

Kompetenzförderung im Laborpraktikum

MARC D. SACHER, ANNA B. BAUER

Abstract

Mit dem Bologna-Prozess hat in der deutschen Hochschullandschaft ein Wandel der Lernorientierung weg von der Content- hin zu einer Outcome-Orientierung begonnen. Laborpraktika können diesem Wandel aufgrund des hohen Praxisanteils besonders gut gerecht werden. Anhand des neu konzipierten, kompetenzorientierten *Paderborner Physik Praktikums 3P* wird in dem Beitrag beispielhaft dargestellt, wie Lehrende in ihren Lehrveranstaltungen den veränderten Kompetenzerwartungen gerecht werden können.

Schlüsselwörter: Laborpraktikum, Kompetenzorientierung, Lehr-Lernumgebungsgestaltung, Cognitive Apprenticeship, Forschendes Lernen

1 Motivation

Im Laborpraktikum erfolgt in naturwissenschaftlich-technischen Studiengängen die Ausbildung der experimentellen Kompetenz. Diese umfasst alle Wissensbestände, Fähigkeiten und Fertigkeiten, die für die Planung [, den Aufbau, die Optimierung] und Durchführung von Experimenten sowie für das Auswerten und Interpretieren experimentell gewonnener Ergebnisse und die Ableitung von Erkenntnissen notwendig sind (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018). Auch das Heranführen der Studierenden an den Erkenntnisprozess ihrer Wissenschaftsdisziplin, der Erwerb fundierten fachmethodischen Wissens sowie die Verknüpfung und Vertiefung von Fachwissen können je nach Anlage des Praktikumskonzepts Ziele von Laborpraktika sein (Nagel u. a., 2019; Zwickl u. a., 2012; KFP, 2010). Weiterhin können fachübergreifende Kompetenzen im Bereich der schriftlichen und mündlichen Präsentation sowie soziale und selbstregulative Kompetenzen gefördert werden.

In diesem Artikel wollen wir am Beispiel des *Paderborner Physik Praktikums 3P*¹ beleuchten, wie ein traditionelles Laborpraktikum in ein kompetenzorientiertes Laborpraktikum umgestaltet werden kann, um veränderten Kompetenzerwartungen und individuellen Rahmenbedingungen im eigenen Fach gerecht zu werden.

¹ Ausgezeichnet vom Stifterverband und der Joachim-Herz-Stiftung mit einem Fellowship für Innovationen in der Hochschullehre.

2 Ausgangslage

Beim Experimentieren handelt es sich um eine hochkomplexe Methodik, da Forschende nicht nur fachliche und überfachliche Fähigkeiten in kompetente Handlungen transferieren, sondern diese nach jedem Prozessschritt auch vor dem Hintergrund der erhaltenen Ergebnisse reflektieren (Höttecke & Rieß, 2015). Laborpraktika haben daher neben der reinen Vermittlung fachlichen und methodischen Wissens eine weit größere Bedeutung im Studiengang: eine Einführung in die fachspezifische Denk- und Arbeitsweise und in die Sozialisation in der Fachkultur als Vorbereitung auf Qualifikationsarbeiten sowie auf die spätere berufliche Tätigkeit.

In der Physik hat Friedrich Kohlrausch bereits vor über 150 Jahren mit Studierenden in seinem Labor gearbeitet und damit den Grundstein für das Physikalische Praktikum gelegt (Kohlrausch, 1900). Wilhelm Westphal übertrug seinen Ansatz in den 1930er Jahren auf stark zunehmende Studierendenzahlen. Er etablierte ein Konzept mit kochrezeptartigen Anleitungen an Demonstrationsexperimenten (Westphal, 1930). Seit den 1970er Jahren wurden weitere Ansätze entwickelt – solche, die den Studierenden eine größere Selbstständigkeit erlauben (FAU, 2020), die die Forschung in den Mittelpunkt rücken (Alemani, 2017), die auf adressatenspezifischen Kontexten basieren (Theyßen, 2000) oder die gezielt die Kompetenzentwicklung fördern (Sacher u. a., 2015).

Laborpraktika sind heutzutage in alle naturwissenschaftlich-technischen Studiengänge integriert, inhaltlich häufig fachsystematisch strukturiert, an Vorlesungen angebunden und orientiert an Westphals Konzept. Praktikumsversuche gliedern sich in der Regel in eine Vorbereitung im Selbststudium (anhand eines Einführungstextes zu Fachwissen, Aufgabenstellung und Aufbau sowie kleinschrittigen Handlungsanweisungen für die Durchführung und Auswertung), in die Präsenzphase mit Klärung der Aufgabenstellung, in das Fach- und Methodenwissen (Frontalvortrag durch den Lehrenden, offene Diskussion oder Prüfungsgespräch), in das betreute Experimentieren im Labor und schließlich in die Nachbereitung mit Schreiben eines Berichtes oder der Vervollständigung eines Protokolls. Oft wird der Bericht bzw. das Protokoll von Lehrenden mit Rückmeldungen versehen und eine Überarbeitung des Textes erwartet.

Die Betreuung der Studierenden wird abhängig von Hochschulform und Praktikumskonzeption von Hochschullehrern, Postdocs, Doktoranden, Studentischen Hilfskräften und/oder Technikern mit einer Betreuungsrelation zwischen 1:2 und 1:20 realisiert. Auf Basis einer Abschlussprüfung oder Einzelleistungen (z. B. Gespräche oder Berichte zum Versuch) wird eine Abschlussnote für die Lehrveranstaltung gebildet.

Ursache für die Verbreitung des Praktikumskonzepts ist sicher, dass sich das Konzept auch bei großen Kohorten effizient in Bezug auf Organisation, Ablauf und Lernbegleitung realisieren lässt. Es wird allerdings vermutet, dass bei ihm eine Diskrepanz zwischen den intendierten Zielen und dem tatsächlichen Lernzuwachs der Studierenden vorliegt (Welzel & Haller, 1998). Bei derartigen Experimenten (Wilcox & Lewandowski, 2016) entfällt in der Regel das eigenständige Planen und Aufbauen

und damit das Durchdenken des experimentellen Vorgehens, was häufig zu rein ergebnisorientierten Handlungen führt: Werden die vom Lehrenden erwarteten Ergebnisse reproduziert, wird das Experiment beendet. Eine intensive Analyse des experimentellen Vorgehens findet nicht statt, und so wird eine tiefergehende Beurteilung der Methoden und Messergebnisse verhindert (Holmes, Wiemann & Bonn, 2015). Dies führt zu teilweise erheblichen Defiziten im Bereich der experimentellen Kompetenz (Haller, 1999).

3 Hochschuldidaktische Ansätze

Den genannten Herausforderungen kann mit der Gestaltung eines innovativen Laborpraktikums unter Verwendung erprobter Konzepte und etablierter didaktischer Ansätze begegnet werden. In diesem Kapitel werden neben der Kompetenzorientierung zwei (hochschul-) didaktische Konzepte vorgestellt, die bei der Realisierung von zeitgemäßen Praktika hilfreich sein können.

3.1 Kompetenzorientierung

Kompetenzen werden schrittweise aufeinander aufbauend und kontextspezifisch erworben und zeigen sich in kompetenten Handlungen (Weinert, 2001, S. 27 f.; Klieme & Leutner, 2006).

Aus lehr-lerntheoretischen Untersuchungen folgt, dass sich der Kompetenzerwerb nur bedingt steuern lässt. Mittels authentischer und erkenntnisoffener Lerngelegenheiten sowie transparenter Lernziele kann dies jedoch erreicht werden. Weiterhin kann eine aktive Mitgestaltung des Lernprozesses und eine systematische Feedbackstruktur zur Analyse des eigenen Lernstandes anregen und die Kompetenzentwicklung unterstützen (Rottlaender, 2017).

Für einen elaborierten Erwerb von Kompetenzen sollte eine systematisch gestufte Kompetenzentwicklung angelegt werden. Dies kann z. B. dadurch erreicht werden, dass Lernende ihre Kompetenzen in verschiedenen komplexer und abstrakter werdenden Situationen anwenden und erproben.

Der Schwierigkeitsgrad eines kompetenzorientierten Lernziels und damit die vorgesehene Handlungskomponente wird über den Fachinhalt und ein kognitives Anforderungsniveau expliziert (FBZHL, 2013). Für eine Stufung des Anforderungsniveaus eignet sich beispielsweise das Modell der Lernzieltaxonomie nach Anderson & Krathwohl (2001), von uns angepasst auf Laborpraktika (siehe Abb. 1). Darüber hinaus bestimmt die Komplexität des Inhalts den Schwierigkeitsgrad der Handlungskomponente: Werden mehrere Handlungskomponenten für die Bearbeitung einer Aufgabe verknüpft, erhöht sich der Schwierigkeitsgrad des Lernziels erneut.

Letztendlich zeichnet sich eine kompetenzorientierte Lehre, die den Charakteristika von Lernprozess und Kompetenzerwerb gerecht wird, nach dem Ansatz des Constructive Alignments (Biggs, 2003) dadurch aus, dass Lernumgebung, intendierte Lernziele und die Prüfung der erreichten Kompetenzen aufeinander abgestimmt sind.



Abbildung 1: Taxonomie zur Hierarchisierung kognitiver Prozesse. Für eine kognitive Operation auf einer höheren Stufe müssen alle darunterliegenden Operationen erfolgreich bewältigt werden können. In Prüfungen und bei der Gestaltung von Aufgabenstellungen kann auf die Begriffe zurückgegriffen werden, um eine Auseinandersetzung auf der gewünschten Anforderungsstufe anzuregen (nach Anderson & Krathwohl, 2001)

Ein didaktischer Ansatz, der bei der konkreten Ausgestaltung der Lernumgebung genutzt werden kann, ist das Prinzip des Cognitive Apprenticeship (Collins, Brown & Newman, 1989). Hierbei werden den Lernenden die kognitiven Denkprozesse, die beim Bearbeiten von komplexen Problemstellungen zu absolvieren sind, aufgezeigt und ihre Bedeutung für das „Endprodukt“ erklärt.

Das Vorgehen dabei ist durch folgende Phasen gekennzeichnet: Zunächst demonstriert der Lehrende den Lösungsweg eines Problems bzw. eines zu lernenden Inhalts (modeling) anhand von Handlungsmustern und macht seine Denk- und Handlungsprozesse beim Lösen des Problems sichtbar (articulation). Der Lernende vollzieht diese Muster nach. Danach wird er mit auf seinen Lernstand angepassten Unterstützungsmaterialien wie Arbeitsanweisungen (scaffolding) angeregt, das gelernte Muster auf komplexer werdende Situationen zunehmend selbstständiger (exploration) anzuwenden und eine Generalisierung der Kompetenzen zu erreichen. Der Lehrende unterstützt, indem er mit den Lernenden die Möglichkeiten und Grenzen der einzelnen Handlungsmuster diskutiert und reflektiert (reflection). Bei steigender Selbstständigkeit der Lernenden zieht er sich zunehmend zurück (fading) und nimmt eine eher moderierende Rolle im Lernprozess ein (coaching) (Collins, Brown & Newman, 1989).

Das Forschende Lernen ist ein didaktischer Ansatz (Huber, 2009), bei dem die Lernenden in authentischen Situationen den Prozess eines idealerweise realen Forschungsvorhabens in allen wesentlichen Phasen aktiv (mit)gestalten, erfahren und

reflektieren – von der Fragestellung bis zum Präsentieren. Im Idealfall legen die Studierenden ihr Vorgehen in allen Arbeitsphasen des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses selbst fest. Neben der intensiven Auseinandersetzung mit einer Fragestellung und dem damit verbundenen fachlichen Kompetenzerwerb wird durch den Forschungsbezug die Relevanz der eigenen Kompetenzentwicklung deutlich. Einstellungen und Erkenntnishaltungen, die bei der Sozialisation in der jeweiligen Fachkultur von Bedeutung sind, werden weiterentwickelt (Wilcox & Lewandowski, 2017).

Das Forschende Lernen setzt mit der selbstständigen Bearbeitung einer wissenschaftlichen Fragestellung bereits zahlreiche Kompetenzen voraus. Diese sollten im Vorfeld im Sinne einer systematischen Kompetenzorientierung ausgebildet werden.

4 Realisierung kompetenzorientierter Laborpraktika

Wie bereits beschrieben, handelt es sich beim Experimentieren um einen hochkomplexen Prozess, für dessen Steuerung eine Vielzahl experimenteller und fachübergreifender Kompetenzen notwendig sind – insbesondere eine ständige Reflexion des aktuellen Fortschritts. In diesem Kapitel beschreiben wir schrittweise die Ausarbeitung eines kompetenzorientierten Laborpraktikums gemäß den vorgestellten didaktischen Ansätzen und illustrieren dies mit erprobten Realisierungen aus dem viersemestrigen *Paderborner Physik Praktikum 3P*. Die Kompetenzentwicklung der Studierenden wird im 3P durch strukturierte, offene Aufgabenstellungen, umfangreiche Unterstützungsmaterialien, eine multiperspektivische Feedbackstruktur sowie eine sukzessiv reduzierte Lernprozessbegleitung durch die Lehrenden erzielt.

4.1 Lernziele festlegen

Zu Beginn einer Praktikumskonzeption steht die kleinteilige Sammlung und Auswahl der zu erreichenden Ziele bzw. zu fördernder Kompetenzen. In Paderborn haben wir uns basierend auf Forschungsarbeiten (Zwickl, 2013; Emden, 2011) und eigenen Erfahrungen für jene Kompetenzen entschieden, die ein forschender Physiker für seine Arbeit im Labor benötigt (Abb. 2). Bei ihrer Ausformulierung wurde jeweils der höchste Schwierigkeitsgrad (*Kreieren*) als zu erreichendes Lernziel am Ende des viersemestrigen Praktikums gewählt. Fachübergreifende Kompetenzen, z. B. *Lernstand reflektieren*, vervollständigen die Sammlung. Bei Nebenfachpraktika werden nach einer Analyse möglicher Berufsfelder der Studierenden die Ziele oft deutlich anders angesetzt: Werden sie später eher detaillierte Anweisungen erhalten, sollte das *sorgfältige Abarbeiten von Messaufgaben* auf dem Niveau *Analysieren* im Vordergrund stehen, während Absolventen, die DIN-Normen festlegen, auch das *kritische Beurteilen* und *begründete Festlegen eines Messaufbaus* auf dem Anforderungsniveau *Kreieren* systematisch erlernen sollten.

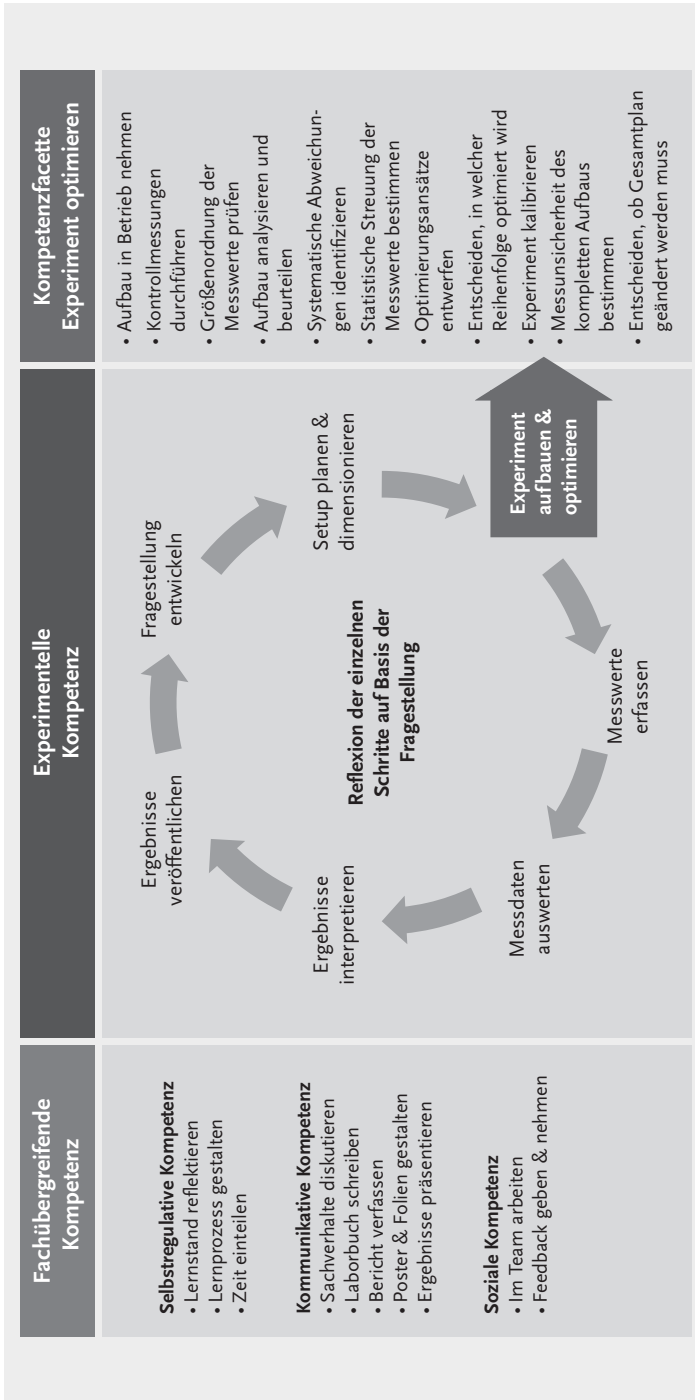


Abbildung 2: Die im 3P zu erlernenden Kompetenzfacetten: Experimentelle Facetten (Mitte), exemplarische Auffächerung der Facette „Experiment optimieren“ (rechts) und fachübergreifende Facetten (links)

4.2 Kompetenzentwicklung anlegen

Im nächsten Schritt werden die Kompetenzfacetten entsprechend einer systematischen Kompetenzentwicklung in eine aufeinander aufbauende Struktur gebracht. Die einfachste Möglichkeit ist eine Stufung entlang der Anforderungsniveaus vom *Anwenden* bis zum *Kreieren*.² Wird zusätzlich die Komplexität der Inhalte verändert, könnte die Kompetenz *Messplan erstellen* beispielsweise wie folgt gestuft werden:

1. Die Studierenden können einen Messplan im Experiment XY anwenden.
2. Die Studierenden können alternative Messpläne im (komplexeren) Experiment YZ kriteriengeleitet beurteilen.
3. Die Studierenden können einen Messplan für ein beliebiges Experiment entwickeln.

Mit der Anzahl der in einer Aufgabenstellung verknüpften Kompetenzfacetten kommt schließlich neben dem Anforderungsniveau und dem Inhalt eine dritte Variable zur Steuerung des Schwierigkeitsgrades hinzu.

Im Sinne einer systematischen, aufeinander aufbauenden Kompetenzentwicklung sollten die Experimentiereinheiten in einer festen Reihenfolge absolviert werden. Die Kompetenzentwicklung im 3P erfolgt fachmethodisch entlang des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses (Abb. 2). In den ersten sechs Wochen werden im Rahmen einer Einführungsvorlesung die grundlegenden Kompetenzen des wissenschaftlichen Experimentierens bis hin zum Anforderungsniveau *Kennen* und *Verstehen* vermittelt. Mit ergänzenden Präsenzübungen wird das Anforderungsniveau *Anwenden* erreicht. In den anschließenden Experimentiereinheiten im ersten Semester werden stets alle übergeordneten experimentellen Kompetenzfacetten durchlaufen, je eine Facette wird dabei auf höchstem Anforderungsniveau adressiert, während die übrigen auf dem Niveau *Anwenden* verbleiben. Im zweiten und dritten Semester steigert sich sukzessive die inhaltliche Komplexität, der Umfang der Aufgabenstellung und die Zahl der miteinander verknüpften Kompetenzfacetten auf hohem („Analysieren“ oder „Beurteilen“) und höchstem („Kreieren“) Anforderungsniveau. Zum Ende des dritten Semesters sollten die Studierenden alle übergeordneten Facetten bis zum Anforderungsniveau *Kreieren* beherrschen, um im vierten Semester eigenständig ein Projekt im Sinne des Forschenden Lernens bearbeiten zu können. In allen Semestern werden die Studierenden angeregt, Handlungen und Denkprozesse im Hinblick auf den Prozess des Experimentierens zu diskutieren und zu reflektieren.

4.3 Inhalte auswählen

Für die Neukonzeptionierung eines Praktikums sollten sämtliche Inhalte hinterfragt, einzelne verworfen, neue ausgewählt und geordnet werden. Ist die Vertiefung von speziellen Vorlesungsinhalten kein zentrales Ziel des Praktikums, kann z. B. auf eine fachsystematische Reihung zugunsten einer gezielten fachmethodischen Kompetenzentwicklung verzichtet werden. Die Inhalte werden dann als Kontext auf

2 Die Anforderungsniveaus *Kennen* und *Verstehen* werden in der Regel in die individuelle Vorbereitung verlagert und die begleitete Präsenzphase für die Bearbeitung höherer Anforderungsniveaus genutzt, um neues Wissen über die kognitiven Prozesse *Beurteilen* und *Erschaffen* selbst zu generieren, statt auswendig zu lernen.

Grundlage der zu fördernden Kompetenzfacette ausgewählt. Dabei eignet sich nicht jeder Inhalt für jede Facette gleich gut. Die Kompetenz *Aufbau entwickeln* etwa würde man nicht im Kontext radioaktiver Präparate fördern, *Statistische Schwankungen analysieren* hingegen schon.

Das 3P beginnt in der Einführungsphase mit sehr einfachen inhaltlichen Kontexten bzw. Fragestellungen. Die Studierenden absolvieren schrittweise ihr erstes vollständiges Experiment und schreiben dazu ihren ersten Bericht. In Vorlesungen werden anhand von Demonstrationsexperimenten die Handlungsmuster für das Planen, Aufbauen, Durchführen und (computergestützte) Auswerten von Experimenten demonstriert (modeling). In ergänzenden Präsenzübungen übertragen die Studierenden ihr Wissen bei der Bearbeitung der Fragestellung *Welche Dichte hat [eine Möhre]?* auf das nächsthöhere Anforderungsniveau *Anwenden* (exploration). In nachgelagerten Workshops zum wissenschaftlichen Schreiben wird der Zweck jeweils eines Berichtskapitels zunächst anhand eines Beispielberichts besprochen und anschließend auf die eigenen Messdaten angewendet.

Die im ersten Semester folgenden vier eintägigen Experimentiereinheiten beschränken sich bei den Fachinhalten auf gut bekannten Oberstufenstoff im Kontext Mechanik, um den Fokus auf die Fachmethodik und die experimentelle Kompetenzentwicklung legen zu können.

Im zweiten Semester absolvieren die Studierenden zweitägige Experimentiereinheiten im Kontext Elektrodynamik (Bauer & Sacher, 2018). Am ersten Tag wird jeweils ein experimentelles Setup geplant, aufgebaut und charakterisiert, um es am zweiten Labortag für die Erfassung von Messdaten und die Beantwortung der Fragestellung zu nutzen. Außerdem wird das anspruchsvolle *Fragestellung finden* in den Fokus genommen, indem verschiedene Varianten begleitet formuliert, analysiert und beurteilt werden. Unter Verwendung der Schaltungssimulation *LTSpice* werden die Aufgaben zunächst theoretisch bearbeitet und das experimentelle Vorgehen abgeleitet.

Im dritten Semester führen die Studierenden komplexere Experimente zur automatisierten Messwerterfassung und Geräteansteuerung unter Nutzung der Programmiersprache *LabVIEW* im Kontext verschiedener Fachinhalte der ersten Semester durch. Die Experimentiereinheiten erstrecken sich jeweils über drei Tage (Aufbau, Programmierung, Datenerfassung). Die Experimentiereinheiten werden von den Studierenden selbstständig strukturiert, um die Ausbildung der selbstregulativen Kompetenz zu fördern. Der Betreuende unterstützt die Studierenden dabei mittels Feedbacks. Neben Berichten werden erstmals auch Poster zur Präsentation der Ergebnisse angefertigt.

Im vierten Semester bearbeiten die Studierenden in Teams à 3–5 Personen selbstständig ein frei gewähltes Projekt nach dem Ansatz des Forschenden Lernens. Die Themen werden aus dem Aufgabenpool des jährlich stattfindenden International Physics Tournament (IPT 2020) gewählt. Die Studierenden sind selbstständig für das Festlegen einer geeigneten Fragestellung, eines methodischen Vorgehens, das Verteilen von Arbeitsaufträgen und das Definieren von Meilensteinen verantwortlich.

4.4 Aufgaben und Organisationsstruktur entwickeln

Kompetenzorientierte Aufgabenstellungen sollen eine intensive, handelnde Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand auslösen, was über kognitive Anforderungsniveaus *Beurteilen* und *Erschaffen* sowie eine hohe Komplexität der Aufgabe realisiert werden kann. Der Weg der Bearbeitung sollte möglichst offen sein, um das selbstständige Denken anzuregen (exploration).

Im 3P werden Aufgaben stets in Form physikalischer Fragestellungen gegeben. Im ersten Semester sind dies einfache vorgegebene Fragestellungen. In den folgenden Semestern legen Studierende mehr und mehr die Fragestellungen selbst fest.

Um die Studierenden Schritt für Schritt zu unterstützen, wurde eine vollständig neue organisatorische Struktur für die Experimentiereinheiten erarbeitet (Abb. 3): In den ersten drei Semestern bearbeiten idealerweise sechs Studierende in Zweier-teams gemeinsame Aufgaben, jedes Team erhält jedoch leicht abweichende Anweisungen, Geräte oder Materialien. Im Experiment zur Kompetenz *Versuchsaufbau entwickeln* mit dem Kontext *Energie- und Impulserhaltung* und der Fragestellung *Genügt die erzielte Präzision, um mit dem entwickelten experimentellen Setup die Energie- und Impulserhaltung nachzuweisen?* unterscheiden sich beispielsweise die zur Verfügung gestellten Materialien: Luftkissenbahn vs. Bodengleiter vs. Luftkissentisch.

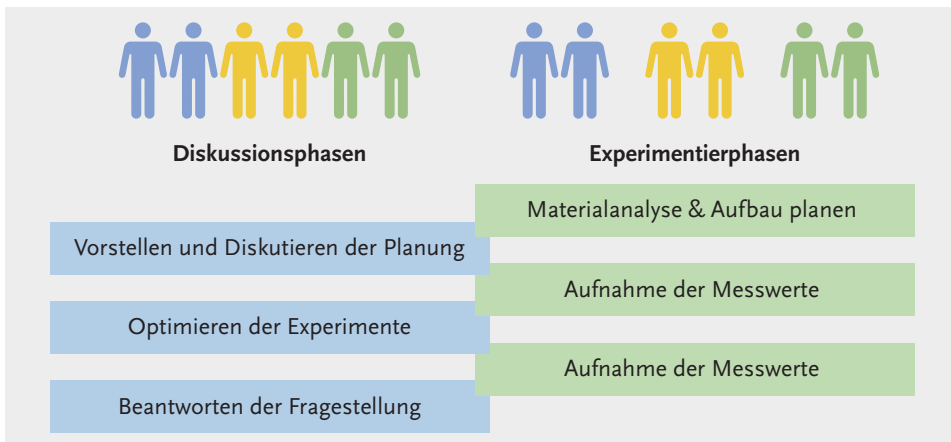


Abbildung 3: Organisationsstruktur der Experimentiereinheit zur Kompetenz *Versuchsaufbau entwickeln*. Diskussionen zwischen allen sechs Studierenden und Experimentierphasen im Zweier-Team wechseln sich ab.

Jede Experimentiereinheit gliedert sich in abwechselnde Diskussions- und Experimentierphasen. In den Diskussionsphasen analysieren und beurteilen alle Studierenden gemeinsam die Planung, das Vorgehen bzw. die gewonnenen Erkenntnisse der Zweier-teams aus den Experimentierphasen.

Im ersten Semester sieht die Ausgestaltung der Experimentiereinheiten wie folgt aus: Zunächst werden die Experimentiermaterialien von den Teams analysiert und der Aufbau geplant. In der nachfolgenden Diskussionsphase stellen die Studierenden ihre Planung und die hierzu vorgenommene Verknüpfung von Fragestel-

lung, die in der Vorbereitung erlernten fachlich-theoretischen Zusammenhängen mit den zur Verfügung stehenden Materialien vor und diskutieren diese. Nach der Durchführung des Experimentes in der folgenden Experimentierphase treffen sich die Studierenden zur zweiten Diskussionsphase und stellen ihr Vorgehen und ihre Ergebnisse vor. Die beiden anderen Gruppen haben die Möglichkeit, Rückfragen zu stellen und Optimierungsansätze anzuregen. Durch den in der nächsten Experimentierphase anstehenden Tausch der Experimente untereinander haben die Studierenden eine hohe intrinsische Motivation, auch die Experimente der übrigen Gruppen detailliert zu durchdenken, Rückfragen zu stellen und zu diskutieren. Im Folgenden führen die Studierenden die getauschten Experimente entweder unverändert oder in optimierter Form durch. Bei Rückfragen zu den Experimenten sind die Studierenden angehalten, sich im Rahmen des kollegialen Austausches (Böckelmann & Mäder, 2018) zunächst an ihre Kommilitonen zu wenden, bevor sie die Lehrenden fragen. In einer abschließenden Diskussionsphase werden alle Erfahrungen und Ergebnisse vor dem Hintergrund der experimentellen Fragestellung diskutiert.

Die beschriebene Struktur der Experimentiereinheiten wird im zweiten Semester auf zwei Labortage gestreckt. Im dritten Semester legen die Studierenden den Ablauf der Experimentiereinheiten selbstständig fest. Sie berufen nach Bedarf Diskussionsrunden ein, verteilen Arbeitspakete untereinander und arbeiten nach Bedarf in wechselnden Teams zusammen. Für die Projektarbeit im vierten Semester sind zur Strukturierung der Gesamtkohorte einige Deadlines vorgegeben, etwa für die Vorstellung der Planung vor Kommilitonen oder die Abschlusspräsentation vor externen Gästen (Abb. 4). Die übrige Zeit kann frei eingeteilt werden.

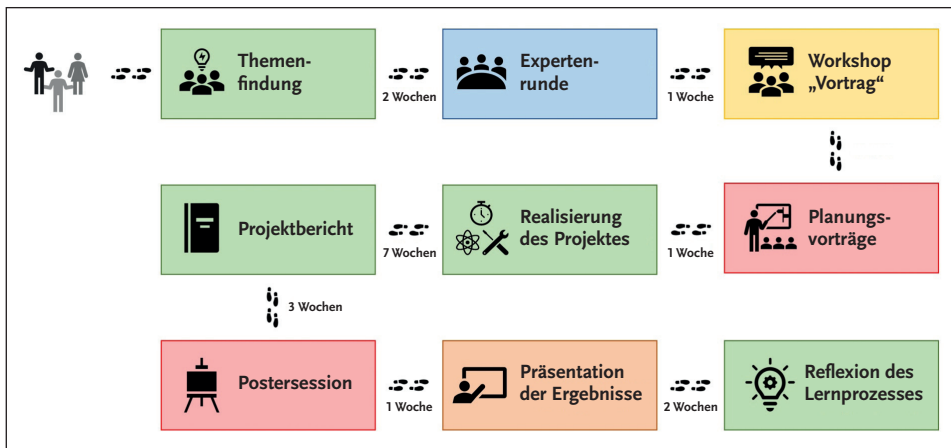


Abbildung 4: Zeitlicher und inhaltlicher Ablauf des vierten Semesters. Die einzelnen Aktionen führen die Studierenden in Teams allein (grün), in Gegenwart von Lehrenden (blau), Peers (rot) oder Gästen (orange) durch.

4.5 Lernprozess unterstützen

Aufgrund des komplexen Konzeptes kommt den Lehrenden im 3P eine zentrale Rolle zu. Da keine kochrezeptartigen Versuchsanleitungen vorliegen, erfordert die nur bedingt vorhersehbare Auseinandersetzung der Lernenden mit der Aufgabe vom Lehrenden neben einem vertieften physikalischen und fachmethodischen Wissen umfangreiche didaktische Fähigkeiten und eine gewisse Flexibilität. Es wurde deshalb eine viertägige Schulung entwickelt, um den Einstieg in die kompetenzorientierte Lehre zu unterstützen.

Für jede Experimentiereinheit erhalten die Lehrenden detaillierte Ablaufpläne, die neben Lernzielen und Aufgabenstellungen auch Anmerkungen zur Lernbegleitung enthalten. In ihrer Rolle als Wissenschaftler*in demonstrieren die Lehrenden als authentische Vorbilder Handlungsmuster, etwa bei der gemeinsamen Lösung von Problemen am Versuchsaufbau, oder leiten als Botschafter ihrer Disziplin Einschätzungen z. B. zur Qualität aufgenommener Messdaten ab (modeling). Sie strukturieren die Experimentiereinheit, begründen den Zweck einzelner Arbeitsphasen und regen die Studierenden an, angewendete Handlungsmuster vor dem Hintergrund des Erkenntnisprozesses zu reflektieren (reflection). Mit gezielten Impulsen, z. B. zum Vergleich verschiedener Ansätze, lenken sie in Diskussionsphasen bei sonst eher zurückhaltender Moderation die Gespräche auf zentrale Aspekte (articulation). Die Lernbegleitung wird über die vier Semester ausgeschlichen (fading). Während im ersten Semester eine sehr enge Lernbegleitung und Strukturierung der Arbeit erfolgt, nehmen die Lehrenden sich jedes Semester weiter zurück und nehmen im vierten Semester eine nur noch beobachtende und beratende Rolle ein, greifen jedoch ein, wenn die von den Studierenden festgelegten Arbeitsschritte oder diskutierten Sachverhalte inhaltlich falsch oder gefährdend sind (coaching). Gegenläufig zum Ausschleichen der Unterstützung wird das kooperative Arbeiten (Böckelmann & Mäder, 2018), d. h. die gegenseitige Unterstützung durch die Kommilitonen (Peers), verstärkt.

Die Unterstützung des Lernprozesses kann darüber hinaus durch gezielt erstellte Unterstützungsmaterialien erfolgen (scaffolding). Diese können im Vorfeld (Vorbereitung auf eine Experimentiereinheit), im Nachgang (Auswerten von Messdaten und Schreiben eines Berichts) und/oder während der Experimentiereinheit eingesetzt werden. Komplexe Anforderungen können etwa mit einer Checkliste oder einem Lernvideo unterstützt werden. Im 3P werden eine Vielzahl von Unterstützungsmaterialien eingesetzt (Abb. 5)³, wie z. B. Handlungsmuster für einzelne Arbeitsschritte in Form von Leitfäden. In diesen wird jeweils das Vorgehen erklärt, als abzuarbeitende Checkliste zusammengefasst und anhand eines Beispiels demonstriert. In freiwilligen Workshopangeboten können grundlegende Fähigkeiten z. B. zum Löten oder zum Vortragsgestalten und -halten erworben werden.

3 Sämtliche Materialien werden über ein Wiki-System zur Verfügung gestellt. Im Sinne einer kollektiven Intelligenz können Studierende selbst Inhalte bearbeiten und ergänzen.

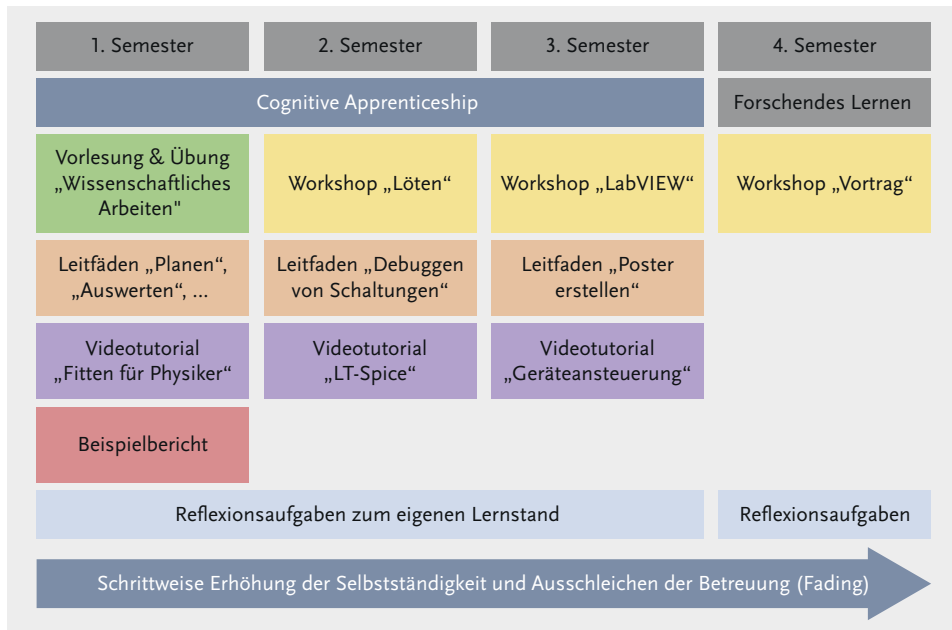


Abbildung 5: Unvollständige Liste der Scaffolding-Materialien im 3P zur Unterstützung der Lernenden. Die Farbgebung gruppiert die Materialien nach Funktionen und Gestaltungsformaten

Zur Unterstützung der Lernenden beim aktiven Gestalten des Lernprozesses kann neben der beschriebenen Unterstützungsstruktur eine systematische Feedbackstruktur implementiert werden. Die Lernenden haben so die Möglichkeit, den Ist- und Sollzustand ihrer Fähigkeiten (Sippel, 2009) sowie die Selbst- und Fremdwahrnehmung miteinander zu vergleichen, um neue Ansatzpunkte für die Gestaltung des eigenen Lernprozesses zu finden.

Im 3P erhalten die Studierenden zu allen gezeigten Leistungen (Experimentieren, Laborberichte, Vorträge halten ...) von den Lehrenden ein differenziertes, auf die jeweiligen Lernziele abgestimmtes schriftliches Feedback (Abb. 6), ergänzt um eine mündliche Einordnung.⁴ Darüber hinaus erlernen sie das Prinzip des Peer-Feedbacks als Vorstufe des Peer-Reviews von Veröffentlichungen (Schulz, 2013). Mit diesem Feedback auf Augenhöhe wird zusätzlich eine neue Perspektive auf das Schreiben von Berichten erzielt und ergänzt so die Kompetenzentwicklung in diesem Feld.

4 Im Vorfeld der Leistung werden die Bewertungskriterien und die Abstufungen im Wiki veröffentlicht.

Aufnahme der Messwerte 1					
Realisieren des Aufbaus (x200)	keine	Anwenden	Analysieren	Beurteilen	Erschaffen
Aufnahme der Messdaten und Schnellauswertung (x200)	keine	Anwenden	Analysieren	Beurteilen	Erschaffen
Schnellauswertung (x200)	unzureichend	in Ansätzen	erwartungsgemäß	hervorragend	
Teamarbeit (x50)	abwesend	unausgewogen	in Ansätzen	erwartungsgemäß	hervorragend
Zeiteinteilung (x50)	unzureichend	unausgewogen	beteiligt	erwartungsgemäß	hervorragend
Optimierung der durchgeführten Versuche					
Analysieren der Messwerte (x100)	unzureichend	in Ansätzen	erwartungsgemäß	hervorragend	
Beurteilen der Versuchsdiseins (x100)	unzureichend	in Ansätzen	erwartungsgemäß	hervorragend	
Gesprächsbeteiligung (x33)	unzureichend	in Ansätzen	erwartungsgemäß	hervorragend	
Formulierungen (x33)	unzureichend	in Ansätzen	erwartungsgemäß	hervorragend	

Abbildung 6: Ausschnitt des digitalen Feedbackbogens zur Experimentiereinheit Versuchsaufbau entwickeln. Die definierten Lernziele einer Arbeitsphase (fachlich und fachübergreifend) werden dabei als Kategorien aufgeführt, die mithilfe qualitativer Abstufungen eingeschätzt werden

4.6 Kompetenzen prüfen

Kompetenzorientierte Prüfungen werden so formuliert, dass eine Überprüfung der Lernziele auf dem adressierten Anforderungsniveau (siehe Abb. 1) erfolgt; dabei wird zwischen summativen und formativen Prüfungsformaten unterschieden (Reinmann, 2019). In summativen Prüfungen wird am Ende des Lernprozesses der Lernstand überprüft. Formative Prüfungen begleiten den Lernprozess, besitzen meist einen geringeren Umfang und haben zum Ziel, den Studierenden eine stetige Rückmeldung zu ihrem Lernstand zu geben.

Das in ein dreisemestriges und ein einsemestriges Modul gegliederte 3P wird jeweils mit einem Abschlussportfolio und einem dazugehörigen Reflexionsgespräch abgeschlossen. Das Abschlussportfolio (formativ) beinhaltet alle erarbeiteten Produkte (Berichte, Poster, verfasste Peer-Feedbacks, Reflexionsaufgaben zum Lernprozess) sowie sämtliche Feedbackbögen. Im Abschlussgespräch (summativ) wird der individuelle Lernprozess der Studierenden auf Basis des Abschlussportfolios reflektiert und eine Abschlussnote gebildet.

5 Zusammenfassung

Mit veränderten Kompetenzerwartungen an die Hochschullehre und damit verbunden mit einer neuen Lehr-Lernkultur werden die Lehrenden vor neue Herausforderungen gestellt. Anders als Vorlesungen bieten sich Laborpraktika aufgrund ihrer hohen Handlungsorientierung für neugestaltete, kompetenzorientierte Lehre an. Mit einer grundlegenden Neukonzeptionierung dieses Lehr-Lernformats können den bekannten Lerndefiziten aufgrund der Bearbeitung von Experimenten mit klein-

schrittigen Arbeitsanweisungen entgegengewirkt und Laborpraktika lernwirksamer gestaltet werden.

Als mögliche Ansätze für eine kompetenzorientierte Gestaltung werden in diesem Artikel zwei didaktische Konzepte, Forschendes Lernen und Cognitive Apprenticeship, vorgestellt. Dabei wird Schritt für Schritt eine Implementierung kompetenzorientierter Lehre vorgestellt und mögliche Realisierungsansätze am Beispiel des Paderborner Physik Praktikums 3P anhand von Aufgabenstellungen, studentischen Interaktionen, zeitlichen und organisatorischen Abläufen, Unterstützungsmaterialien sowie Feedbackelementen illustriert.

Die Evaluation wird mithilfe von Fragebögen (Zufriedenheitswerte) realisiert. Auf Basis dieser Rückmeldungen wurde das Konzept evidenzbasiert (weiter)entwickelt. Die Evaluation des Konzeptes auf der Ebene der Kompetenzentwicklung wird aktuell im Rahmen einer Dissertation (Bauer, Reinhold & Sacher, 2020) realisiert.

Aktuell arbeiten wir an einem Relaunch unseres digitalen Feedback-Systems, mit dem individuell auf die Lernziele einer Lernumgebung zugeschnittene Feedbackbögen erzeugt werden können. Dieses Werkzeug (Diffle-Tool) wird zukünftig allen Lehrenden als Web-App zur Verfügung stehen (Sacher, 2018).⁵

Literaturverzeichnis

- Alemani, M. (2017). *Forschendes Lernen im Physikpraktikum. Stifterverband, Fellowships für Innovationen in der Hochschullehre*. Verfügbar unter <https://www.stifterverband.org/lehrfellowships/2017/alemani> [03.04.2020].
- Anderson, L. W. & Krathwohl, D. R. (2001). *A Taxonomy for learning, teaching and assessing – A revision of Bloom’s taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.
- Bauer, A. B.; Reinhold, P. & Sacher, M. D. (2020). Bewertungsmodell zur experimentellen Performanz (Physik)Studierender. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen* (S. 106–110). Wien: GDGP.
- Bauer, A. B. & Sacher, M. D. (2018). Kompetenzorientierte, universitäre Laborpraktika – Das Paderborner Physik Praktikum (3P). *PhyDid B*, 65–72.
- Biggs, J. B. (2003). *Teaching for quality learning at university*. Buckingham: Open University Press/Society for Research into Higher Education. (Second edition).
- Böckelmann C. & Mäder K. (2018). Kollegialer Austausch – kollegiales Lernen. In: *Fokus Personalentwicklung* (S. 199–207). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive-apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Hrsg.), *Knowing, learning, and instruction* (S. 32–42). Hillsdale, NJ: LEA.
- Empfehlung der Konferenz der Fachbereiche Physik (2010). Zur Konzeption von Bachelor- und Masterstudiengängen in der Physik. Verfügbar unter www.kfp-physik.de (Zugriff am: [03.04.2020]).

⁵ Die Entwicklung des Diffe-Tools wird vom Stifterverband und dem Land NRW im Rahmen eines Fellowships für Innovationen in der digitalen Hochschullehre gefördert.

- Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) (2020). *Projektpraktikum. Department Physik*. Verfügbar unter https://www.physik.nat.fau.de/projektpraktikum/#collapse_0 [29.05.2020].
- Fortbildungszentrum Hochschullehre (FBZHL) (2014). *Leitfaden zur Formulierung kompetenzorientierter Lernziele auf Modulebene. Hochschuldidaktik – Beiträge und Empfehlungen des FBZHL der FAU*. Verfügbar unter https://www.fbzhl.fau.de/wp-content/uploads/2014/11/Leitfaeden_FBZHL_1_2013_Lernziele.pdf [03.04.2020].
- Gut-Glanzmann, C. & Mayer, J. (2018). Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121–140). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Haller, K. (1999). *Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum*. Berlin: Logos-Verlag.
- Holmes, N. G.; Wiemann, C. E. & Bonn, D. A. (2015). Teaching critical thinking. *PNAS*, 112 (36).
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *ZfDN* 21 (1), 127–139.
- Huber, L. (2009). Warum Forschendes Lernen nötig und möglich ist. In L. Huber, J. Hellmer & F. Schneider (Hrsg.), *Forschendes Lernen an Hochschulen* (S. 9–35). Berlin: Springer VS.
- International Physicists Tournament (2020). *Problems*. Verfügbar unter <https://iptnet.info/problems/> [03.04.2020].
- Klieme, E. & Leutner, D. (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen – Beschreibung eines neu eingerichteten Schwerpunktprogramms der DFG. *Zeitschrift für Pädagogik* 52 (6), 876–903.
- Kohlrausch, F. (1900). *Kleiner Leitfaden der Praktischen Physik*. Leipzig.
- Nagel, C.; Scholz, R. & Weber, K. (2019). Umfrage zu Lehr/Lernzielen in physikalischen Praktika. *PhyDid B*, 97–109.
- Reinmann, G. (2019). Forschendes Lernen prüfen: Hochschuldidaktische Gedanken zu einer Theorie des Prüfens. *Zeitschrift für Pädagogik*, 4, 608–626.
- Rottlaender, E. (2017). Lehren und Lernen nach Bologna: Kompetenzorientiertes Arbeiten im Labor. In T. Bruckermann & K. Schlüter (Hrsg.), *Forschendes Lernen im Experimentalpraktikum Biologie* (S. 1–9). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Sacher, M. D.; Probst, H. M.; Reinhold, P. J. & Schaper, N. (2015). Entwicklung eines kompetenzorientierten physikalischen Laborpraktikums. In S. Hartz & S. Marx (Hrsg.), *Leitkonzepte der Hochschuldidaktik Theorie – Praxis – Empirie* (S. 128–136). Blickpunkt Hochschuldidaktik. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag.
- Schulz, F. (2013). *Peer Feedback in der Hochschullehre hilfreich gestalten. Onlinegestütztes Peer Feedback in der Lehrerbildung mit der Plattform PeerGynt*. (Schriftenreihe Pädagogische Materialien der TU Kaiserslautern, 46).

- Theyßen, H. (2000). *Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*. Berlin: Logos-Verlag.
- Welzel, M. & Haller, K. et al. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden. Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *ZfDN* 4 (1): 29–44.
- Westphal, W. H. (1938). *Physikalisches Praktikum*. Braunschweig.
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – Eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessung in Schulen* (S. 17–32). Weinheim: Beltz.
- Wilcox, B. & Lewandowski, H. (2017). Students' views about the nature of experimental physics. *Physical Review Physics Education Research* 13.
- Zwickl, B. M. & Finkelstein, N. (2013). The process of transforming an advanced lab course: Goals, curriculum and assessment. *American Journal of Physics* (81): 63–70.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Taxonomie zur Hierarchisierung kognitiver Prozesse. Für eine kognitive Operation auf einer höheren Stufe müssen alle darunterliegenden Operationen erfolgreich bewältigt werden können. In Prüfungen und bei der Gestaltung von Aufgabenstellungen kann auf die Begriffe zurückgegriffen werden, um eine Auseinandersetzung auf der gewünschten Anforderungsstufe anzuregen	54
Abb. 2	Die im 3P zu erlernenden Kompetenzfacetten: Experimentelle Facetten (Mitte), exemplarische Auffächerung der Facette „Experiment optimieren“ (rechts) und fachübergreifende Facetten (links)	56
Abb. 3	Organisationsstruktur der Experimentiereinheit zur Kompetenz <i>Versuchsaufbau entwickeln</i> . Diskussionen zwischen allen sechs Studierenden und Experimentierphasen im Zweierteam wechseln sich ab.	59
Abb. 4	Zeitlicher und inhaltlicher Ablauf des vierten Semesters. Die einzelnen Aktionen führen die Studierenden in Teams allein (grün), in Gegenwart von Lehrenden (blau), Peers (rot) oder Gästen (orange) durch.	60
Abb. 5	Unvollständige Liste der Scaffolding-Materialien im 3P zur Unterstützung der Lernenden. Die Farbgebung gruppiert die Materialien nach Funktionen und Gestaltungsformaten	62
Abb. 6	Ausschnitt des digitalen Feedbackbogens zur Experimentiereinheit Versuchsaufbau entwickeln. Die definierten Lernziele einer Arbeitsphase (fachlich und fachübergreifend) werden dabei als Kategorien aufgeführt, die mithilfe qualitativer Abstufungen eingeschätzt werden	63