand ich auch spannend, weil ich das bisher noch gar nicht hatte, tatsächlich, also. Im FP in X [vorheriger Studienort; anonymisiert] konnte man sich zwar auch so verschiedene Versuche zusammenwählen, aber da waren - die Astroversuche haben in dem Semester nicht stattgefunden. Und darum war das eigentlich dazu auch mein einziger Astroversuch jetzt in meinem ganzen Studium. Und das fand ich jetzt echt auch spannend.“

Bei der Auswahl und Konzeption der Remote-Experimente spielte natürlich die Bedienbarkeit über eine Internet-Verbindung eine entscheidende Rolle. Kriterium war, dass durch die Variation möglichst weniger Parameter dennoch eine hohe Variabilität in den Versuchsabläufen erreicht werden kann. Bereits bestehende Präsenzversuche sollten in ihrem Umfang nicht entscheidend eingeschränkt werden. So wurde beim SQUID-Versuch lediglich auf das Umfüllen von flüssigem Stickstoff verzichtet, welches selbst in Präsenz nur von einem einzelnen Gruppenmitglied durchgeführt werden kann. Beim EFNMR-Versuch entfiel lediglich das manuelle Wechseln der 500 ml-Probenflaschen. Bei beiden Versuchen ist durch die exaktere motorische Probenpositionierung sogar ein echter Mehrwert entstanden, der sich positiv auf die erreichbare Qualität der Messungen auswirkt. Der hohe mechanische Aufwand, insbesondere beim EFNMR-Versuch zum Wechsel der Probenflaschen, war aufgrund der bereits bestehenden Versuchsteile gerechtfertigt.

Die Versuche ‚Deterministisches Chaos‘ und ‚Quantisierte Leitfähigkeit‘ konnten nur deshalb rechtzeitig als Remote-Versuche umgesetzt werden (die ‚normale‘ Entwicklungszeit, bis ein Versuch erstmals im Praktikum eingesetzt werden kann, beträgt etwa 3-4 Semester), da viele der beeinflussbaren Parameter elektronisch kontrolliert und die Messgrößen ebenfalls elektronisch ermittelt werden, z. B. als Stromänderung bei der Quantisierung der elektrischen Leitfähigkeit. *Elektronische* Schaltungen zur Untersuchung chaotischen Verhaltens bergen häufig den Vorteil, dass sich durch Wahl der Bauteile die typische Frequenz der Phänomene so einstellen lässt, dass diese in Messzeiten von einigen Minuten abgebildet werden können. Dagegen besitzen *mechanische Systeme*, die ein analoges Verhalten zeigen, in der Regel geringere Eigenfrequenzen, sodass sich die Messzeiten in den Stundenbereich erstrecken, was für einen Praktikumsversuch zu lange ist. Der hohe Elektronikanteil war somit eine wichtige Voraussetzung für die Umsetzung als Remote-Versuch, nicht die Konsequenz daraus.

Solche eher ‚unscheinbaren‘ Versuchsaufbauten, stellen Studierende häufig vor die Herausforderung, die komplexen Zusammenhänge mit den physikalischen Effekten und theoretischen Grundprinzipien zu erkennen und sich diese zu erarbeiten. Mit dem reduzierten sensorischen Eindruck bei Remote-Experimenten ist diese Problematik nochmals größer, als dies bereits bei Präsenzversuchen der Fall ist.

„Salsa interessant, da Astrophysik sonst nicht wirklich auftritt im Studium. Zusätzlich ist Karte der Milchstraße ein interessantes Ergebnis. Efnmr interessant wegen Zusammenhang zu Medizin: Endlich verstehen, wie ein MRI funktioniert. Chaos und Leitfähigkeit beruhen sehr auf elektrischen Schaltkreisen, die in Remote nicht sehr nahbar sind m. M. nach. Insgesamt aber interessante Bereiche der Physik.“

Um die Studierenden beim Verständnis der Hintergründe zu unterstützen, wurden mittels Jupyter Notebooks und Videos zur Vorbereitung solche ‚versteckten‘ Aspekte gezielt angesprochen. Insbesondere die Funktion einzelner elektronischer Schaltkreise im Kontext der physikalischen Fragestellung wurde dadurch intensiver beleuchtet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Interesse an den Versuchen durch die Erweiterungen zugenommen hat und auch der Remote-Betrieb keinen negativen Einfluss auf diesen Motivationsfaktor im Ownership am Versuch hatte. Mit der Astronomie wurde ein neues Themengebiet im Praktikum erschlossen, das bei den Studierenden auf sehr großes Interesse stößt, auch wenn die persönliche Relevanz in der Regel geringer ist.

## Kompetenzerfahrung

Kompetenz zeigt sich in der Fähigkeit, Lösungen für ein Problem zu entwickeln und diese Lösungen dann auch umzusetzen. Um Kompetenzen bei der Durchführung von Versuchen zu entwickeln, müssen die Studierenden also optimal mit Materialien zur Aneignung des notwendigen Wissens und der Fertigkeiten versorgt werden, um Lösungswege zu finden und die Motivation muss unterstützt werden, eigene Lösungsstrategien auch anzuwenden (immer mit besonderem Blick auf das Zeitmanagement). Als dritter Punkt ist es auch wichtig, dass die Studierenden ihre bereits erarbeiteten Kompetenzen erkennen. Diese drei Aspekte – Befähigung, Motivation und Reflexion – sollen durch die interaktiven Jupyter-Notebooks, Videos zur Vorbereitung und zum Versuchsablauf, die Take Home-Kits und die Reflexionsfragen in den verschiedenen Versuchsphasen unterstützt werden.

Die Vorbereitung auf einen Versuch erfolgt in den Praktika überwiegend anhand von Literatur, die entweder zur Verfügung gestellt oder im fortgeschrittenen Studienverlauf auch selbst recherchiert wird. Mit den interaktiven Jupyter-Notebooks und den Videos werden nun Alternativen angeboten, die durchaus unterschiedliche Auswirkungen haben.

Im YouTube-Zeitalter sprechen Videos typische Sehgewohnheiten an und sollen zur weitergehenden Beschäftigung mit den weiteren Materialien motivieren.

„Trifft alles sehr zu [Umfrage zur Erleichterung bei Vorbereitung und Versuchsdurchführung], aber auf jeden Fall sollte die Videos nicht als einzige Vorbereitung zum Versuch benutzt werden. (Wurde ja auch nicht vorgeschlagen.)“

Darüber hinaus sind die Videos auch gut geeignet, bestimmte theoretische oder experimentelle Konzepte punktuell vorzustellen (z. B. goldene Regeln zur Modellierung eines Operationsverstärkers, Bedienung von Software oder Gerät). Die Darstellung erfolgt dabei direkt am konkreten Beispiel aus dem Versuch; es ist somit noch klarer, worauf sich die Vorbereitung der Studierenden konzentrieren soll.

„Tolle Videos zur Erklärung! Dann ist man auch besser vorbereitet auf die Messsoftware, als wenn man sie zum ersten Mal sieht. Jupyter Notebook war auch super“

„Da hat man halt erstmal - vorher schon mal gesehen, wie sieht das überhaupt aus? Wie sehen die Programme aus? Welche Knöpfe darf ich drücken!“

„Jupyter Notebook war super. Mit den Beispielen sogar anschaulicher als Videos.“

Anhand der Beispiele in den Jupyter-Notebooks konnten die Studierenden bestimmte Versuchsaspekte nicht nur nachlesen, sondern interaktiv untersuchen. Somit ist es auch immer nur ein kleiner Schritt, die erlernten Kompetenzen sofort anhand einer sinnvollen, da versuchsbezogenen, Aufgabe auszuprobieren.

In der Umfrage zum Semesterende gaben 80% der Studierenden an, dass ihnen durch die Jupyter-Notebooks Begriffe und theoretische Aspekte klarer geworden sind. Bei den Methoden zur Auswertung lag der Anteil sogar bei knapp 85%. Nahezu allen Studierenden halfen die Erläuterungen im Notebook, um den Programmcode besser zu verstehen.

Auch die Take Home-Kits sind als Katalysator gedacht, um die, meist zeitlich bedingte Hemmschwelle, sich aktiv mit den Inhalten des Versuchs zu beschäftigen, herabzusetzen. Wenn das Gerät griffbereit zu Hause in der geschützten Umgebung verfügbar ist, dann reicht bereits ein kurzer Zeitraum aus, um sich damit auseinanderzusetzen.

„Also ich bin ein Riesen-Arduino-Fan. Ich bin in meinem Praktikum - wir bauen gerade die Sachen auf Arduinos um, um es flexibler zu machen und so. Deshalb sind Sie da natürlich mit Arduinos bei uns an der richtigen Stelle. Das gefällt allen Physikern eigentlich schon ganz gut. Es sind genug Leute, die sich mit Arduinos selber zu Hause Projekte gebaut haben. [...] Aber es macht auf jeden Fall nochmal richtig Lust auf den Versuch.“

„Also, mir hat's jetzt Spaß gemacht, dass dann auch noch so ein Programmiererteil dabei war. Ich find', das ist auch notwendig heutzutage, dass man so gewissermaßen so ein bisschen programmieren zumindest kann. Und, das ist ja auch als Physiker eigentlich dann - also man ist dann halt später dann irgendwie attraktiver auf dem Markt, wenn man dann gewisse Programmierkenntnisse hat.“

Dieses Kompetenzerlebnis ist ein wichtiger Aspekt des Ownerships am Versuch. Es hängt stark davon ab, wie herausfordernd die gestellten Aufgaben im Versuch sind. So ist es sehr wichtig, dass für alle Studierenden mit ihren unterschiedlichen Kompetenzstufen passende Schwierigkeitsgrade und Entwicklungsmöglichkeiten verfügbar sind.

„Also ich finde – ja, so gewisse Hürden machen dann auch den Reiz aus, dass es vielleicht dann auch nicht so einfach ist, also man dann doch - Zeit reinstecken muss, um das zu überwinden. Aber ich finde es dann immer auch sehr zäh, wenn dann ein Versuch nur durch Hürden geprägt ist, sodass man dann nie ein richtiges Erfolgserlebnis hat, sondern dass man immer nur rumknobelt und - das führt dann meistens eher zur Demotivation, bei mir zumindest. Also ich find so – gewissermaßen – so ein paar so Knobelspitzen in so 'nem Experiment durchaus notwendig und interessant; aber bei zu viel - oder wenn man dann doch zu lang davorsitzt und dann, ja, nicht draufkommt oder zu viele Hürden sind oder so, dann führt das eher zur Demotivation und geht zum Gegenteil dann quasi.“

Hier kommt der dritte Aspekt der Kompetenzerfahrung zum Tragen, die (Selbst-)Reflexion. Welches Potential in solchen Reflexionen steckt, kommt immer wieder in Gesprächen am Versuch oder in Interviews zutage, bei der Frage, was man denn alles im Praktikum lernt. Oder wenn sich die Studierenden eine Frage, mit Unterstützung, aber doch auf Basis ihrer eigenen Kenntnisse, selbst beantworten können. In solchen Situationen wird ihnen bewusst, was sie bereits gelernt haben bzw. welche zusätzlichen Qualifikationen - wissenschaftliche Textverarbeitung, Zitieren, Datenauswertungsprogramme bedienen, Berichte und Artikel strukturieren, Diagramme aufbereiten, ... - sie sich neben den ‚eigentlichen Inhalten‘ des Versuchs, bereits angeeignet haben.

Bei der Vergewärtigung ihrer Fortschritte und Erfolge werden die Studierenden durch den Fragebogen zum Ownership unterstützt (Anhang B.). Hier reichen selbst kurze, schriftliche Antworten aus, um sich nochmals rückblickend mit dem jüngsten Versuchsabschnitt auseinanderzusetzen und die nächsten Schritte zu planen. Insofern ist das Endprodukt weniger wichtig als das Nachdenken über die Fortschritte. Alle Fragebögen zu einem Versuch ergeben dann ein Protokoll, das den Kompetenzgewinn während des Versuchszeitraums wiedergibt.

Eine solche zusammenfassende Betrachtung des Lernfortschritts erhöht dann auch die Zufriedenheit der Studierenden mit dem Ergebnis des Versuchs. So hatten sich diese Studierenden noch intensiv mit einer speziellen Eigenschaft der Attraktoren beim CHAOS-Versuch beschäftigt.

„Genau, also das war ein gutes Beispiel. Also insgesamt war es ein schlüssiges Bild und das hat Sinn gegeben und so, aber wir mussten dann eben doch noch rumspielen, um eben auf die Theorie zu kommen oder das mit der Theorie zu vereinen.“

Eher unbeabsichtigt hatten auch die Erweiterungen der Versuche, insbesondere die motorischen Probenpositionierungen, einen positiven Einfluss auf die Zufriedenheit mit den Ergebnissen des Versuchs, da durch sie die erreichbare Qualität bestimmter Messungen erhöht wurde. Die experimentellen Parameter konnten dadurch zeitsparender, präziser und reproduzierbar eingestellt werden. Außerdem konnten durch diese Quantifizierung der Einstellparameter die Messergebnisse nicht mehr nur qualitativ bewertet, sondern auch quantitativ mit den theoretischen Vorhersagen verglichen werden.

Auch bei der Kompetenzerfahrung brachten die Jupyter-Notebooks Vorteile, indem sie Zusammenhänge vielschichtiger und unter aktiver Beteiligung der Studierenden erklärten. Die Motivation dazu kam mit aus den Lernvideos. Die Erweiterungen der Versuche motivierten zur Umsetzung des Gelernten in die Praxis und erhöhten über die Qualität und Reproduzierbarkeit der Messungen die Zufriedenheit mit dem Gesamtergebnis und letztlich das Ownership am Versuch.

Es wurden somit durch die Lehrinnovation in allen 7 Bereichen des Ownerships am Versuch positive Effekte erzielt. Den breitesten Einfluss hatten zum einen die Versuchserweiterungen, vor allem beim studentischen Interesse für das Thema und mit den Remote-Versuchen bei der Autonomie; ebenfalls vielschichtig war der Einfluss der Jupyter-Notebooks, durch deren Interaktivität auf die Autonomie und das Kompetenzerleben, durch die aufbereiteten Informationen auf das Interesse am Versuch.

## Besondere Aspekte und Erfahrungen

Mit Beginn der Corona-Beschränkungen an den Hochschulen musste innerhalb weniger Tage ein völlig neues Praktikumskonzept entwickelt werden; ohne zu wissen, dass der Remote-Betrieb für die kommenden zwei Jahre funktionieren und aufrechterhalten werden muss. Das Sommersemester 2020 war dann auch von Aufbruchsstimmung in die digitale Lehre geprägt und von einem gewissen Staunen, was alles in kurzer Zeit umsetzbar ist und dass viele der ‚Notlösungen‘ durchaus positive Aspekte bieten. Diese Euphorie half über den enormen Aufwand und auch einen gewissen Druck hinweg, die ersten Remote-Versuche innerhalb von knapp drei Monaten soweit zu entwickeln, dass die Studierenden damit experimentieren und das FP innerhalb der normalen Vorlesungszeit abschließen konnten. Durch die kurze Entwicklungszeit musste die Erprobung der Versuchsaufbauten und die Optimierung dementsprechend während des laufenden Betriebs erfolgen. Gleichzeitig war absehbar, dass auch im Wintersemester 2020/21 wieder ein Remote-Praktikum stattfinden würde und dass dazu drei weitere Versuche notwendig sein würden, um fortgeschrittenen Studierenden ein zweites FP anbieten zu können. Die Entwicklung musste bei den komplett neuen Versuchen stufenweise erfolgen: vom Proof of Principle zum Prototypen, der dann mit den Studierenden getestet wurde. Daraus resultierend wurde die tatsächliche Implementierung bei beiden Versuchen nochmals komplett überarbeitet.

Beginnend mit dem Wintersemester 2020/21 ließ der Pioniergeist bei vielen Praktikumssteilnehmern nach, der Wunsch, zur ‚Normalität‘ zurückzukehren, wurde immer größer. Während diese ‚Normalität‘ bei vielen Vorlesungen nach und nach zurückkam, wurden auch die sechs Remote-Versuche kontinuierlich weiterentwickelt, um über die Bedienqualität und die Variabilität bei der Versuchsdurchführung eine gewisse ‚Normalität‘ im weiterhin notwendigen Remote-Betrieb zu erreichen. Erfolgte die Bedienung der einzelnen Versuche in der ersten Entwicklungsstufe noch per Kommandozeile, wurde in der zweiten Stufe jeweils eine passende graphische Benutzeroberfläche implementiert und schließlich im Wintersemester 2021/22 noch die Bedienung der jeweils benötigten Oszilloskopfunktionen in diese Oberflächen integriert.

Mit der Rückkehr zum Präsenzbetrieb im Sommersemester 2022 entfällt nun wieder die Möglichkeit, sich die Termine frei auszuwählen. Für viele Studierende, die das Praktikum nur aus der Zeit der Corona-Pandemie kennen, war diese Wahlmöglichkeit Teil der ‚Normalität‘ im FP. Hierbei war es interessant zu beobachten, in welcher kurzen Zeit sich aus Ausnahmesituationen eine solche ‚Normalität‘ entwickeln kann.

Die Trennung in Theoretische und Experimentelle Physik ist ein spannendes Phänomen, da beide Bereiche recht unterschiedliche Betrachtungs- und Herangehensweisen für dieselben Fragen und Probleme entwickelt haben. Es ist deshalb wichtig, den Studierenden bereits früh im Studium die Unterschiede, aber insbesondere auch das notwendige Zusammenwirken der beiden Bereiche aufzuzeigen, das Voraussetzung für innovative Ergebnisse ist. Erstaunt hat zu Beginn des Projekts, dass es im Bereich des Physics Education Research (PER) so wenige Forschungsergebnisse zu den Konsequenzen dieser Trennung für das Lernen und vermutlich auch das Lehren gibt.

Ein Grund dafür ist sicherlich, dass das Phänomen schwer zu modellieren ist. Bereits die beiden Diskursmodelle beinhalten eine Vielzahl an Aspekten, die jedoch nicht ausschließlich für die eine oder andere Präferenz zutreffen. So zeigte sich beispielsweise bei Auswertungen des PrefAPP-Fragebogens bei Studierenden mit experimenteller Vorliebe immer wieder auch als Muster eine

starke analytische Komponente in Bezug auf die Handlungen im Labor, die eigentlich dem Diskursmodell des Analytical Physics Student zugeschrieben werden. Hierbei kann es sich sowohl um Übergangserscheinungen in das eine oder andere Modell handeln als auch um eine Mischform der beiden Modelle. Möglicherweise müssen bei den Modellen aber auch lokale Gegebenheiten im Studium, z. B. die gemeinsame Vermittlung von Theorie und Experiment in integrierten Kursen, berücksichtigt werden.

Auch beim Ownership hat sich die Analyse der Auswirkungen der einzelnen Interventionen auf die verschiedenen Aspekte des Ownerships als sehr komplex herausgestellt, da die Interventionen zumeist mehrere Aspekte gleichzeitig ansprechen. In beiden Fällen, sowohl beim Ownership als auch bei der Analyse der Diskursmodelle, sind mit tiefergreifendem Verständnis und mehr Erfahrung im Bereich des PER sicherlich spannende Ergebnisse zu erwarten. In Bezug auf das Ownership ließen sich dann besonders effektvolle Interventionen identifizieren und bei den Diskursmodellen würde eine präzisere Charakterisierung gezieltere Unterstützungsmaßnahmen bei den Studierenden erlauben.

## Verstetigung der Interventionen

In der aktuellen Open Access-Publikation ‚Neue Lehre in der Hochschule‘ [Benz-Gydat, 2021] beleuchten die Autorinnen und Autoren die zahlreichen Aspekte der Verstetigung von innovativen Lehrprojekten. Dabei stellen sie unter anderem die These (1.04) auf, dass Innovation Prozesse sind, „bei denen es weniger um punktuelle Interventionen als um (Weiter-)Entwicklungen geht“, „die nicht mit der Projektlaufzeit beginnen oder enden“, sondern „eingebettet in längerfristige Handlungs-, Interaktions- und Wirkungsketten“ sind und häufig bereits über Jahre in den Köpfen der beteiligten Personen reifen. Dies trifft in vielen Teilen auch auf dieses Fellowship-Projekt zu.

Mit den zahlreichen Erweiterungen der bestehenden Versuche wurden didaktische Freiräume geschaffen, die vielfältig genutzt werden können: zur Steigerung der Autonomie der Studierenden, um individuelle Interessen anzusprechen und Kompetenzen zu entwickeln. Diese Versuche sind Bestandteil des Curriculums und werden damit weiterhin eingesetzt. Der erhöhte Wartungsaufwand durch die Vielzahl zusätzlicher Materialien lässt sich sicherlich zeitlich etwas strecken, da alternative Fragestellungen zum selben Versuch experimentell zugänglich sind, auch wenn ein Teil des Aufbaus vorübergehend nicht verwendet werden kann.

Die Remote-Versuche werden auch über die Pandemie hinaus für Studierende hilfreich sein. Durch den Fernzugriff auf die Experimente haben nun Studierende mit eingeschränkten oder erschwerten Zugangsmöglichkeiten zu den Laboren, beispielweise bei einer Schwangerschaft, bei gesundheitlichen Einschränkungen oder aus organisatorischen Gründen, die Chance, unkomplizierter am Fortgeschrittenenpraktikum teilzunehmen.

Der Einsatz von Jupyter-Notebooks setzt sich immer mehr in der Lehre durch. Dazu tragen auch die steigenden Anforderungen an die Datenkompetenz der Studierenden bei. Die Universität Konstanz hat die vom Stifterverband mit initiierte [Data Literacy Charta](#) unterzeichnet und mit dem „Advanced Data and Information Literacy Track“ (ADILT) ein studienbegleitendes Programm zur Daten- und Informationskompetenz für Studierende aller Fächer als Bestandteil ihrer Exzellenzstrategie ins Leben gerufen. Jupyter-Notebooks bieten hier einen organisatorisch wie didaktisch niederschweligen Ansatz, um Programmieraufgaben, Simulationen, Data Mining, ... in Lehrveranstaltungen zu integrieren. Speziell im Fortgeschrittenenpraktikum stellen sie mit ihrer Unterstützung sowohl im theoretischen Bereich als auch bei der Durchführung und Auswertung von Messungen und der Darstellung der Ergebnisse ein perfektes Medium dar, das den gesamten wissenschaftlichen Prozess in allen Phasen unterstützt. Die hohe Akzeptanz bei den Studierenden ist ein weiterer Aspekt, der die zukünftige Verwendung der Jupyter-Notebooks im Praktikum sicherstellt.

Das Course Journal ConJURe bedeutet natürlich einen zusätzlichen Aufwand, nicht zuletzt für die Tutorinnen und Tutoren, da der Peer Review-Prozess nicht nur überwacht, sondern auch ‚fristgerecht durchgesetzt‘ werden muss, da ja jeweils mindestens zwei Versuchsgruppen beteiligt sind. Der hohe Automatisierungsgrad durch die OJS-Software ermöglicht es aber, zahlreiche Aufgaben bereits vor Semesterbeginn zentral vorzubereiten. Auch die Bereitstellung und Unterhaltung des Servers durch die Universität stellt eine große Entlastung dar. Letztlich hängt der Erfolg von ConJURe davon ab, wie harmonisch sich der Peer-Review-Prozess in den Ablauf der Versuche im Verlauf des Semesters eingliedern lässt und ob er eher als zusätzliche Pflicht oder als Bereicherung gesehen wird. Die vielen positiven Rückmeldungen zur Idee stimmen jedenfalls zuversichtlich, dass in Zukunft viele ‚Volumes‘ erscheinen werden.

Von den Take Home-Kits für die aktuellen Präsenzversuche sind momentan noch nicht ausreichend viele Exemplare vorhanden, um alle Studierenden im wöchentlichen Rhythmus versorgen zu können. Der Aufwand für die Produktion weiterer Take Home-Kits, für die Aus- und Rückgabe der Kits sowie Ergänzungen und Reparaturen ist nicht gering und muss gegen die Vorteile bei der Vorbereitung der Studierenden in einem Teilaspekt des Versuchs abgewogen werden. Für das kommende Präsenzsemester ist deshalb zunächst eine Ausleihe auf freiwilliger Basis vorgesehen, die Beschäftigung mit dem Take Home-Kit geht also nicht in die Wertung mit ein. So können weitere Erfahrungen zu den einzelnen Inhalten der Kits gesammelt werden, um einen guten Kompromiss zwischen Funktionsumfang und Wartungsaufwand zu finden und damit ein tragfähiges Konzept für den regelmäßigen Einsatz im Praktikumsbetrieb zu entwickeln.

Um weitere Lehrende an der Universität an den Erfahrungen aus dem Projekt teilhaben zu lassen, ist für das Wintersemester 22/23 ein Vortrag in der ‚Hochschuldidaktik über Mittag‘-Reihe des Academic Staff Development der Universität Konstanz im Rückblick auf das Fellowship geplant.

## Übertragbarkeit der Lehrinnovation

Jupyter-Notebooks werden bereits in vielen Lehrveranstaltungen und über zahlreiche Disziplinen hinweg eingesetzt. Da es sich letztlich um reine ‚Container‘ handelt, in denen Text- und Multimedia-Elemente mit ausführbarem Programmcode kombiniert werden, lassen sich Aktionen und Informationen nahezu beliebig miteinander verbinden. So entstehen Dokumente, die alle Lehr-/Lernsituationen unterstützen, bei denen ein digitales Endgerät (in der Regel mit Browser) zur Verfügung steht. [Teaching and Learning with Jupyter](#) [Barba, 2019] gibt hierzu einen umfassenden Einblick in bereits erprobte Anwendungsfälle.

Die größte Hürde für die Implementation von Jupyter in die eigene Lehre ist die notwendige Infrastruktur, um Jupyter-Notebooks anzuzeigen. Es gibt dazu zahlreiche Möglichkeiten, die jedoch, insbesondere für weniger IT-affine Lehrpersonen, alle mit einer gewissen Lernkurve verbunden sind. Das Schöne ist, dass diese Hürde immer geringer wird, da sich auch das Projekt Jupyter weiterentwickelt. Grundsätzlich kann die Infrastruktur lokal für einen einzelnen Rechner und Benutzer installiert werden (z. B. mittels Anaconda-Distribution), oder mehrere Benutzer greifen auf einen lokalen Server zu (an vielen Hochschulen gibt es bereits JupyterHubs o. ä.) oder man wählt einen kommerziellen Anbieter, der einen solchen Service anbietet (für Lehrveranstaltungen häufig auch kostenlos).

Bei den Lerninhalten muss man das Rad nicht zwingend neu erfinden. Für viele gängige Programmiersprachen gibt es Einführungen in Form von Jupyter-Notebooks, sodass die erlernten Sprachelemente sofort ausprobiert werden können. Sind grundlegende Programmierkenntnisse in der gewünschten Sprache vorhanden, rücken fachliche Aspekte in den Mittelpunkt. In vielen Disziplinen stehen Programm-Bibliotheken zur Verfügung, die die Arbeit in einem Themengebiet erleichtern. Häufig gibt es dafür Beispielanwendungen, die sich für die Vorstellung in

Lehrveranstaltungen eignen. [github.com](https://github.com) ist für die Suche nach passenden Bibliotheken ein guter Ausgangspunkt.

Konkret möchte ich die Jupyter-Notebooks zukünftig auch in meiner Vorlesung und dem Praktikum zur Mess- und Steuerungstechnik einsetzen. Die Vorlesungsinhalte sollen in Jupyter-Notebooks überführt werden. Teile der während der Corona-Pandemie entstandenen Lehrvideos sollen ebenfalls integriert werden, sodass die asynchrone Verwendung der Notebooks möglich wird. Zusätzlich sollen über eine Hardware-Plattform, vermutlich ESP32 mit MicroPython, auch direkt in der Vorlesung/zu Hause praktische Messungen durchgeführt werden, um theoretische Vorhersagen zu überprüfen. Hier wird interessant sein zu beobachten, in welcher Weise solche Praktikums-Elemente die Vorlesung bereichern und wo das ‚optimale Mischungsverhältnis‘ liegt.

Course Journals bieten sich an, wenn die im Rahmen einer Lehrveranstaltung produzierten, studentischen Texte, Bilder, Audio- oder Videosequenzen als Gesamtwerk der Teilnehmenden dargestellt werden sollen. Sie helfen ebenfalls bei der Organisation von Peer Review-Prozessen. Mit Open Journal Systems (OJS) steht eine Software-Installation kostenlos zur Verfügung, die die redaktionelle Verwaltung eines solchen Journals unterstützt. An vielen Hochschulbibliotheken wird eine OJS-Instanz eingesetzt, um Online-Zeitschriften anzubieten. Eventuell kann man ein solches System mitbenutzen, um ein Course Journal für die eigene Lehrveranstaltung anzubieten ([OJS-Standorte im deutschsprachigen Raum](#)).

Ein Zusammenschluss mehrerer Kurse mit ähnlichem Thema zu einer gemeinsamen Publikation bietet darüber hinaus den Vorteil, dass der Peer Review-Prozess nicht auf die Kurs-Teilnehmer beschränkt ist, was häufig die Gefahr birgt, dass die Verblindung aufgedeckt wird. Ideal wäre dabei eine hochschulübergreifende Zusammenarbeit.

## Unterstützung in der Hochschule

Das Interesse von Seiten des Fachbereichs Physik war sehr groß. Beim ‚Tag der Lehre‘ im Februar 2019 konnte ich das aktuelle Konzept des Fortgeschrittenenpraktikums und die geplanten Lehrinnovationen den Dozierenden des Fachbereichs und Vertretern der Fachschaft präsentieren. Die verstärkte Nutzung digitaler Elemente, wie z.B. der Jupyter-Notebooks, wurde als sinnvoll erachtet, um die Digital-Kompetenz der Studierenden zu stärken. In der anschließenden Diskussion wurden auch Ideen entwickelt, um eine hochwertige Betreuung der Versuche zu garantieren. Daraus wurde schließlich ein Patenschafts-System geboren, bei dem die Professorinnen und Professoren der Experimentalphysik die Patenschaft für ein oder mehrere Versuche übernahmen. Durch die enge Anbindung an die wissenschaftliche Forschung der experimentellen Arbeitsgruppen wird sichergestellt, dass jeweils die qualifiziertesten Tutorinnen und Tutoren die Betreuung des jeweiligen Versuchs übernehmen. Außerdem ist so auch garantiert, dass Verbesserungen am Versuchsablauf oder an den Aufbauten schnell erkannt und umgesetzt werden können.

Neben dieser organisatorischen Unterstützung gab es auch noch Investitionen des Fachbereichs in eine neue, einheitliche Rechnerinfrastruktur. So wurde jeder Arbeitsplatz mit einheitlichen Desktop-PCs ausgestattet. Dies verbesserte nicht nur die verfügbare Rechenleistung an den einzelnen Arbeitsplätzen, z. B. für die Ausführung von Jupyter-Notebooks oder das Abspielen von Lernvideos, sondern erleichtert auch erheblich die Verwaltung und Aktualisierung der Rechner.

Auch bei der Erweiterung der Versuche war der Fachbereich, ergänzend zu den Mitteln aus dem Fellowship, stark beteiligt. Neben der finanziellen Unterstützung beim Aufbau der Remote-Experimente fanden viele hochwertige Geräte und Bauteile aus den Forschungslaboren eine sinnvolle Weiterverwendung im Fortgeschrittenenpraktikum.

Das Constance Journal of Undergraduate Research – ConJURe wird auf dem OJS-Server des Kommunikations-, Informations-, Medienzentrum (KIM) an der Universität betrieben. Das Team ‚Open Access Zeitschriften‘ war sofort sehr hilfsbereit bei der Planung des Journals, bei der Einrichtung der Zeitschrift und im laufenden Betrieb.

‚Hochschuldidaktik über Mittag‘ ist eine Vortragsreihe des Academic Staff Development und der Arbeitsstelle Hochschuldidaktik, die allen Lehrenden der Universität Konstanz einen Einblick in verschiedene Themen rund um die Hochschullehre bietet. Ich wurde seitens der Organisatorin eingeladen, das Fellowship-Projekt in diesem Rahmen vorzustellen. Der Vortrag ist für das Wintersemester 22/23 geplant.

## Austausch im Rahmen des Fellowships

Das erste Fellowtreffen in Stuttgart bei der Baden-Württemberg-Stiftung habe ich noch sehr gut in Erinnerung. Zum einen war die Stimmung sehr familiär, man fühlte sich sofort in den Kreis der Fellows integriert. Andererseits war das Treffen aber auch von einer hohen Professionalität geprägt, sowohl was die Organisation anbelangte, als auch im gesamten Ablauf. Alle Fellows hatten zwar unterschiedliche Projekte, aber als gemeinsames Ziel, die Auswirkungen der eigenen Lehre zu hinterfragen, die wichtigen Änderungen anzugehen und dazu bereitwillig Erfahrungen mitzuteilen oder anzuhören.

Konkrete Hilfe zu den einzelnen Aspekten meines Projektes hatte ich damals noch wenig bekommen, so dachte ich zumindest. Ich konnte viele digitale Werkzeuge kennenlernen, die andere Fellows in ihrer Lehre einsetzen: Wikis, Lehrvideos, digitale Whiteboards, Podcasts, Metaplaner, Virtual Reality-Anwendungen, auch einige Simulationen, ... und vor allem die didaktischen Überlegungen und Interventionen, die die reinen Werkzeuge begleiten müssen. Hier halfen die Karteikarten mit den Beschreibungen der Fellows, den Überblick zu behalten und die Kontakte zu intensivieren.

Ich kannte damals auch bereits Projekte, die zentrale Aspekte von Laborpraktika durch digitale Mittel zu ergänzen oder ersetzen versuchten, z. B. Interaktive Bildschirm-Experimente (IBE), Online-Simulationen, Remote Labs. Das erste Fellowtreffen gab hier den Anstoß, mich intensiver mit dem Einsatz digitaler Elemente im Rahmen von Praktika zu beschäftigen, angeregt durch die vielen positiven Erfahrungen in anderen Lehrveranstaltungen. Ohne diese konkreten Erfolgsgeschichten hätte ich es dann mit Beginn der Corona-Pandemie wohl nicht in Erwägung gezogen, dass ein facettenreiches Experimentieren auf Niveau eines Fortgeschrittenenpraktikums möglich sein kann, ohne dazu ein Labor zu betreten. Die bereits von den Mitfellows bekannten Anwendungsmöglichkeiten und deren didaktische Unterstützung schufen Freiräume, um mich auf die Konzeption der Remote-Experimente konzentrieren zu können.

Über die Fellowtreffen haben sich auch die Kontakte zu den Mitfellows in anderen Physikpraktika intensiviert. In der Regel gibt es kein Problem, das nur einmal oder lokal auftaucht. Durch die ähnlichen Lernumgebungen der Praktika sind zu vielen Themen bereits Beispiele vorhanden, an denen man sich orientieren kann. Lösungen für technische Probleme lassen sich häufig direkt übertragen, in anderen Bereichen muss man zumindest bei den Überlegungen nicht ganz vorne beginnen.

Die Diskussionen zu den Fortschritten in den einzelnen Projekten sind ein wertvolles Instrument der Qualitätssicherung. Die Rückmeldungen der anderen Fellows betrachten die Maßnahmen jeweils aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Über den zusätzlichen Erfahrungsschatz der Fellows kann die Entwicklung des eigenen Projekts viel weiter in die Zukunft projiziert und die Konsequenzen der eigenen Überlegungen frühzeitig eingeschätzt werden.

## Danksagung und Schlusswort

Als Schlusswort möchte ich nochmals zwei Thesen aus ‚Neue Lehre in der Hochschule‘ [Benz-Gydat, 2021] aufgreifen:

„Innovationen sind überbewertet und schaffen sich selbst ab, sofern sie in die ‚Regellehre‘ übergehen. [...] Es geht nicht so sehr um ‚Inventionen‘, sondern um eine Weiterentwicklung von Bestehendem“.

Sinngemäß hoffe ich, dass sich die Innovationen dieses Fellowships bald selbst abschaffen, dass der Regelungsmechanismus jedoch auch weiterhin aktiv bleibt um auf kleine Störgrößen in der ‚Regellehre‘ reagieren zu können.

Ob Innovationen überbewertet werden, soll hier nicht diskutiert werden.

Keinesfalls überbewerten kann ich jedoch die Unterstützung, die ich bei der Durchführung des Projekts erfahren durfte.

So danke ich dem Stifterverband und der DATEV-Stiftung Zukunft für die Förderung im Rahmen ihres gemeinsamen Programms ‚Fellowships für Innovationen in der Hochschullehre‘, für die finanzielle Unterstützung zur Umsetzung des Projekts und die Austauschmöglichkeiten bei den Treffen mit den anderen Fellows.

Allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern am Fortgeschrittenenpraktikum, Studierenden sowie Betreuenden, danke ich für die Offenheit und Experimentierfreudigkeit gegenüber den Innovationen und die motivierenden positiven und korrigierenden kritischen Rückmeldungen.

Den Mitgliedern des Fachbereichs danke ich für den Austausch zum Projekt, insbesondere zur Umsetzung der Remote-Versuche in den vergangenen vier Semestern, und die Unterstützung bei der Erweiterung der Versuche.

Für die Hilfe bei der Erstellung und beim Betrieb des Course Journals ConJURe danke ich dem Open Science Team des Kommunikations-, Informations-, Medienzentrums KIM der Universität Konstanz.

Dr. Eskil Varenius betreut als Systemadministrator die drei ferngesteuerten SALSA-Radioteleskope. Durch seine Gastfreundschaft und die perfekte Wartung der Teleskope konnten von Beginn der Pandemie an viele Konstanzer Studierende einen Teil ihres FPs gefühlt an der schwedischen Westküste durchführen. Tack så mycket!

## Literaturverzeichnis

- Barba, L. A. et al. 2019. Teaching and Learning with Jupyter.  
<https://jupyter4edu.github.io/jupyter-edu-book/> (Abgerufen: 26.03.2022)
- Benz-Gydat, M. et al. 2021. Neue Lehre in der Hochschule: Verstetigung innovativer Lehrprojekte in sozialen Hochschulwelten. wbv Publikation.
- Danielsson, A. 2011. Characterising the practice of physics as enacted in university student laboratories using “Discourse models” as an analytical tool. *Nordic Studies in Science Education*. 7, 2 (2011), 219.
- Dounas-Frazer, D. R. et al. 2017. Student ownership of projects in an upper-division optics laboratory course: A multiple case study of successful experiences. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 13, 2 (Dez. 2017), 020136.
- Koponen, I. T. 2007. Models and Modelling in Physics Education: A Critical Re-analysis of Philosophical Underpinnings and Suggestions for Revisions. *Science & Education*. 16, 7 (2007), 751–773.
- Ryan, R. M. and Deci, E. L. 2000. Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*. 25, 1 (Jan. 2000), 54–67.
- Shuttleworth, K. et al. 2019. Course Journals: Leveraging Library Publishing to Engage Students at the Intersection of Open Pedagogy, Scholarly Communications, and Information Literacy. *Partnership: The Canadian Journal of Library and Information Practice and Research*. 14, 2 (2019).
- Stranack, K. 2017. Using OJS and OMP for Open Pedagogy. Public Knowledge Project.  
<https://pkp.sfu.ca/2017/02/08/using-ojs-and-omp-for-open-pedagogy/>  
(Abgerufen: 20.03.2022)
- Wilcox, B. R. and Lewandowski, H. J. 2017. Students’ views about the nature of experimental physics. *Physical Review Physics Education Research*. 13, 2 (2017), 020110.
- Zwickl, B. M. et al. 2013. Epistemology and expectations survey about experimental physics: Development and initial results. *Physical Review Physics Education Research*. 10, 1 (2013), 010120–1 – 14.

## Anhang

### A. Fragebogen PrefAPP -

#### Preferences for Analytical and Practical Physics

Die *Fragen 1-4* beleuchten die Selbsteinschätzung der Kenntnisse und Fähigkeiten in den genannten Bereichen der Versuchsdurchführung. Die *Fragen 18-21* erfassen das allgemeine Interesse für theoretische und Experimental-Physik, sowie die zukünftigen Wünsche, dieses Interesse umzusetzen. Zusammen ermöglichen diese 8 Fragen eine Einschätzung, ob Vorlieben für die theoretische oder Experimental-Physik vorliegen oder ein eher ausgeglichenes Verhältnis besteht.

Die *Fragen 5-17* beleuchten einzelne Aspekte der Diskursmodelle zum Analytical Physics Student bzw. Practical Physics Student [Danielsson, 2011]. Die Fragen sind dabei bewusst gemischt, was die Aspekte der beiden Modelle betrifft, um eine Polarisierung zu vermeiden. Die Fragen 5, 7, 9, 11, 13, 15 und 16 fragen Aspekte ab, die dem Practical Physics Student zugeordnet sind, 6, 8, 10, 12, 14, 17 entsprechend dem Analytical Physics Student.

Auf alle Fragen gibt es 5 Antwortmöglichkeiten: *Trifft zu / Trifft eher zu / Unentschieden / Trifft eher nicht zu / Trifft nicht zu*.

1. Bei der Vorbereitung der theoretischen Grundlagen eines Versuchs kann ich meine Kenntnisse und Fähigkeiten wirkungsvoll einbringen.
2. Bei der Durchführung der Messungen zu einem Versuch kann ich meine Kenntnisse und Fähigkeiten wirkungsvoll einbringen.
3. Bei der Datenanalyse zum Versuch kann ich meine Kenntnisse und Fähigkeiten wirkungsvoll einbringen.
4. Bei der Darstellung der Versuchsergebnisse kann ich meine Kenntnisse und Fähigkeiten wirkungsvoll einbringen.
5. Ich baue gerne Dinge aus Einzelteilen zusammen.
6. Ich analysiere gerne physikalische Systeme und entwickle dafür theoretische Modelle.
7. Es bereitet mir Freude, mir elektronische oder mechanische Geräte auszudenken und dann aufzubauen (alle dafür notwendigen Mittel seien vorhanden).
8. Im Labor arbeite ich sehr strukturiert. Herumprobieren am Versuchsaufbau benötigt zu viel Zeit und ist nicht zielführend.
9. Ich weiß meist intuitiv, wie ich ein Gerät bedienen muss.
10. Bevor ich Änderungen am Versuchsaufbau oder den Messgeräten vornehme, überlege ich mir, welche Auswirkungen dies haben wird.
11. Im Labor kann man nicht noch lange nachlesen, wie alles zusammengehört und bedient wird. Das muss man im Gefühl haben und ausprobieren.
12. Im Labor arbeite ich gerne nach einer vorgegebenen Anleitung.
13. Während der Messungen ist keine Zeit für tiefgreifende Analysen und Verständnis. Das wird dann in der Datenauswertung wichtig.
14. Der kreative Teil eines Versuchs besteht in der Ausarbeitung eines theoretischen Modells und der Analyse der Daten. Die Durchführung der Messungen folgt einer Route, die durch die verwendeten Messgeräte vorgegeben ist.
15. Der Umgang mit Messgeräten bereitet mir Freude.
16. Für den Erfolg im Praktikum benötige ich andere Kenntnisse und Fertigkeiten als in Vorlesungen, Übungen oder Seminaren.
17. Ich besitze Programmierkenntnisse und wende diese im Rahmen meines Studiums für Simulationen, Datenauswertung, o. ä. an.
18. Ich interessiere mich für Themen und Methoden der theoretischen Physik.
19. Ich interessiere mich für Themen und Methoden der Experimentalphysik.
20. Ich kann mir vorstellen, mich in Zukunft schwerpunktmäßig mit Themen und Methoden aus dem Bereich der theoretischen Physik zu beschäftigen.
21. Ich kann mir vorstellen, mich in Zukunft schwerpunktmäßig mit Themen und Methoden aus dem Bereich der Experimentalphysik zu beschäftigen.

## B. Reflexionsfragen Ownership

Die Fragen 1-8 zielen darauf ab, die Studierenden zur Reflexion über die Fortschritte in den einzelnen Versuchsphasen anzuregen. Primär soll die Kompetenzerfahrung erhöht werden, durch das Ansprechen einzelner Bereiche soll aber auch nochmals der Fokus auf diese Einzelaspekte des Ownerships gelegt werden. Die Fragen 1-3 sollen die Studierenden dazu anregen, ihre neuen Kenntnisse und Fähigkeiten zu verbalisieren, Frage 4 spricht die Kompetenzerfahrung an. Die sozialen Interaktionen mit ihrer Gruppe und den Betreuenden sind Gegenstand von Frage 5 und 6. Frage 7 zielt auf die erfahrene Begeisterung und die Zufriedenheit mit den Ergebnissen ab. Frage 8 soll anregen, die weiteren Ziele für den Versuch zu planen und zeitlich einzuordnen.

In den Fragen 9-12 werden dann die Marker ‚Interesse‘, ‚Begeisterung‘, ‚Zufriedenheit‘ und ‚Kollaboratives Lösen‘ abgefragt, um deren Entwicklung während des Versuchs zu analysieren und ggf. mit Ereignissen aus den Fragen 1-8 in Verbindung bringen zu können.

1. Mein Wissen über die theoretischen Grundlagen und die Modellierung habe ich in folgenden Bereichen erweitert:  
Freitextfeld
2. Mein Wissen über den Versuchsaufbau und die experimentellen Methoden habe ich in folgenden Bereichen erweitert:  
Freitextfeld
3. Mein Wissen über die Datenauswertung und die Darstellung der Ergebnisse habe ich in folgenden Bereichen erweitert:  
Freitextfeld
4. Mit diesen individuellen Ideen, Fähigkeiten, Beiträgen konnte ich mich in den Versuch einbringen:  
Freitextfeld
5. Hierbei haben wir in der Versuchsgruppe gut bzw. weniger gut zusammengearbeitet:  
Freitextfeld
6. Diese Hilfestellungen seitens der Betreuenden haben mir geholfen bzw. gefehlt:  
Freitextfeld
7. Diese Ereignisse oder Erfahrungen sind mir besonders (z. B. freudig, frustrierend, überraschend, eindrucksvoll, ...) in Erinnerung:  
Freitextfeld
8. Dies sind meine nächsten Ziele und Schritte für den weiteren Versuchsablauf:  
Freitextfeld
9. Wie groß ist Ihr Interesse für den Versuch? Wählen Sie einen Wert zwischen 5 (sehr großes Interesse) und 0 (kein Interesse).  
sehr großes Interesse [5] [4] [3] [2] [1] [0] kein Interesse
10. Wie hoch ist Ihre Begeisterung für den Versuch? Wählen Sie einen Wert zwischen 5 (sehr hohe Begeisterung) und 0 (keine Begeisterung).  
sehr hohe Begeisterung [5] [4] [3] [2] [1] [0] keine Begeisterung
11. Wie stark beeinflusst Ihre Mitarbeit den Verlauf des Versuches? Wählen Sie einen Wert zwischen 5 (sehr hoher Einfluss) und 0 (kein Einfluss).  
sehr hoher Einfluss [5] [4] [3] [2] [1] [0] kein Einfluss
12. Wie zufrieden sind Sie mit dem Verlauf des Versuches? Wählen Sie einen Wert zwischen 5 (sehr zufrieden) und 0 (nicht zufrieden).  
sehr zufrieden [5] [4] [3] [2] [1] [0] nicht zufrieden

## C. Erweiterung des Versuchsspektrums

Übersicht über die Erweiterungen an den Versuchsaufbauten

### Erdfeld-NMR (EFNMR) (Remotebetrieb)

- Probenwechsler für 12 Proben mit Steuersoftware
- 1,4-Difluorbenzol-Probe für heteronukleare J-Kopplung

### Superconducting Quantum Interference Device (SQUID) (Remotebetrieb)

- motorische Probenpositionierung für Bestimmung der Sprungtemperatur von YBCO
- digitale Temperaturmessung für quantitative Auswertung
- DAQ-Board für digitale Messwertaufnahme und Flux-Locked Loop / Flussregelung

### Deterministisches Chaos (CHAOS) (Neuer Versuch, Remotebetrieb)

- PSoC-Schaltung für: Poincaré-Schnitte, Bifurkationsdiagramme, Variation der Anfangsbedingungen

### Quantisierte Leitfähigkeit (QCOND) (Neuer Versuch, Remotebetrieb)

- Mechanik und digitale Abstands-Regelung der Goldkontakte

### Differentielle Photometrie von Exoplaneten-Transits (EXO)

- Ritchey-Chrétien-Astrograph 10" auf parallaktischer Montierung, CCD-Kamera

### Spektrohelioskopie der Sonne (HELIO)

- 2 Spektr(helio)skope mit Gitter 300 und 1200 Linien/mm + CCD-Kameras
- Refraktor 72 mm für Aufnahmen der kompletten Sonnenscheibe in verschiedenen Wellenlängen
- Refraktor 130 mm für detaillierte Dopplermessungen und Magnetfeldmessungen an Sonnenflecken

### Laserspektroskopie (CSPEK)

- Breadboard-System mit Lochraster zur Realisierung unterschiedlicher Strahlengänge
- kommerzielles Lasersystem mit Frequenzmodulation + Eigenbau External Cavity Diode Laser
- Cäsium- und Rubidiumdampf-Referenzzellen + passende Laserdioden bei 780 nm und 852 nm
- Photomultiplier für Fluoreszenz bei Zweiphotonenanregung
- Polarisationsoptiken bei für polarisationsabhängige Messung (780 nm und 850 nm)
- Heizung für Referenzzellen

### Nd:YAG-Laser(NDYAG)

- 4 sphärische Laserspiegel R=99%, 95%, 90%, 80%; Leistungsoptimierung und Laserschwelle
- Beam Profiler für Transversalmoden bei Frequenzverdopplung

### Helium-Neon-Laser (HENE)

- GHz-Oszilloskop mit schneller Photodiode für Schwebung longitudinaler Moden
- Beam Profiler für transversale Moden und Beamparameter; M<sup>2</sup>-Bestimmung

### Photonenkorrelation (PCORR)

- polarisierende und nichtpolarisierende Strahlteiler für unterschiedliche Interferometer

### Gepulste Kernspinresonanz (PNMR)

- Gradientenfeldspule für ortsabhängige Messungen, 1D-MRI
- Kohlenwasserstoffe für Herstellung individueller Phantome für 1D-MRI
- PSOC-Gradienten-Automatisierung für automatisches Shimming

### Rauschen (NOISE)

- digitale Temperaturmessung für Heiz- und Kühlbereich
- alternative Bauteile für Bestimmung des Johnson-Rauschens