

Peer Instruction und Flipped Classroom in der Service-Lehre Physik

J. Enders

Institut für Kernphysik, Technische Universität Darmstadt, Schlossgartenstr. 9, D-64289 Darmstadt
enders@ikp.tu-darmstadt.de

Kurzfassung

Der Beitrag präsentiert einen Erfahrungsbericht zur Umsetzung des *flipped classroom* („invertierte Vorlesung“) in der Service-Lehre Physik an der Technischen Universität (TU) Darmstadt. Dazu wurde der Lernzuwachs in einer invertierten Vorlesung im Service-Bereich mit anderen Service-Veranstaltungen verglichen. Analysiert wurden die Themengebiete Mechanik und Elektrodynamik anhand von konzeptuell *multiple-choice single-answer* Items, die an das *Force Concept Inventory* (FCI), den *Rotational and Rolling Motion Concept Survey* (RRMCS) und den *Conceptual Survey of Electricity and Magnetism* (CSEM) angelehnt waren. Die untersuchten Veranstaltungen richten sich an Studierende (a) der Elektro- und Informationstechnik (*flipped classroom* mit *peer instruction* und konzeptuellen Tutorien in der Präsenzveranstaltung), (b) der Chemie und Materialwissenschaft (konventionell), (c) des Bauingenieurwesens (konventionell) und (d) des Maschinenbaus (konventionell mit punktuell *peer instruction* und teilweise konzeptuellen Aufgaben in den Übungen). Vorläufige Ergebnisse der Untersuchung der Lernfortschritte deuten an, dass sich das Lehr-/Lernszenario positiv auf das konzeptuelle Verstehen der Studierenden auswirkt. Erfahrungen und systematische Schwierigkeiten bei der Interpretation der Ergebnisse werden diskutiert.

1. Einleitung

Insbesondere bei Studierenden mit Nebenfach Physik liegen sehr heterogene Vorkenntnisse des Faches vor. Die Vermittlung der in den Natur- und Ingenieurwissenschaften oder auch in Medizin erforderlichen Kompetenzen in Physik findet außerdem häufig in Großveranstaltungen statt, die auf die Bedürfnisse der Lernenden kaum eingeht. Um aktiver als in den klassischen Vorlesungen mit Demonstrationsexperimenten auf die Fragen und individuellen Schwierigkeiten der Studierenden eingehen zu können und die Teilnehmerinnen und Teilnehmer beim Lernen zu aktivieren, wurde das Konzept der invertierten Vorlesung (*inverted lecture*, *flipped classroom* etc.) vorgeschlagen [1,2]. Die Inversion der Vorlesung ist dabei nicht didaktischer Selbstzweck, sondern dient vor allem dazu, in der zur Präsenzveranstaltung umfunktionierten Vorlesungsstunde zeitliche Freiräume zur Diskussion von Fragen, Aufgaben und Elementen der *peer instruction* [3-5] zu gewinnen. Damit wird die oft nicht oder zu spät stattfindende Phase der Nacharbeit der Wissensvermittlung im Rahmen einer Vorlesung in die Präsenzveranstaltung verlagert; die Vermittlung der grundlegenden Begriffe und Methoden soll hingegen durch das Selbststudium von Arbeitsmaterialien wie Texten und Lehr-Videos bereits vor der Präsenzveranstaltung stattfinden.

Für derartige Lehr-Lern-Szenarien kann in der Literatur insbesondere für den englischsprachigen Raum eine erhöhte Wirksamkeit der Hochschullehre empirisch belegt werden (vgl. z.B. [4,6-9]). Die deutschsprachige Hochschullandschaft unterscheidet sich aber von den Gegebenheiten an z.B. amerikanischen

Universitäten und Colleges. So war es Ziel, die Wirksamkeit eines aktivierenden Lehr-/Lern-Szenarios vor dem Hintergrund einer invertierten Vorlesung zu untersuchen, zu der hierzulande noch relativ wenige Daten vorliegen (vgl. z.B. Ref. [10]). Die verbesserte Wirksamkeit wird hier durch einen erhöhten Lernzuwachs definiert.

Die Messung des Lernzuwachses kann z.B. anhand der Verbesserung der Zahl korrekter Antworten in standardisierten Fragebögen zum konzeptuellen Verständnis abgeschätzt werden. Zu den etablierten Werkzeugen in diesem Feld gehört insbesondere das *Force Concept Inventory* (FCI) von Hestenes und Mitarbeitern [11].

Nach einer Vorstellung des Konzepts, der Implementierung und Weiterentwicklung eines *flipped classroom* – Szenarios für Studierende der Elektro- und Informationstechnik an der TU Darmstadt in Abschnitt 2 wird in Abschnitt 3 dargestellt, wie der Lernfortschritt der Studierenden dieser Veranstaltung und anderer Service-Vorlesungen in Physik erhoben wurde. Abschnitt 4 präsentiert die ersten Ergebnisse und diskutiert sie vor allem vor dem Hintergrund systematischer Unsicherheiten. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick.

2. Konzept und Implementierung

2.1. Erste Umsetzung und Analyse

Zur Motivation der Implementierung, der ersten Umsetzung des Konzepts im Rahmen der Grundlagenveranstaltung Physik für Studierende der Elektro- und Informationstechnik an der TU Darmstadt und einer Bewertung dieser ersten Umsetzung wurde bereits im Vorjahr berichtet [12]. Daher soll hier

nur eine kurze Zusammenfassung des Konzepts vom Vorjahr erfolgen und anschließend auf die Weiterentwicklung eingegangen werden.

In der ursprünglichen Implementierung [12] wurden den Studierenden schriftliche Arbeitsmaterialien und Vorlesungsvideos zur Verfügung gestellt. Die schriftlichen Materialien waren für alle inhaltlichen Abschnitte gleich strukturiert: Nach einer Literaturangabe auf mehrere gängige Lehrbücher wurde das Thema inhaltlich dargestellt. Es folgten konzeptuelle Verständnisfragen sowie einige Rechenaufgaben zu jedem Abschnitt. Jede wöchentliche Lektion war in ca. 3–6 Abschnitte gegliedert. Die Vorlesungsaufzeichnungen wurden nachbearbeitet und entsprechend der Struktur in den Arbeitsmaterialien gegliedert bzw. geschnitten worden, so dass sich ca. 10 – 20-minütige Einheiten ergaben.

In der Präsenzphase wurden anfangs noch die Inhalte wiederholt, die besonders schwierig erschienen. Problematisch war u.a. die Einbindung von Demonstrationsexperimenten in die Präsenzveranstaltung, da derartige Experimente üblicherweise in der Vorlesung eingesetzt werden, um Inhalte bei ihrer Vermittlung zu veranschaulichen. Es bestand die Möglichkeit, Fragen über das Feedback-Werkzeug der Lernplattform Moodle anonym einzureichen, wovon jedoch nur selten Gebrauch gemacht wurde (ca. 2-3 Fragen pro Woche). Diese wurden in der Präsenzveranstaltung thematisiert.

Als verbesserungsfähig wurde u.a. folgendes nach der ersten Implementierung u.a. identifiziert [12]:

- Eine Wiederholung von Inhalten sollte unterbleiben, wenn nicht ausdrücklich danach gefragt wurde. So sollten das Selbststudium der Materialien gefördert und die Beteiligung bei der Formulierung von Fragen angehoben werden.
- Trotz einer über die Moodle-Plattform garantierten Anonymität bei der Einreichung von Fragen wurde von der Möglichkeit kaum Gebrauch gemacht.
- Eine didaktisch sinnvolle Einbindung von Demonstrationsexperimenten in der Präsenzphase wurde als schwierig empfunden.
- Studierende erleben die Präsenzphase trotz Aufgaben, peer instruction – Quizfragen und Fragen im Plenum überwiegend passiv und setzen sich immer noch zu wenig mit dem Stoff auseinander.

2.2. Weiterentwicklung des Konzepts

Über die in Ref. [12] dargestellte Umsetzung des Veranstaltungskonzepts hinaus wurden schrittweise im Sommersemester 2015 (Physik II – Thermodynamik, Elektrodynamik, Optik, Atome und Grundlagen der Quantenphysik, V2 + Ü1) und Wintersemester 2015/16 (Physik I – Physikalische Größen, Mechanik des Massenpunkts, Mechanik des starren Körpers, Schwingungen und Wellen, V2+Ü1) weitere Entwicklungen implementiert.

Zum Sommersemester 2015 wurde zunächst die Wiederholung von Inhalten in der Präsenzphase auf die Beantwortung von explizit formulierten Fragen zum Inhalt reduziert. Darüber hinaus wurde beim Moodle-Feedback-Werkzeug die Anonymität aufgehoben, aber denjenigen Studierenden einen Beitrag zu einem möglichen Klausurbonus angerechnet, die Fragen einreichen. Demonstrationsexperimente wurden stärker zur Wiederholung und Festigung der Inhalte als zur Veranschaulichung von Grundlagen genutzt. Die freigesetzte Zeit in der Präsenzveranstaltung wurde für die Bearbeitung von Aufgaben und Verständnisfragen vor allem aus den Arbeitsmaterialien eingesetzt. Die vorlesungsbegleitenden Übungen waren wie im Wintersemester 2014/15 als 14-tägliche Präsenz- und Hausübungen konzipiert, in denen die Hausübungen der Vorwoche besprochen wurden zusammen mit der Bearbeitung von Präsenzaufgaben zur aktuellen Vorlesungswoche. Punkte auf die abgegebenen Hausübungen trugen dabei zu einem Notenbonus für die Klausur bei.

Zum Wintersemester 2015/16 wurde das Übungskonzept zugunsten der ausschließlichen Besprechung von Hausübungen im Wochenrhythmus verändert. Dafür wurden die Studierenden in der Präsenzphase der Vorlesung ungefähr alle 14 Tage mit konzeptuellen Aufgaben konfrontiert, deren Bearbeitung in der „Vorlesung“ mit Unterstützung von Tutorinnen und Tutoren erfolgte. Unabhängig von diesen Tutorien erhielten die Studierenden zu Beginn jeder Stunde ein Arbeitsblatt mit einer Aufgabe und Platz für Fragen. Zudem wurde begonnen, die Arbeitsmaterialien zu überarbeiten. Die drei letztgenannten Aspekte werden im Folgenden vertieft.

2.3. Weiterentwicklung der Lehr-Lernmaterialien

Die zum Wintersemester 2015/16 begonnene Weiterentwicklung der Lehr-/Lernmaterialien betraf sowohl die PDF-Dokumente, die zur Verfügung gestellt wurden, als auch die Videos. Die schriftlichen Materialien wurden in jedem inhaltlichen Abschnitt einer wöchentlichen Lektion um einen Motivationstext ergänzt. In diesem sollen die Studierenden durch einen Bezug zum Alltag oder zur Geschichte besonders zum Nachdenken über die folgenden Inhalte motiviert werden.

Es wurde begonnen, gezielt Lehrvideos aufzuzeichnen, die die bisher verwendeten Vorlesungsaufzeichnungen ersetzen sollen. Die Struktur der Videos wurde ebenfalls um Alltagsbezüge ergänzt. Der Ersatz der Vorlesungsaufzeichnungen erfolgte daher, da die Qualität bisher begrenzt war und das Vorgehen in einer Vorlesung, in der z.T. mitgeschrieben wurde und auch zum Teil bereits ein Dialog mit dem Auditorium stattfand, oft langsamer ist als unbedingt nötig, zumal die Studierenden die Möglichkeit haben, die Videos anzuhalten und ggfs. Abschnitte mehrfach anzusehen. Damit die Studierenden auch weniger passiv die Lehrvideos konsumieren, wurden am Ende jedes Videos Verweise auf

die Verständnisfragen und Aufgaben der Arbeitsmaterialien eingebunden. Ein weiteres Element, das regelmäßig eingesetzt wird, ist ein „Stoppchild“, bei dem die Studierenden eingeladen werden, die Aufzeichnung anzuhalten und über eine konkrete Aufgabenstellung nachzudenken bzw. Inhalte nachzulesen oder nachzuarbeiten. Derartige „Stoppchilder“ beinhalten Aufforderungen, nach Alltagsbeispielen zu suchen, Hinweise, bestimmte Definitionen oder Kapitel noch einmal anzusehen oder auch das Rekapitulieren von einzelnen Gleichungen.

2.4. Schriftliche Aufgabe und Fragemöglichkeit in der Präsenzveranstaltung

Bei einer früheren Erhebung [12] gaben die Studierenden an, dass sich nur ca. 50% von ihnen tatsächlich auf die invertierte Vorlesung vorbereiten. Nur wenige nutzen die Fragemöglichkeiten, obwohl mit der Anrechnung auf einen Klausurbonus eine zusätzliche (extrinsische) Motivation geschaffen wurde. Andere Studierende beklagten, dass sie erst in der Nacht vor der Vorlesung die Materialien studieren würden. Um eine zusätzliche Möglichkeit zu schaffen, Verständnisschwierigkeiten von Studierenden aufzudecken – insbesondere bei Studierenden, die sich sonst weniger beteiligen – und einen anonymen Kanal aufrecht zu erhalten, Fragen zum Inhalt stellen zu können, wurde für jede Vorlesung ein Aufgabenblatt entworfen, das zu Beginn der Veranstaltung verteilt und von den Studierenden in den ersten 5 Minuten der Veranstaltung bearbeitet werden soll. Das Blatt besteht aus drei „Aufgaben“: einer inhaltlichen einfachen Aufgabe, die die Studierenden nach Durchsicht der Arbeitsmaterialien zu lösen imstande sein sollten; der Aufforderung, den Aspekt zu benennen, der den Studierenden aus der aktuellen Wochenlektion am interessantesten erschien; der Aufforderung, Fragen zu formulieren. Die Blätter werden typischerweise zur Pause eingesammelt und nach offenen Fragen durchgesehen. In der Folgestunde erfolgt eine Besprechung der Aufgabe mit einer quantitativen Auswertung der Lösungen. Je nach Schwierigkeitsgrad geben 20% bis 50% der Studierenden das Aufgabenblatt bearbeitet ab, wobei aber wenige Fragen gestellt werden.

2.5. Tutoren in der Vorlesung

Aus der Erfahrung des ersten Semesters im Modus des *flipped classroom* wurde ersichtlich, dass viele Studierende auch die aktivierenden Elemente häufig nur passiv konsumieren bzw. „aussitzen“. Angeregt durch Untersuchungen aus den USA zu Lernbegleitern, die auch in Vorlesungen eingesetzt werden [13], wurden etwa in jeder zweiten Vorlesungsstunde grundlegende Aspekte des Themas mit Fokus auf das konzeptuelle Verstehen unter Begleitung durch Tutorinnen und Tutoren durch die Studierenden bearbeitet. Die Aufgabenstellungen basieren dabei auf den Tutorien von McDermott und Shaffer [14,15]. Die Studierenden erhalten den Auftrag, bestimmte Abschnitte vor allem in Gruppen zu bear-

beiten, um das Verständnis für die Grundlagen der Inhalte zu vertiefen und Fehlkonzepte bewusst zu machen [16]. Jeder Tutor erhält eine Doppelreihe bzw. einen Bankblock im Hörsaal zugewiesen und betreut so ca. 30 Studierende. Die Tutorienphasen dauern jeweils ca. 20-30 Minuten.

2.6. Beurteilung der Weiterentwicklungen

Die Fokussierung auf Fragen und Aufgaben mit deutlich reduzierter Präsentation von Inhalten ohne studentische Anfrage hat das Konzept gestärkt, wenn auch eine Erhöhung des Prozentsatzes der Studierenden, die sich tatsächlich auf die Präsenzveranstaltung vorbereiten, noch nicht nachgewiesen werden konnte. Die Anzahl online eingereicherter Fragen (mit Berücksichtigung für einen möglichen Notenbonus) ist nun etwa zwei- bis dreimal so hoch wie zur Zeit des anonymen Feedbacks.

Die Fokussierung auf reine Hausübungen im Winter 2015/16 wurde aber im Sommersemester 2016 zugunsten eines wöchentlichen Rhythmus mit sowohl Präsenz- bzw. Gruppenübungen als auch der Besprechung von Hausübungen der Vorwoche wieder verändert, damit die Studierenden einen Grund haben, bei der Veranstaltung anwesend zu sein und eine zusätzliche Gelegenheit zur Interaktion mit ihren Kommilitoninnen und Kommilitonen sowie den die Übung Leitenden.

Die Arbeitsmaterialien liegen nun in verbesserter Qualität vor, jedoch sind die Ergebnisse bei weitem nicht ideal. Der Aufwand der Erstellung der Materialien ist hoch, so dass für eine weitere Verbesserung und bei Interesse an einer breiteren Verwendung Kooperationen zur Weiterentwicklung der Materialien unabdingbar sind.

Die schriftlichen Aufgaben mit Fragemöglichkeit sprechen auch typisch weniger als die Hälfte der Studierenden an - vermutlich also nur die Studierenden, die die Arbeitsmaterialien wenigstens grob durchgesehen haben und die Inhalte zum Teil verstanden zu haben glauben. Im Sinne von echtem *just-in-time teaching* [17] wäre es zu überlegen, die frühere Online-Einreichung von Fragen über Moodle durch das Ausfüllen der Aufgabenzettel zu ersetzen. Die Bewertung der Aufgabe in Verbindung mit der Formulierung von Fragen könnte als für einen Notenbonus relevant umgesetzt werden. Diese Option klingt attraktiv, jedoch sollte berücksichtigt werden, dass die Aufgabenzettel auch in Zusammenarbeit mehrerer Studierender bearbeitet werden und dieser Ansatz von gemeinsamer Aktivität in der Präsenzphase nicht unterbunden werden sollte.

Der Einsatz von Tutoren in der Präsenzphase zur angeleiteten Bearbeitung konzeptueller Fragestellungen aktiviert die Mehrheit der Studierenden. Häufig hat man den Eindruck, dass die Personen erstmals ohne Verwendung einer Formelsammlung über Physik nachdenken. Es zeigt sich, dass der Einstieg in die Tutoriumsphasen zeitintensiv ist und die Studierenden die Art der Aufgabenstellungen

nicht gewohnt sind. Wenn man also nicht den Zeitdruck bzw. eine Arbeitsbelastung signifikant erhöhen [18] und die Tutorien in der Präsenzphase konzentrieren will, so wird dies durch ein langsames Vorankommen im Stoff erkauft, so dass u.a. die physikalische Modellbildung einer Aufgabenstellung und die mathematischen Fertigkeiten zur Bearbeitung weniger im Vordergrund stehen.

3. Lernfortschrittmessungen

3.1. Methodischer Ansatz

Zur Untersuchung der Wirksamkeit eines Lehrkonzepts sollten im Idealfall die Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen der Studierenden vor der Behandlung der Thematik und danach bestimmt werden. Da die Grundlage eines späteren Einsatzes der Physik-Kompetenzen im Berufsalltag darauf fußt, ein Problem zunächst konzeptuell zu verstehen, wurden konzeptuelle Aufgabenstellungen für Pre- und Posttest verwendet. Dies berücksichtigt, dass zwar eine Reihe von Studierenden in der Lage ist, ohne korrektes Verständnis eines Problems vor allem numerische Aufgaben richtig zu bearbeiten; derartige akademische Aufgabenstellungen kommen aber höchstens im weiteren Studium vor.

Der bekannteste Test zur Messung des konzeptuellen Verständnisses in den grundlegenden Gebieten der Physik ist das *Force Concept Inventory* (FCI, [11]), zu dem aus dem englischsprachigen Raum zahlreiche Erhebungen vorliegen [6]. Ferner wurde das FCI bereits in Deutschland auch im Hochschulbereich eingesetzt [19]. Aufgrund der langen Erfahrungen mit dem FCI ist es möglich, bestimmte Bereiche des konzeptuellen Verstehens zu erfassen und mögliche Fehlvorstellungen zu identifizieren. Da das FCI stark auf die Mechanik des Massenpunkts fokussiert und zu den wesentlichen Konzepten, die in den Service-Veranstaltungen für die Natur- und Ingenieurwissenschaften vermittelt werden, auch die Mechanik des starren Körpers und insbesondere die Rotationsbewegung gehören, bietet sich zusätzlich der *Rotational and Rolling Motion Concept Survey* (RRMCS, [20]) zur Messung des Verständnisses und Lernzuwachses in diesem Themenbereich an.

Aus den Themengebieten des zweiten Semesters wurde zur Untersuchung des Lernfortschritts der *Conceptual Survey of Electricity and Magnetism* (CSEM, [21]) als Grundlage ausgewählt. Alle drei Tests sind etablierte Standards und zeichnen sich durch eine Vielzahl von Items aus (FCI: 29 Items in der Originalversion von Ref. [11]; RRMCS: 30 Items; CSEM: 32 Items), die unterschiedliche Aspekte des konzeptuellen Verstehens aus verschiedenen Themengebieten der klassischen Mechanik und der Elektrodynamik adressieren.

Für die Untersuchung der Wirksamkeit wäre es ideal, Gruppen zu vergleichen, die eine ähnliche Sicht auf Physik, ähnliche Vorkenntnisse sowie eine vergleichbare Motivation für das Lernen von Physik

aufweisen. Das sollte insbesondere für Studierende im gleichen Studiengang (mit Nebenfach Physik) gegeben sein. Im hier dargestellten Fall wurde eine Veranstaltung Physik für Studierende der Elektrotechnik und Informationstechnik sowie der Angewandten Mechanik (ca. 15% der Kohorte) auf das *flipped classroom* – Szenario umgestellt, ohne zuvor den Lernzuwachs bei der konventionellen Vorlesung zu erheben. Selbst wenn im konventionellen Vorlesungsbetrieb Daten erhoben worden wären, könnten für die hier beschriebene Veranstaltung keine direkten Schlüsse auf den Lernzuwachs gezogen werden, da zugleich die Studienordnung im Studiengang Elektrotechnik verändert worden war. Um den Einfluss der Persönlichkeit des Lehrenden auf den Lernerfolg auszuschließen, wären die geeignetsten Daten solche, bei denen dieselbe Lehrperson im konventionellen wie im invertierten Modus arbeitet.

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse können aber nur den Lernzuwachs von Studierenden aus unterschiedlichen Studiengängen mit Nebenfach Physik vergleichen, die von unterschiedlichen Lehrenden vor dem Hintergrund unterschiedlicher curricularer Randbedingungen unterrichtet wurden. Die vorlesungsbegleitenden Übungen folgten unterschiedlichen Szenarien. Daher kann die folgende Analyse nur als erster Schritt zur Untersuchung der Wirksamkeit eines aktivierenden Lehr-/Lernformats im Rahmen einer invertierten Vorlesung gesehen werden. Eine Analyse der statistischen Signifikanz der Ergebnisse soll daher auch an dieser Stelle unterbleiben zu Gunsten einer Zusammenstellung von systematischen Unwägbarkeiten.

Maß für die vorläufige Beurteilung der Wirksamkeit soll dabei in Anlehnung an Hake [6] der relative mittlere Lernzuwachs sein. Seien $\langle p_1 \rangle$ und $\langle p_2 \rangle$ die gemittelten Bruchteile korrekter Antworten im Pre- bzw. Posttest, so kann mit Hilfe des absoluten Lernzuwachses $\langle G \rangle = \langle p_2 \rangle - \langle p_1 \rangle$ ein relativer Lernzuwachs $\langle g \rangle = \langle G \rangle / [1 - \langle p_1 \rangle]$ definiert werden, der berücksichtigt, dass eine Gruppe mit guten Vorkenntnissen offensichtlich den Bruchteil korrekter Antworten nicht beliebig steigern kann. Hake identifizierte in seiner Arbeit dabei einen Korridor für „traditionelle Instruktion“ mit $\langle g \rangle < 0,3$ („low g “), wohingegen aktivierende Lehr-/Lernformen in den *medium-g* - Bereich $\langle g \rangle \approx 0,48$ vorstoßen.

3.2. Ausgewählte Fragen

Um möglichst viele Lehrende zur Teilnahme an der Untersuchung bewegen zu können, sollte der benötigte Zeitaufwand in den Vorlesungen oder Übungen überschaubar bleiben. Bei Tests mit je ca. 30 Items ist vermutlich eine ganze Zeitstunde für die Bearbeitung des Fragebogens einzuplanen, was bei einigen Veranstaltungen - wie auch gerade Physik für ET - ca. 10% der gesamten Vorlesungs- oder 20% der gesamten Übungszeit entspräche.

Tabelle 1 listet für den verwendeten Mechanik-Fragebogen die verwendeten acht Items mit den

jeweiligen Referenz-Items aus FCI bzw. RRMCS an. Bei den aus dem RRMCS-Fragebogen entnommenen Items wurde auf die in der Originalarbeit verwendeten erbetenen Begründungen verzichtet, so dass lediglich die *multiple-choice single-answer* Antworten auszufüllen waren.

Item	FCI / RRMCS Item	Thema
1	F 6	Kraftstoß
2	F 7	Kraftstoß
3	F 8	Newton I
4	F 9	Kräfte
5	F 2	Newton III
6	R 5	Drehmoment
7	R 6	Rollbewegung
8	R 8	Rollbewegung

Tab. 1: Items des Mechanik-Fragebogens zur Bestimmung des Lernzuwachses mit Angabe der verwendeten Items aus dem FCI [11], markiert mit „F“ in Spalte 2, und dem RRMCS [20], markiert mit „R“.

Tabelle 2 gibt für die Themenbereiche Magnetismus und Induktion die Items und als Referenz die Item-Nummer aus dem CSEM an. Hier wurde, um die Fertigkeiten zur Berechnung einfachster Zusammenhänge mit zu testen, zusätzlich eine Frage zur Stärke der Lorentzkraft auf eine bewegte Ladung in einem homogenen Magnetfeld hinzugefügt.

Item	CSEM Item	Thema
1	22	Lorentzkraft
2	27	Lorentzkraft
3	29	Induktionsges.
4	30	Induktionsges.
5	--	Lorentzkraft

Tab. 2: Ausgewählte CSEM-Items des Elektrodynamik-Fragebogens.

Durch die relativ begrenzte Auswahl an Items ergibt sich eine relativ große statistische Schwankung, da bereits einzelne falsch angekreuzte Items Auswirkungen auf die erzielten Ergebnisse zeitigen sollten.

3.3. Untersuchte Veranstaltungen

Tabelle 3 stellt die untersuchten Lehrveranstaltungen zusammen. Es handelte sich um die Veranstaltungen für Elektrotechnik-Studierende und Studierende der Angewandten Mechanik (ca. 15% der Kohorte), mit ET in Tab. 3 markiert. Die Veranstaltung ist - ebenso wie die für die angehenden Chemiker/innen (Ch in Tab. 3) zweisemestrig und behandelt im ersten Semester die Mechanik, im zweiten dann unter anderem die Elektrodynamik. Zusätzlich wurden noch angehende Bauingenieure (BI) befragt, deren konventionelle Vorlesung durch speziell begleitete

Lehramtsstudierende in den Übungen betreut wird. Die größte Kohorte stellen die Studierenden des Maschinenbaus dar (MB), die allerdings die Physik-Veranstaltung später als die anderen Probanden besuchen, nämlich entsprechend ihrem Studienplan im dritten Fachsemester und nach einer Einführungsvorlesung in die Elektrotechnik. Bei den Maschinenbau-Studierenden wurden zudem konzeptuelle Fragen in den Übungsgruppen thematisiert.

Gruppe	Semester	Thema und Konzept	N
ET I	WS15/16 1. Fachs.	Mechanik: V2: flipped, PI, Tutoren Ü1: Hausübungen	47
Ch I	WS15/16 1. Fachs.	Mechanik: V3: konventionell Ü1: Gruppen-+Hausü.	26
ET II	SS15 2. Fachs.	Magnetismus: V2: flipped, PI Ü1: Gruppen-+Hausü.	44
Ch II	SS15 2. Fachs.	Magnetismus: V3: konventionell Ü1: Gruppen-+Hausü.	22
BI	SS15 2. Fachs.	Magnetismus: V3: konventionell Ü1: Gruppen-+Hausü. Tutorenschulung, Übungskonzept	76
MB	WS15/16 3. Fachs.	Magnetismus: V2: konventionell, punktuell PI Ü1: Gruppenübung z.T. konzeptuell	93

Tab. 3: Zusammenstellung der untersuchten Veranstaltungen für Studierende der Elektrotechnik (ET I, II), Chemie (Ch I, II), Bauingenieurwesen (BI) und Maschinenbau (MB). Ebenfalls angegeben sind Untersuchungszeitraum, Fachsemester, Thema, Vorlesungs- und Übungskonzept sowie die Anzahl von vollständigen Testbögen.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1. Vorkenntnisse

Die Studierenden, die an den verschiedenen Vorlesungen mit Nebenfach Physik teilnahmen, hatten unterschiedliche Vorkenntnisse und Voraussetzungen. So wurde bei den Fragebögen u.a. erhoben, welche Schulkenntnisse in Physik die Studierenden mitbringen. Die Teilnehmer/innen ordneten ihre Schulkenntnisse in die Kategorien Leistungskurs (schwarz), Grundkurs (schraffiert) und keine Physik (in der Oberstufe/Fachoberschule, grau eingezeichnet) ein. Eine grafische Aufschlüsselung zeigt Abb. 1. In dieser wie den folgenden Abbildungen sind die beiden Kurse, in denen der Lernzuwachs in Mechanik erhoben wurde, links, die Ergebnisse der Kurse in Elektrodynamik rechts abgebildet.

Man erkennt, dass in der Elektrotechnik der Anteil der Studierenden ohne Physikkenntnisse aus der Schule am geringsten und der Anteil der Studierenden mit Leistungskurs Physik am höchsten im Vergleich der untersuchten Veranstaltungen ist. Der Vergleich der beiden Chemie-Veranstaltungen zeigt aber u.a. eine starke Fluktuation der beiden aufeinander folgenden Studierendenkohorten, wobei in der Grafik nur Studierende reflektiert sind, die sowohl Pre- als auch Posttest abgegeben haben.

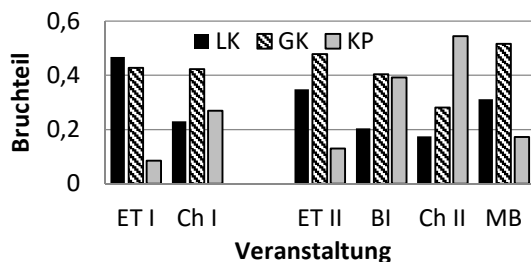


Abb. 1: Bruchteil der Studierenden mit Leistungskurs Physik (schwarz) oder Grundkurs Physik (schraffiert) in der Oberstufe bzw. ohne Physik in der Oberstufe für die untersuchten Veranstaltungen.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Befragungen im Pretest. Am besten schneiden die Studierenden des Maschinenbaus ab, von denen aus der Erhebung der Schulkenntnisse die zweitgrößte Physik-Affinität hinsichtlich ihrer Kurswahl zu erkennen war. Es folgen die Elektrotechnik-Studierenden. Auch zeigt das Bild, dass der Bruchteil der korrekt gegebenen Antworten beim Test über die Lorentzkraft und das Induktionsgesetz vergleichbar ist dem Ergebnis beim Mechanik-Test - und zwar sowohl bei den Elektrotechnik-Studierenden wie bei den angehenden Chemikerinnen und Chemikern.

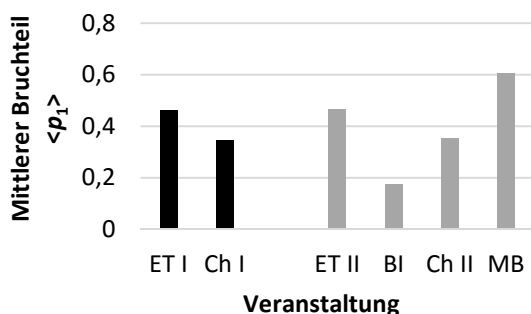


Abb. 2: Ergebnisse der Pretests als mittlerer Bruchteil korrekt beantworteter Fragen. Die Mechanik-Aufgaben sind schwarz, die Fragen zum Themenfeld Magnetismus/Induktion grau dargestellt.

4.2. Absoluter und relativer Lernzuwachs

In den Abbn. 3 und 4 sind die erzielten absoluten (Abb. 3) bzw. relativen Lernzuwächse (Abb. 4) für die verschiedenen Lehrveranstaltungen angegeben. Man erkennt, dass der absolute Lernzuwachs für die Chemiestudierenden in Themenbereich Elektrodynamik besonders hoch war, und zwar vergleichbar mit dem Lernzuwachs der Elektrotechnik-

Studierenden. Da die Vorkenntnisse der angehenden Elektroingenieurinnen und -ingenieure sich in höheren Pretest-Scores ausdrückten, ergibt sich der größte gemessene relative Lernzuwachs für die Kohorte der Studierenden, die im invertierten Vorlesungsformat mit *peer instruction* unterrichtet wurden.

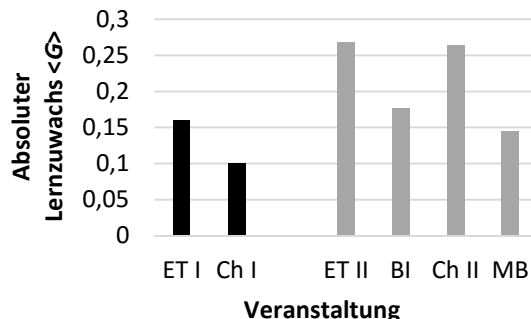


Abb. 3: Mittlerer absoluter Lernzuwachs. Der Themenbereich Mechanik ist wieder schwarz, Magnetismus und Induktion grau dargestellt.

Andererseits war der mittlere absolute Lernzuwachs bei den Chemiestudierenden des folgenden Wintersemesters im Themenbereich Mechanik recht niedrig, was auch bei Normierung auf den maximal möglichen Lernzuwachs bei der Bestimmung von $\langle g \rangle$ zur keiner wesentlichen Verbesserung führt. Generell sind sowohl die Pretest-Scores als auch die absoluten (und damit auch die relativen) Werte des Lernzuwachses, die aus dem Mechanik-Fragebogen erhoben wurden, deutlich niedriger als im Fall der Elektrodynamik.

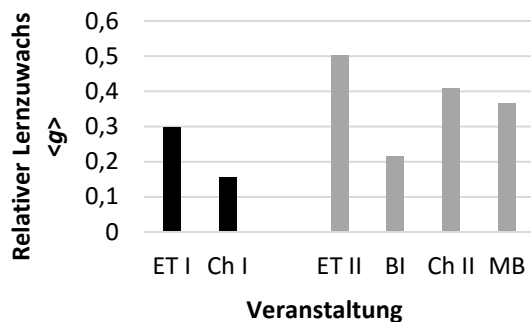


Abb. 4: Mittlerer relativer Lernzuwachs.

Beim Vergleich der Chemiestudierenden mit der Kohorte der angehenden Elektroingenieure ist zu berücksichtigen, dass die Ingenieursstudierenden eine höhere Affinität zur Physik aufweisen und zum Lernen von Physik besser motiviert sind. Vermutlich weisen sie auch größere Fertigkeiten in der Analyse und Bearbeitung physikalischer Probleme auf und sind im Mittel sicherer in der Beherrschung der erforderlichen mathematischen Techniken, was sich auch auf konzeptuelle Aspekte niederschlagen dürfte. Eine besser geeignete Vergleichsgruppe ist daher in Gestalt der Maschinenbau-Studierenden gegeben, die ebenfalls eine hohe Affinität zum Fach Physik aufweist und im Bereich Magnetismus/Induktion sogar bessere Pretest-Werte

erzielt als die Elektroingenieurinnen. Letzteres mag davon beeinflusst sein, dass die Studierenden im dritten Fachsemester den Physikkurs belegen und zuvor bereits eine umfangreiche Einführung in die Elektrotechnik genossen hatten. Die absoluten Lernzuwächse der Maschinenbaustudierenden fallen deutlich niedriger aus als die der Studierenden der Elektro- und Informationstechnik, was bei der Bestimmung von $\langle g \rangle$ nicht allein durch das höhere Vorwissen erklärt werden kann.

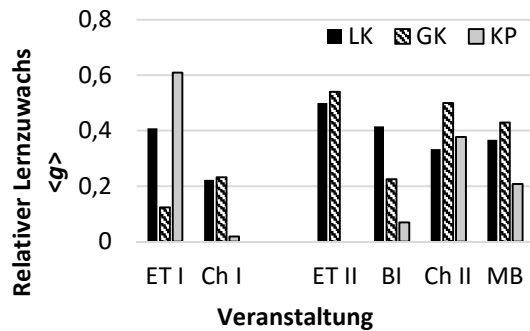


Abb. 5: Relativer Lernzuwachs nach Schulvorkenntnissen: Leistungskurs (schwarz), Grundkurs (schraffiert), keine Physik in der Oberstufe (grau).

Beim Vergleich der Ergebnisse ist es eventuell sinnvoll, neben den Pretest-Resultaten auch die schulische Vorbildung als Maß dafür zu berücksichtigen, wie groß die Physik-Affinität der Studierenden ist, was evtl. Rückschlüsse auf motivationale Aspekte beim Lernen von Physik gestatten könnte. Dazu wurde der relative Lernzuwachs in den einzelnen Veranstaltungen nach den Vorkenntnissen (Leistungskurs, Grundkurs, keine Physik in der Oberstufe) getrennt analysiert. Die Resultate zeigt Abb. 5. Auch vor dem Hintergrund, dass die Personenzahlen in den einzelnen Gruppen sehr stark schwanken, ergibt sich kein einheitliches Bild, das z.B. einen größeren Zuwachs konzeptuellen Wissens bzw. Verstehens in Physik für Studierende belegen könnte, die in der Schule einen Leistungskurs belegt hatten. Zu beachten ist aber, dass die Größe der Unter-Ensembles zum Teil sehr klein ist.

4.3. Diskussion und systematische Unsicherheiten

An Stelle einer Diskussion, ob die erhaltenen Werte für den Lernzuwachs statistisch signifikant sind, soll an dieser Stelle eine Übersicht über die systematischen Ungenauigkeiten gegeben werden, die bei einer Interpretation der Ergebnisse relevant sind.

(a) Nur ein Teil der Studierenden beteiligt sich an der Befragung. Die Anzahl der online registrierten Teilnehmer/innen der Elektrotechnik-Studierenden umfasste betrug im vergangenen Sommer nahezu 300, in der Vorlesung waren anfangs knapp 200, abschließend noch etwa 60 Studierende anwesend. 130 Studierende haben die Klausur mitgeschrieben. Nur ca. 44 Studierende haben sowohl den Pre- als auch den Posttest abgegeben.

(b) Studierende bearbeiten die Aufgaben z.T. gemeinsam. Eine gemeinsame Bearbeitung der Fragebögen mit einer größeren Zahl korrekter Antworten könnte evtl. durch die kollaborative Lernumgebung des invertierten Formats befördert werden.

(c) Studierende nehmen nicht mehr an der Veranstaltung teil. Die Anzahl der Studierenden hat während des Semesters kontinuierlich abgenommen. Die Schwundquoten zwischen Pre- und Posttest bei den betrachteten Veranstaltungen sind bezüglich der Themengebiete Mechanik bzw. Elektrodynamik (mit Ausnahme einer größeren Schwundquote bei den Maschinenbau-Studierenden) vergleichbar.

(d) Nur ein Teil der Studierenden bereitet sich tatsächlich auf die invertierte Vorlesung vor. Im vergangenen Jahr wurde für die Veranstaltung Physik für ET I erhoben [12], dass nur ein Teil angab, sich aktiv auf die Vorlesung vorzubereiten. Ein Teil lehnt in den Evaluationsformularen das invertierte Vorlesungsformat deutlich ab und verweigert sich einer Vorbereitung. Einerseits könnte man nun argumentieren, dass daher in der Präsenzveranstaltung, in der die Tests durchgeführt wurden, besonders motivierte Studierende sitzen. Dieser Annahme widerspricht die Auskunft der Studierenden, dass sich nur 46% der Anwesenden tatsächlich auf die Vorlesung vorbereitet hatten. Der Grund für einen hohen Lernzuwachs ohne Vorbereitung im invertierten Format ist nicht nachvollziehbar.

(e) Die Fragebögen berücksichtigen nur einen kleinen Teil von FCI, RRCMS und CSEM. Allein die geringe Zahl von Test-Items führt dazu, dass einzelne fehlerhafte Antworten das Ergebnis zum Teil deutlich verschlechtern, s.o. Da die Tests unter unterschiedlichen Randbedingungen durchgeführt wurden (unterschiedliche Zeitpunkte in den Vorlesungen, unterschiedlicher Zeitdruck beim Ausfüllen o.ä.) können hier z.B. Flüchtighkeitsfehler das Ergebnis verzerren. Darüber hinaus wurden die englischen Testfragen nach der Übersetzung ins Deutsche nicht validiert.

(f) Das Trainieren des konzeptuellen Verständnisses befähigt eher zum Lösen konzeptueller Fragebögen oder: *Teaching to the test*. Die Fokussierung der Lehre auf die physikalischen Konzepte könnte die Studierenden darauf trainieren, konzeptuelle Tests besser lösen zu können, ohne eigentlich Problemlösekompetenzen in Physik zu verbessern.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Weiterentwicklung der invertierten Vorlesung Physik für Elektrotechnik an der TU Darmstadt wurde vorgestellt. Durch Verwendung des *flipped classroom* ist es möglich, aktivierende Lehr- und Lernformen wie *peer instruction* und Tutoren als Lernbegleiter zur Bearbeitung konzeptueller Aufgaben in der Präsenzveranstaltung einzusetzen.

Eine erste Evaluation der Wirksamkeit dieses Lehr-/Lernszenarios durch Messung des Lernzuwachses

bezüglich physikalischer Konzepte wurde vorgestellt. Die Daten deuten an, dass sich auch vor dem Hintergrund einer deutschen Universität und der hier vorliegenden Randbedingungen innovative Elemente aktivierender Hochschullehre positiv auf das konzeptuelle Verstehen auswirken. Dabei gibt es allerdings wichtige systematische Unsicherheiten, die die Frage nach einer statistischen Signifikanz deutlich überlagern. Eine Möglichkeit zur Reduktion der systematischen Unsicherheiten bestünde darin, auch andere Service-Veranstaltungen als *flipped classroom* mit Tutorien und *peer instruction* anzubieten. Dies ist für die Zukunft vorgesehen.

6. Danksagung

Diese hier vorgestellte Arbeit profitierte von zahlreichen Diskussionen mit u.a. A. Bresges, M. Freudenberger, Y. Fritzsche, A. Glathe, R. Heber, S. A. Hosseinzad, C. Kautz, E. Kremser, G. Kurz, M. Murrmann, F. Rädels, und A. Seyfarth. Ich danke meinen Kolleginnen und Kollegen an der TU Darmstadt, deren Veranstaltungen betrachtet wurden. Dieses Projekt wurde durch die E-Learning-Arbeitsgruppe der TU Darmstadt und aus Mitteln des Landes Hessen zur Verbesserung der Lehre an der TU Darmstadt finanziell unterstützt.

7. Literatur

- [1] Bergmann, J.; Sams, A (2012): Flip your classroom. Reach every student in every class every day. Eugene, Oregon: ISTE
- [2] Handke, J; Sperl, A. (Hrsg.) (2012): Das Inverted Classroom Model. Begleitband zur ersten deutschen ICM Konferenz. München: Oldenbourg-Verlag.
- [3] Mazur, Eric (1996): Peer Instruction: A User's Manual. Boston, MA: Addison-Wesley.
- [4] Crouch, Catherine H.; Mazur, Eric (2001); Peer Instruction: Ten years of experience and results. In: Am J. Phys. 69, 9, 970-977.
- [5] Dancy, Melissa; Henderson, Charles; Turpen, Chandra (2016): How faculty learn about and implement research-based instructional strategies: The case of Peer Instruction. In: Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 12, 1, 010110, 1-17.
- [6] Hake, Richard R. (1998): Interactive-engagement vs. traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. In: Am. J. Phys. 66, 1, 64-74.
- [7] Fagen, Adam P.; Crouch, Catherine H.; Mazur, Eric (2002): Peer Instruction: Results from a Range of Classrooms. In: Phys. Teach. 40, 4, 206-209.
- [8] Turpen, Chandra; Finkelstein, Noah D. (2009): Not all interactive engagement is the same: Variations in physics professors' implementation of Peer Instruction. In: Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 5, 2, 020101, 1-18.
- [9] Bishop, Jacob Lowell; Verleger, Matthew A. (2013): The flipped classroom: a survey of research. In: 120th ASEE Annual Conference & Exposition, Atlanta, GA (2013), url: <http://www.studiesuccessho.nl/wp-content/uploads/2014/04/flipped-classroom-artikel.pdf> (Stand: 5/2016)
- [10] Direnga, Julie; Brose, Andrea; Kautz, Christian (2015): Auswirkung verschiedener Lehrformate auf das konzeptionelle Verständnis im Fach Statik. In: Zentrum für Hochschuldidaktik, DiNa-Sonderausgabe, Tagungsband zum 2. HD-MINT-Symposium, Nürnberg, S. 216-223.
- [11] Hestenes, David; Wells, Malcolm; Swackhamer, Gregg (1992): Force concept inventory. In: Phys. Teach. 30, 3, 141-151.
- [12] Enders, J. (2015): Erste Erfahrungen mit einer invertierten Vorlesung in der Service-Lehre Physik bei großen Hörerzahlen. In: PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1 (2015), S. 1-8, Url: <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/index>
- [13] Learning Assistant Alliance: <http://laa.colorado.edu> (Stand: 5/2016)
- [14] McDermott, Lillian C.; Shaffer, Peter S (2002): Tutorials in Introductory Physics. New York, NY: Pearson.
- [15] McDermott, Lillian C.; Shaffer, Peter S. (2011): Tutorien zur Physik. München: Pearson-Studium.
- [16] Meissner, Barbara; Fleischer, Jane; Zimmermann, Manuela (2015): Fehlkonzepte bewusst machen – Einsatz von Tutorials zur Elektrotechnik und Physik. In: Zentrum für Hochschuldidaktik, DiNa-Sonderausgabe, Tagungsband zum 2. HD-MINT-Symposium, Nürnberg, S. 146-147.
- [17] Novak, Gregor M.; Patterson, Evelyn T.; Gavrin, Andrew D.; Christian, Wolfgang (1999): Just-in-time teaching: Blended active learning with web technology, Boston, MA: Addison-Wesley.
- [18] Cruz; Émerson; O'Shea, Brian; Schaffenberg, Werner; Wolf, Steven; Kortemeyer, Gerd (2010): Tutorials in Introductory Physics: The Pain and the Gain. In: Phys. Teach. 48, 7, 453-457.
- [19] Kautz, C.; Kurz, G.; Girwidz, R. (2002): The Force Concept Inventory: A survey at the UAS Esslingen. In: Proc. Europ. Conf. Phys. Teaching in Engineering Educ. 2002, Leuven.
- [20] Rimoldini, Lorenzo G.; Singh, Chandralekha (2005): Student understanding of rotational and rolling motion concepts. In: Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 1, 1, 010102, 1-9.
- [21] Maloney, David P.; O'Kuma, Thomas L.; Hieggelke, Curtis J.; Van Heuvelen, Alan (2001): Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. In: Am. J. Phys. 69, S1, S12-S23.