

CLASSROOM RESPONSE SYSTEMS IN TUTORIALS

EINSATZ VON CLASSROOM RESPONSE SYSTEMEN IN ÜBUNGEN

Sebastian Zangerle*+, Jochen Kuhn*, Artur Widera*§

*Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Physik – Didaktik der Physik

+Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Physik – Quantenphysik einzelner Atome und ultrakalter Quantengase, Landesforschungszentrum OPTIMAS

§Graduiertenschule Materials Science in Mainz, Gottlieb-Daimler-Str. 47, 67663 Kaiserslautern

ABSTRACT

With his concept of peer instruction Mazur made classroom response systems (CRS) known to a wider audience. Simultaneously he proved its positive effect on students' conceptual knowledge specializing on undergraduate mechanics lectures. Here, we present a possible application of CRS for advanced students in higher education. We demonstrate this in the context of an introductory quantum mechanics lecture complemented by tutorials. Additionally, the effect of CRS on students' attitude toward digital media as well as students' improvement in learning and their confidence is investigated. We find that when using a CRS in the lecture the additional use of CRS in tutorials improves the students' attitude towards digital media but not their conceptual knowledge

Keywords: Classroom response system, recitation sessions; attitude towards digital media

ABSTRACT

Classroom Response Systeme (CRS) können einen positiven Einfluss auf das Konzeptverständnis Studierender in der Studieneingangsphase nehmen, wie Mazur bereits in den 90er Jahren in Verbindung mit „Peer Instruction“ zeigte (Mazur 1997). Wir berichten über den Einsatz von CRS für fortgeschrittene Studierende in Vorlesung und Übungen in Kleingruppen zur experimentellen Quantenphysik. Darüber hinaus untersuchen wir die Wirkung von CRS auf die studentische Einstellung gegenüber digitalen Medien, den Lernzuwachs und die Sicherheit mit der die Studierenden antworten. Es zeigt sich, dass der Einsatz eines CRS in der Übung zusätzlich zum Einsatz in der Vorlesung eine weitere Verbesserung der Einstellung der Studierenden gegenüber digitalen Medien hat, allerdings keinen zusätzlichen Nutzen beim Konzeptverständnis hervorbringt.

Schlagwörter: Classroom Response Systeme, Quantenphysik, Physikstudium, Einsatz digitaler Medien

Accepted: Dezember 2018

1 EINLEITUNG

Seitdem Classroom Response Systeme (CRS) einem breiten Physik-Publikum bekannt gemacht wurden (Mazur 1997), ist das Interesse an Einsatzmöglichkeiten von CRS und den Effekten, die damit erzielt werden können, auch in dieser Disziplin groß (Fies und Marshall 2006). CRS werden auf Grund der in der Anfangsphase häufig verwendeten, einer Fernbedienung ähnlichen Eingabegeräte auch kurz Klickersysteme genannt. Das grundlegende Prinzip ist allgemein aus der TV-Show „Wer wird Millionär“ bekannt, in der für den „Publikumsjoker“ ein CRS verwendet wird (dort: Eine Multiple Choice Frage kann von allen „Zuschauern“ gleichzeitig beantwortet werden und das Ergebnis dieser Abstimmung wird anschließend für alle graphisch dargestellt). Abbildung 1 zeigt beispielhaft eine CRS-Frage mit dazugehöriger Antwortenverteilung. Bisher ist mit dem Einsatz von CRS auch stets eine methodische Umgestaltung der Lehre bis hin zu „Peer Instruction“ verbunden. Wir untersuchen die CRS-Integration ohne Änderung der Lehrsituation, um eine breite Implementierbarkeit in „traditionelle“ Lehr-Lern-

Organisationen zu gewährleisten und eine für diese Fälle erzielbare Lernwirkung zu untersuchen. Neben der Untersuchung der Lernwirkung zielen wir damit zudem auf die Entwicklung einer neuen Methode zur Identifikation von Fehlkonzepten sowie auf die Untersuchung der Medieneinstellung ab.

Der Einsatz von CRS in Vorlesungen ist bereits hinsichtlich zahlreicher Fragestellungen untersucht.

Was muss man tun um kurze Laserpulse erzeugen zu können?



Abb. 1: Oben: CRS-Frage aus der Vorlesung (Kapitel 8, siehe Anhang 2)

Unten: Liveauswertung der Ergebnisse

Über den Einsatz in Übungsgruppen wird nur sehr vereinzelt berichtet (als Beispiel: Blasing et al. 2014). Allerdings fehlen in den wenigen Beispielen

systematische Untersuchungen lernförderlicher Effekte durch den Einsatz von CRS in Übungen oder Effekte auf die Medieneinstellung.

In diesem Beitrag beschreiben wir zunächst die Lehrveranstaltungen in denen wir CRS eingesetzt haben, und erläutern das Instruktionsmaterial. Danach werden die Testmaterialien (ein Fragebogen zur Einstellung gegenüber digitalen Medien und ein Leistungstest zur Wellenphysik) eingeführt und das zugrunde liegende Design der Untersuchung mit den verwendeten Auswerteverfahren beschrieben. Abschließend werden die Ergebnisse präsentiert, diskutiert und ein Ausblick gegeben. Eine Beschreibung des verwendeten CRS findet sich im Anhang.

2 Forschungsstand und theoretischer Hintergrund

Die Vorteile von CRS in Lehrveranstaltungen sind vielschichtig. Studierende sind in Veranstaltungen mit CRS-Fragen speziell bei Großvorlesungen generell kommunikativer und aktiver, sodass auch Fragen ohne CRS Einsatz eher beantwortet (Wood 2004) und mehr Fragen gestellt werden (Elliot 2003; Beekes 2006). Durch das Festlegen auf eine Antwort identifizieren sich die Studierenden stärker mit der Frage und sind auch in der anschließenden Diskussion stärker beteiligt (Wit 2003). Die Anonymität, die durch CRS gewährleistet wird, spielt dabei eine große Rolle. Der Einfluss von Gruppendynamiken, wie z.B. Angst, vor der Gruppe falsche Antworten zu geben oder im sozialen Gefüge der Gruppe auf Grund einer Antwort oder Wortmeldung abzustiegen) wird durch die Anonymität reduziert und die Wahrscheinlichkeit, dass das Wissen oder die Meinung zu einem Thema durch die Frage beeinflusst wird, ist erhöht (Ainsworth et al. 2011). Gerade bei konzeptionell anspruchsvollen Fragestellungen wird deutlich, wie stark das Konzeptverständnis in der Lerngruppe variiert (Roschelle et al. 2004). Dabei erkennen die Studierenden aber auch, dass sie nicht die Einzigen sind, wenn sie etwas nicht verstanden haben (Knight und Wood 2005; Beatty 2004). Andererseits fördert der CRS-Einsatz auch stärker das selbstständige Lösen von Aufgaben und das direkte Feedback zu den gelösten Aufgaben erhöht die Selbstwirksamkeitserwartung der Lernenden (Beatty und Gerace 2009). Dies bietet gerade großes Potential, Fehlvorstellungen zu identifizieren und ihnen entgegenzuwirken. Aufgaben, die in der Vorlesung im Rahmen von CRS-Fragen gelöst werden sollen, werden von Studierenden doppelt so häufig bearbeitet, wie Fragen ohne Abstimmungsmöglichkeit für das ganze Auditorium (Cutts et al. 2004). Untersuchungen zeigen, dass sich die Leistung der Studierenden zum Beispiel in Klausuren in Bezug auf Konzeptverständnis oder ihre allgemeine Lernleistung verbessern (Caldwell 2007). Durch den Einsatz von CRS konnte der durchschnittliche Leistungswert in einem Konzepttest für Quantenmechanik (QMCS, McKagan et al. 2010) im

Vergleich zur traditionell unterrichteten Gruppe um über 20 Prozentpunkte auf knapp 90% gesteigert werden. Bei der Nachhaltigkeit des konzeptionellen Wissens zeigte sich im Vergleich mit einer Kontrollgruppe kein Unterschied (Deslauriers und Wieman 2011). Diese Beobachtungen decken sich mit denen, die man bereits für die Mechanik und Elektrodynamik gemacht hat (Mazur 1997, Duncan 2004). Ein weiteres Beispiel für CRS in der Quantenmechanik ist die Entwicklung des „Quantum Mechanic Surveys“ (QMS, Singh 2008), der parallel zu und unter Einbezug der Ergebnisse einer CRS-Fragenfolge für die Quantenmechanik entwickelt wurde und ähnliche Ergebnisse wie die bereits oben berichteten lieferte (Singh und Zhu 2012). Der ganzheitliche Einsatz von CRS sowohl in Vorlesungen als auch in Übungsgruppen wird bisher nicht berichtet. Es gibt generell sehr wenige Ansätze dafür, CRS strukturiert auch in Übungsstunden einzusetzen (s. z.B. Blasing et al. 2014).

Als theoretischer Hintergrund zur Lernförderlichkeit von CRS kann die Conceptual Change Theorie (CCT) herangezogen werden. Um effektiv fachwissenschaftliches Wissen vermitteln und entwickeln zu können, ist es zunächst notwendig, die Voraussetzungen und Vorerfahrungen, die die Lerngruppen mitbringen, zu kennen (Krüger 2007). Für diese Analyse kann ein CRS gewinnbringend eingesetzt werden. Ausgehend von dieser Analyse ist es entscheidend, ob ohne explizites Vorwissen Konzepte aufgebaut, bei lückenhaftem Vorwissen Konzepte ergänzt oder bei fehlerbehaftetem Vorwissen Wissensstrukturen verändert werden müssen und wie vernetzt das Vorwissen ist (Chi 2008).

Im Fall fehlerhaftem Vorwissens werden im Rahmen der CCT vier Bedingungen identifiziert, die für eine Umstrukturierung des vorhandenen Wissens erfüllt sein müssen (Schnotz 2006; Krüger 2007).

- Es muss Unzufriedenheit mit der existierenden Vorstellung herrschen.
- Die neue Vorstellung muss Verständlichkeit besitzen.
- Die neue Vorstellung muss Plausibilität besitzen (kann Probleme lösen, die die alte Vorstellung nicht lösen kann).
- Die neue Vorstellung muss Fruchtbarkeit besitzen. Das heißt, dass auf sie aufgebaut werden kann und sie auf andere Fälle übertragbar ist.

CRS bieten vielfältige Möglichkeiten diese Bedingungen zu erfüllen. Konzeptbezogene Klickerfragen, die von den Lernenden ihren Fehlkonzepten entsprechend beantwortet wurden, werden umgehend korrigiert und die Ergebnisse der Gruppe zur Verfügung gestellt. Dadurch kann sich bei falsch beantworteten Fragen direkt Unzufriedenheit einstellen. Yourstone et. al (2008) haben gezeigt, dass das direkte Feedback durch CRS einem verzögerten Feedback durch Pencil und Paper Tests in Bezug auf Lernförderlichkeit überlegen ist.

Insbesondere erfüllt diese Form des Feedbacks durch CRS die Kriterien für gutes Feedback nach Hattie (Hattie und Timperley 2007). Durch CRS Fragen können Ziele definiert, ein aktueller Stand des Lernenden auf dem Weg zu diesem Ziel rückgemeldet und die nächsten Schritte auf diesem Weg definiert werden. Deshalb kann Feedback als eigenständige Säule der Theorie zur Lernförderlichkeit von CRS gesehen werden.

Verständlichkeit kann mit gezielten, eventuell kleinschrittigen Fragen gefördert werden, die langsam das jeweilige Gesamtkonzept aufbauen (Mehan 1996). Eine häufige Kritik am von Mehan (1996) eingeführten „Initiate Response Evaluate“-Modell lautet, dass immer nur einzelne Lernende durch fragend entwickelnden Unterricht angesprochen werden und der Lehrer einen hohen aktiven Anteil am Unterricht hat (Cazden 2001). Dem kann durch CRS-Einsatz entgegen gewirkt werden, da alle Lernenden in den Frage-Antwort Prozess involviert sind. Dadurch, dass der Dozent sofort Rückmeldung über den Stand der Lerngruppe an jedem dieser kleinen Schritte erhält, kann sofort interveniert (Corrective Feedback) und somit die Bildung von Fehlkonzepten unterbunden werden (Graesser et al. 1995). Hierbei wird also die Feedbackeigenschaft des CRS für den Dozenten effektiv genutzt.

Die Feedbackeigenschaft für die Studierenden spielt bei den Bedingungen Plausibilität und Fruchtbarkeit eine entscheidende Rolle. Die Studierenden können im Rahmen von CRS-Aufgaben neue Konzepte anwenden und übertragen und bekommen direktes Feedback. Damit verbunden ist auch die direkte Selbstwirksamkeitserfahrung und die Bestätigung, dass die neue Vorstellung, die übernommen werden soll, auch die Probleme löst, die mit der alten Vorstellung nicht vereinbar waren.

Diese Anwendung von CRS auf die Bedingung aus der CCT erfüllt gleichzeitig die Kriterien für kognitive Aktivierung (Hugener et. al 2008): Die Lernenden werden durch Aufgaben angesprochen, deren Vorwissen wird aktiviert und anschließend werden eigene Ideen, Konzepte und Lösungen in einem evolutionären Prozess eingebunden.

Basierend auf den bisherigen Forschungsergebnissen und der Rahmentheorie zu Conceptual Change ergeben sich folgende Hypothesen:

1a. Der Einsatz von CRS in der Vorlesung fördert die positive Einstellung gegenüber digitalen Medien.

1b. Der Einsatz von CRS in Übungen zusätzlich zum Einsatz in den Vorlesungen verstärkt die Entwicklung einer positiven Einstellung gegenüber digitalen Medien.

Die direkte Rückmeldung und damit verbundene gesteigerte Selbstwirksamkeitserfahrung in Kombination mit der Erkenntnis des besseren konzeptionellen Verständnisses erzeugt eine positive Einstellung gegenüber dem CRS und in Folge dessen auch gegenüber digitalen Medien in Lehrveranstaltungen allgemein. Der zusätzliche Einsatz in den Übungen verstärkt den Effekt zum einen aufgrund einer höheren

Dosierung, zum anderen, weil die Lernförderlichkeit in einem ganzheitlichen Konzept in allen Bereichen der Ausbildung erfahren wird.

2. Der Einsatz von CRS in den Übungen fördert das konzeptionelle Verständnis

Die Erwartung, dass CRS auch in Übungen einen positiven Einfluss auf das konzeptionelle Verständnis haben, resultiert aus den Ergebnissen, die zum CRS Einsatz in Vorlesungen vorliegen und soll in dieser

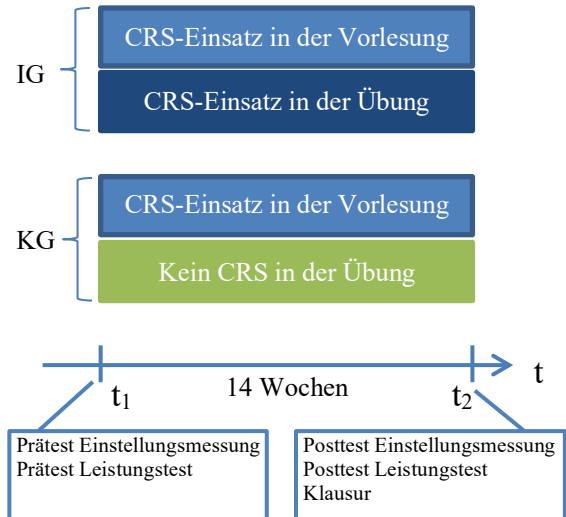


Abb. 2: Kontrollgruppen Design mit Messzeitpunkten

anderen Lernsituation überprüft werden. Das konzeptionelle Verständnis soll mit Hilfe eines Leistungstests zur Wellenphysik gemessen werden.

Eine weitere Überprüfung dieser Hypothese soll auf Grundlage der Klausurergebnisse stattfinden. Verbessertes konzeptionelles Verständnis wirkt sich zum einen auf konzeptionell ausgerichtete Klausuraufgaben aus, zum anderen gibt es bereits Nachweise, dass auch reine Wissens- und Rechenaufgaben von einem verbesserten konzeptionellen Wissen profitieren (z.B. Mazur 1997).

Hypothese 3a: Die Antwortsicherheit bei richtiger Antwort nimmt zu und bei falscher Antwort ab.

Durch den CRS Einsatz wird auf Grund des regelmäßigen Feedbacks die Selbsteinschätzung trainiert und das Selbstkonzept verbessert. In Kombination mit verbessertem Konzeptverständnis führt das zu einer höheren Sicherheit bei richtigen Antworten und bei falschen Antworten zu einer geringeren Sicherheit. Wie bei Hypothese 1 wird auch hier ein Dosiseffekt vermutet.

Hypothese 3b: Der Einsatz von CRS in Übungen zusätzlich zum Einsatz in den Vorlesungen verstärkt den Einfluss auf die Antwortsicherheit entsprechend Hypothese 3a.

3 Materialien und Methode

3.1 Design

Zu Beginn (Zeitpunkt t_1) und zum Ende (Zeitpunkt t_2) des Semesters wurden jeweils der Einstellungstest gegenüber digitalen Medien und der Leistungstest zur Wellenphysik durchgeführt. Der Einstellungstest wurde in der Vorlesung erhoben, der Leistungstest in der Übung. Im untersuchten Semester gab es vier Übungsgruppen, von denen zwei als Interventionsgruppe und zwei als Kontrollgruppe zufällig ausgewählt wurden.

Die Intervention besteht darin, dass in der Interventionsgruppe Umfragen mit dem CRS durchgeführt werden und anschließend die Erklärung präsentiert wird. Die Kontrollgruppe erhält nur die Erklärung ohne Umfrage mit dem CRS.

3.2 Stichprobe

Nach Bereinigung um unvollständige Datensätze blieb für die Messung der Einstellung gegenüber digitalen Medien im Wintersemester 16/17 eine Stichprobe von $N=38$ übrig (matched sample aus der ersten Erhebung zu Beginn der Vorlesungszeit und der zweiten Erhebung am Ende der Vorlesungszeit davon drei Lehramtsstudierende und zwei Nebenfachstudenten). Die Stichprobe teilt sich in 17 Studierende in der Interventionsgruppe und 21 in der Kontrollgruppe auf.

Für den Leistungstest zur Überprüfung des konzeptionellen Verständnisses gibt es $N=47$ verwertbare Datensätze (25 für die Kontroll- und 22 für die Interventionsgruppe; matched sample aus der ersten Erhebung zu Beginn der Vorlesungszeit und der zweiten Erhebung am Ende der Vorlesungszeit). Darunter sind fünf Lehramtsstudierende und zwei Nebenfachstudierende. Da der Leistungstest (zur Wellenphysik) in der Übung und der Fragebogen zur Einstellung gegenüber digitalen Medien in der Vorlesung durchgeführt wurden (s. 4.4), unterscheiden sich die Zahlen leicht.

Die Teilnehmer befinden sich fast ausschließlich im dritten oder vierten Fachsemester. Die Wellenmechanik ist aus klassischer Mechanik und Optik/Elektrodynamik bekannt.

3.3 Die Lehrveranstaltungen

3.3.1 Vorlesung zur experimentellen Quantenphysik

Im Folgenden wird der CRS-Ansatz exemplarisch am Beispiel des Physikstudiums an einer mittelgroßen deutschen Universität skizziert, was aber infolge sehr ähnlicher Studienstruktur in der Regel auf die deutschsprachigen Universitäten und Hochschulen übertragbar ist.

Die Vorlesung zur experimentellen Quantenmechanik findet im dritten bis vierten Semester statt und wird jährlich angeboten. Der Hörerkreis beinhaltet Studierende verschiedener Studiengänge mit Schwerpunkt Physik, inklusive Physik-Lehramts- und Nebenfachstudierende anderer Fachrichtungen. Es gibt

zwei Vorlesungstermine pro Woche à 90 Minuten. Die Vorlesung bietet eine Einführung in Themen der Quantenphysik und umfasst auch Eigenschaften von Atomen, Materiewellen und Atomphysik. Das überwiegend verwendete Lehrbuch ist Experimentalphysik 3 von Wolfgang Demtröder (Demtröder 2010). Eine Inhaltsangabe der Vorlesung ist im Anhang zu finden.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die Konzeption der CRS-Fragen auf die Kriterien des Conceptual Change-Ansatzes abgestimmt und das CRS in jeder Vorlesung eingesetzt. So wurden die CRS-Fragen/-Aufgaben auf aus Studien bekannte Fehlvorstellungen ausgerichtet und somit Unzufriedenheit mit der existierenden Vorstellung provoziert. Nach Identifikation von Fehlvorstellungen basierend auf den CRS-Antworten wurden die folgenden Inhalte dem Conceptual Change-Ansatz folgend auf die Verständlichkeit, Plausibilität und Fruchtbarkeit zur Entwicklung genau dieser Vorstellung ausgerichtet. Pro Vorlesung wurden im Schnitt 2 CRS-Fragen gestellt.

3.3.2 Übung zur experimentellen Quantenphysik

Neben dem Einsatz in der Vorlesung wurde das CRS zusätzlich in den Übungsstunden eingesetzt. Es ist nachgewiesen, dass CRS die Beteiligung in Lehrveranstaltungen erhöhen (s.o.), was gerade in Übungen mit ihrem guten Betreuungsverhältnis und hoher Beteiligung von studentischer Seite förderlich ist. Auch hier kann das CRS durch die Anonymität, die es gewährleistet, Einflüsse von Gruppenkonformität minimieren und die Chance auf einen Wandel der Wissensstrukturen erhöhen. In den Übungen werden konzeptionell anspruchsvolle Themen behandelt und sollten auch durch CRS unterstützt werden. Dadurch, dass die Studierenden bereits im Vorfeld die Aufgaben bearbeitet haben, liegt ein anderer Grad des Durchdenkens der behandelten Konzepte im Gegensatz zur Vorlesung vor, sodass mit dem CRS auch an diesem Niveau zusätzlich angesetzt werden kann.

Der formale Aufbau der Übung ist wie folgt: Jede Woche wird ein Übungsblatt ausgegeben, das eigenständig bevorzugt in Zweiergruppen bearbeitet wird. Die Lösungen werden abgegeben, korrigiert und in der darauffolgenden Woche in Übungsstunden mit ca. 20 Teilnehmenden besprochen. Der Arbeitsaufwand zur Bearbeitung eines Übungsblatts beträgt etwa acht Stunden. Das Bearbeiten der Übungsblätter sowie die Teilnahme an den Übungsstunden sind Voraussetzung für die Klausurteilnahme. Es müssen mindestens 50% der mit den Übungsblättern zu erreichenden Punkte für die Klausurzulassung erreicht werden. Bisher gab es in den Übungsgruppen keinen Einsatz von CRS.

In den Übungsgruppen lassen sich die Ansätze aus der Conceptual Change Theorie besonders effektiv umsetzen. Bei der Auswahl der Themen werden explizit solche berücksichtigt, die nach Analyse der abgegebenen Lösungen Schwierigkeiten bereiteten. Eine CRS Frage, die daraufhin mit dem aktuellen Wissen und Konzepten nicht gelöst werden kann, erzeugt Unzufriedenheit.

Dadurch, dass Themen aus den Übungen für die CRS Fragen aufgegriffen werden, kann das neue Konzept, das während der Erklärungen zur Aufgabe aufgebaut wird, direkt auf Verständlichkeit und Plausibilität geprüft werden. Die Förderung ergibt sich zum Beispiel aus aufeinander aufbauenden oder konzeptionell ähnlichen Übungsaufgaben.

3.4 Instruktionsmaterial

3.4.1 Instruktionsmaterial für die Vorlesung

Es wurden für jede Vorlesung auf Grundlage der Inhalte der vorhergehenden eine oder mehrere CRS-Umfragen erstellt. Die Fragen waren sowohl faktenbezogen, als auch von konzeptionellem Inhalt. Insgesamt wurden 29 Fragen für 25 Vorlesungen zu den Themengebieten Atommodelle, Grundlagen der Quantenmechanik und Atom-Licht-Wechselwirkung erstellt. Dabei wurden Themen ausgewählt, die einer weiteren Vertiefung bedurften oder die aus der Literatur bekannten Fehlvorstellungen unterliegen. Um im Sinne der Conceptual Change Theorie vorzugehen wurde auch darauf geachtet, dass im zeitlichen und inhaltlichen Rahmen der Vorlesung eine angemessene und verständliche Erklärung der Phänomene möglich ist und im unmittelbaren Verlauf der Vorlesung Anwendungen der im CRS behandelten Problemstellungen gezeigt werden.

3.4.2 Instruktionsmaterial für die Übung

Von den Übungsgruppenleitern (wiss. Mitarbeiter) wurde zwischen Korrektur und Besprechung des Übungsblatts analysiert, welche Aufgaben von den Studierenden am schlechtesten gelöst wurden, welche konzeptionellen Probleme dafür verantwortlich bzw. wo sonst noch Fehlkonzepte aufgetreten sein können. Aus der Analyse dieser Daten folgt die Konstruktion der CRS-Fragen für die Übungsstunde, die nach der Conceptual Change Theorie Unzufriedenheit mit den bisherigen Wissenskonzepten generieren sollen. Die Analyse der Abstimmungsergebnisse kann genutzt werden, um vermutete vorhandene Fehlkonzepte zu verifizieren. Außerdem wird auf Grundlage der in den Übungen identifizierten Problemthemen eine vorgefertigte Kurzpräsentation erstellt, mit der die Übungsgruppenleiter auf die Antworten ihrer Gruppe reagieren und zusätzliche oder vertiefende Erklärungen zu den behandelten Phänomenen liefern können. Der Schwerpunkt dieser Präsentation liegt auf der Verständlichkeit, aber auch auf der Plausibilität des neuen Konzepts in Hinblick auf das in den Übungen gestellte Problem. Die doppelte Iterationsstufe durch Analyse der Abgaben und Reflexionsangebot durch den Einsatz des CRS führt dazu, dass tatsächlich vorhandene Probleme und inhaltliche Unzufriedenheiten behandelt werden und nicht nur die, die laut Literatur und Erfahrung vermutet werden. Diese Kombination macht das Vorgehen aus unserer Sicht besonders geeignet, um konzeptionelle und fachliche Problemfelder zu bearbeiten.

Nach diesem Muster wurden für zehn Übungen Umfragen und Lösungspräsentationen erstellt und eingesetzt (siehe Tab.1).

Tab. 1: Themen der CRS-Umfragen für die Übungen

Nr.	Thema der Umfrage
1	Mittlere freie Weglänge
2	Kraft-Potential Zusammenhang am Bsp. L.J.-Potential
3	Freier Spektralbereich
4	Zusammenhang von Intensität und Photonenzahl
5	Fouriertransformation
6	Kinetische Energie von Teilchen aus Formeln und Graphen ablesen
7	Energieerhaltung beim Tunneleffekt
8	Projektion erlaubter Zustände im Potentialkasten
9	Laserresonator/Zustände im Kastenpotenzial
10	Stern-Gerlach Versuch

3.5 Testinstrumente

Zur Einstellung gegenüber digitalen Medien wurde ein Fragebogen in Anlehnung an eine Subskala des „Inventars zur Computerbildung“ (INCOBI; Richter et al. 2001) mit einer siebenstufigen Likertskala (1=Trifft voll und ganz zu, 7=Trifft gar nicht zu) verwendet (siehe Tab. 2). Cronbach $\alpha=0,76$, mittlere Diskrimination: 0,35, mittlere Trennschärfe: 0,6.

Weiterhin wurde ein konzeptbezogener Leistungstest (siehe Tab. 3) zur Wellenphysik auf Grundlage verschiedener Konzepttests entwickelt (4WADI, Caleon und Subramaniam 2010; MWCS, Tongchai et al. 2009; WDT, Wittmann 1998), der für spätere experimentelle Studien im Untersuchungszeitraum pilotiert wurde. Der Test enthält weiterhin zu jeder Aufgabe eine sechsstufige Abfrage der Antwortsicherheit. Der Leistungstest zur Wellenphysik enthält Inhalte der Quantenmechanik und verwandte Probleme aus der Mechanik und Optik, die mit analogen Lösungsstrategien und mathematischen Methoden bearbeitet werden. Cronbach $\alpha=0,63$, mittlere Diskrimination: 0,53, mittlere Trennschärfe: 0,33.

Tab. 2: Items zur Messung der Einstellung gegenüber digitalen Medien

Nr.	Text
LME1	Der Einsatz von digitalen Medien in Lehrveranstaltungen ermöglicht entdeckendes Lernen
LME2	Für die Vermittlung von Lerninhalten kann der Einsatz digitaler Medien nützlich sein
LME3	Ich fände es gut, wenn in Lehrveranstaltungen digitale Medien stärker genutzt werden
LME4	Ich bin der Meinung, dass ich durch den Einsatz von digitalen Medien in Lehrveranstaltungen besser lernen könnte
LME5	Der Einsatz von digitalen Medien ermöglicht selbstbestimmtes Lernen
LME6	Ich kann mir vorstellen, wie digitale Medien in Lehrveranstaltungen sinnvoll eingesetzt werden können

LME7 Ich denke, dass ich durch den Einsatz von digitalen Medien in Lehrveranstaltungen motivierter bin.

3.6.1 Auswerte-/Analyseverfahren für die Klausurleistung

Es wurde anhand der Übungsgruppenzugehörigkeit überprüft, welche Studierenden in der Kontroll- und welche in der Interventionsgruppe waren. Eine Betrachtung der Ergebnisse unter Kontrolle der Einstellung gegenüber digitalen Medien oder Leistung zu Beginn des Semesters ist nicht möglich, da die Testergebnisse nur codiert vorliegen, die Klausur aber selbstverständlich unter Klarnamen geschrieben wurde. Daher wurde mit Hilfe einer ANOVA untersucht, ob es zwischen der Kontroll- und der Interventionsgruppe statistisch signifikante Unterschiede gab.

Tab. 3: Items des Leistungstests zur Wellenphysik

Nr.	Inhalt des Items
1	Ausbreitung von Wellen im Seil, Abhängigkeiten der Ausbreitungsgeschwindigkeit
2	Wellenformen
3	Wellengleichung, Auswirkungen der verschiedenen Parameter
4	Interpretation einer Abbildung, evaneszente Welle (Optik und QM)
5	Elektromagnetische Welle an Grenzfläche
6	Akustische Welle im einseitig geschlossenen Zylinder
7	Resonatorbedingungen
8	Lichtbrechung
9	DeBroglie Wellenlänge
10	Wellenfunktion und Aufenthaltswahrscheinlichkeit
11	Wellenfunktionen im unendlich tiefen Potentialtopf
12	Intensität und E-Feld einer elektromagnetischen Welle

Zusätzlich zu den beiden Tests wurde die Klausurleistung ausgewertet. Dazu wurde bei der Erstellung der Klausur darauf geachtet, dass Aufgaben gestellt werden, die einen Bezug zu den Umfragen in den Vorlesungen oder zu den Umfragen in den Übungen oder zu beidem haben, um in diesen Kategorien Kontroll- und Interventionsgruppe miteinander vergleichen zu können.

3.6 Auswerte-/Analyseverfahren

Zunächst wurden unvollständige Datensätze entfernt. Weitere statistische Analysen wurden in SPSS 24 durchgeführt.

Zunächst wurde sowohl für die Items des Einstellungstests als auch für den Leistungstest eine Itemstatistik erstellt. Items mit geringem Mittelwert (< 0,3), geringer Trennschärfe (<0,2) und niedrigem Diskriminationsindex (<0,3) wurden aus der Skalenbildung ausgenommen. Die verbliebenen Items wurden jeweils faktorenanalytisch untersucht und Skalen gebildet. Aus den Antwortsicherheiten der Items, die in die Leistungsskala eingeflossen sind wurde eine Antwortsicherheitsskala gebildet.

Zur Untersuchung der so entstandenen Skalen wurde die Kovarianzanalyse (Ancova) eingesetzt, im Falle nicht vorhandener Korrelationen zwischen möglichen Kovariaten und der Zielvariable die Varianzanalyse (Anova), beziehungsweise beim Vergleich von Prä- und Postwerten eine (Ko-)Varianzanalyse mit Messwiederholung. Dazu wird jeweils der Wert der F-Statistik F sowie der Signifikanzwert p angegeben. Als Effektstärke wird jeweils η^2 (totales eta-quadrat) angegeben. Der Mittelwert wird mit MW und die Standardabweichung mit SD bezeichnet.

4 Ergebnisse

Tab. 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Skalen, sowie der Klausurergebnisse. LME: Einstellung gegenüber digitalen Medien. Welle: Leistungstest zur Wellenphysik. CS: Confidence Score im Leistungstest zur Wellenphysik. CS_r: CS bei richtiger Antwort. CS_f: CS bei falscher Antwort. KG: Kontrollgruppe. IG: Interventionsgruppe.

	Prä		Post	
	MW	SD	MW	SD
LME	0,5	0,1	0,7	0,1
LME KG	0,5	0,1	0,7	0,1
LME IG	0,6	0,1	0,8	0,2
Welle	0,3	0,2	0,4	0,2
Welle KG	0,3	0,2	0,5	0,3
Welle IG	0,3	0,3	0,4	0,2
CS	0,5	0,1	0,7	0,1
CS KG	0,5	0,1	0,7	0,2
CS IG	0,5	0,1	0,8	0,1
CS_r	0,5	0,2	0,7	0,2
CS_r KG	0,5	0,1	0,7	0,2
CS_r IG	0,4	0,2	0,8	0,2
CS_f	0,5	0,1	0,7	0,1
CS_f KG	0,5	0,1	0,7	0,2
CS_f IG	0,5	0,1	0,8	0,1
	<i>MW</i>		<i>SD</i>	
Klausur	0,5		0,2	
Klausur KG	0,5		0,1	
Klausur IG	0,5		0,1	

Die Voraussetzungen für die statistischen Tests wurden jeweils geprüft und erfüllt.

4.1 Einstellung gegenüber digitalen Medien

Der Vergleich von Prä- und Posttest zur Einstellung gegenüber digitalen Medien ergab für die Gesamtgruppe eine statistisch signifikante Verbesserung der Einstellung gegenüber digitalen Medien mit großer Effektstärke ($F(1,37)=33,312, p<0,001, \eta^2=0,31$)

Der Vergleich von Kontroll- und Interventionsgruppe zeigt eine statistisch signifikante bessere Einstellung gegenüber digitalen Medien in der Interventionsgruppe im Posttest ($F(1,36)=5,166, p=0,029, \eta^2=0,13$) mit einer mittleren Effektstärke. Zum Prä-Zeitpunkt gab es keine



statistisch signifikanten Mittelwertunterschiede zwischen den Gruppen ($F(1,37)=2,555$ $p=0,119$).

4.2 Leistung im Test zur Wellenphysik und in der Klausur

Die Gesamtgruppe zeigte eine statistisch signifikante, große Verbesserung im Leistungstest ($F(1,46)=9,738$ $p=0,003$ $\eta^2=0,17$).

Der Vergleich von Kontroll- und Interventionsgruppe im Prätest zeigte keine Gruppenunterschiede ($F(1,46)=0,004$ $p=0,951$). Im Posttest zeigten sich auch keine statistisch signifikanten Unterschiede. Hier wurde die Eingangsleistung als Kovariate verwendet ($F(1,47)=0,313$ $p=0,579$).

Die Analyse der Klausurergebnisse zeigt keine statistisch signifikante Unterschiede zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe ($F(1,33)=0,631$, $p=0,433$).

4.3 Antwortsicherheit

Im Vergleich der beiden Gruppen zeigt sich im Prätest bei der gesamten Antwortsicherheit ein signifikanter, mittelgroßer Unterschied (siehe Tab.5). Für die Antwortsicherheit bei richtiger Antwort zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied. Für die Antwortsicherheit bei falscher Antwort zeigte sich ein signifikanter mittelgroßer Unterschied zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe.

Tab. 5: Vergleich der Antwortsicherheit von Kontroll- und Interventionsgruppe zum Präzeitpunkt.

	F-Statistik	Sig.	Effektstärke
CS	$F(1,46)=4,093$	$p=0,049$	$\eta^2=0,08$
CS_r	$F(1,46)=3,949$	$p=0,053$	
CS_f	$F(1,46)=5,531$	$p=0,024$	$\eta^2=0,11$

Im Posttest zeigte sich im Vergleich von Kontroll- und Interventionsgruppe, dass der Unterschied in der Gesamtantwortsicherheit mit etwas höherer Effektstärke erhalten bleibt. Da keine Korrelation zwischen den Prä- und den Postdaten vorliegt, konnte hier keine Analyse unter Kontrolle der Eingangswerte vorgenommen werden. Für die Antwortsicherheit bei falschen Antworten zeigt sich ein statistisch signifikanter Mittelwertunterschied mittlerer Effektstärke. Bei der Antwortsicherheit bei richtiger Antwort zeigte sich kein signifikanter Unterschied.

Tab. 6: Vergleich der Antwortsicherheit von Kontroll- und Interventionsgruppe zum Postzeitpunkt.

	F-Statistik	Sig.	Effektstärke
CS	$F(1,46)=6,37$	$p=0,015$	$\eta^2=0,12$
CS_r	$F(1,46)=0,508$	$p=0,48$	
CS_f	$F(1,46)=5,415$	$p=0,025$	$\eta^2=0,11$

5 Diskussion

5.1 Einstellung gegenüber digitalen Medien

Die Untersuchungen belegen einen positiven Effekt auf die Einstellung gegenüber digitalen Medien durch den organisierten und konzeptionell angeleiteten Einsatz von CRS in Vorlesungen und Übungen. Hypothese 1a (Der Einsatz von CRS in der Vorlesung fördert die positive Einstellung gegenüber digitalen Medien) kann insbesondere unter der Voraussetzung angenommen werden, dass sonstiger Kontakt mit digitalen Medien als Lernmittel in der Vorlesung nur stark vereinzelt (z.B. Simulationen oder Videoübertragung von Experimenten über die Beamer) und nicht systematisch eingesetzt wurden.

Hypothese 1b (Der Einsatz von CRS in Übungen zusätzlich zum Einsatz in den Vorlesungen verstärkt die Entwicklung einer positiven Einstellung gegenüber digitalen Medien) kann ebenso bestätigt werden. Hier zeigt sich, dass eine Erhöhung der Dosis an eingesetzten CRS-Fragen über die Vorlesung hinaus auf den Bereich der Übungen auch eine höhere Wirkung erzielte.

5.2 Leistung im Test zur Wellenphysik und in der Klausur

Hypothese 2 (Der Einsatz von CRS in den Übungen fördert das konzeptionelle Verständnis) kann nicht bestätigt werden. In Hinblick auf den Lernzuwachs konnte durch den reinen Medieneinsatz ergänzend in den Übungsgruppen kein Vorteil nachgewiesen werden. Da die Förderlichkeit des CRS Einsatzes für das Konzeptverständnis aus anderen Studien bekannt ist, kann das Ergebnis so interpretiert werden, dass der Einsatz in der Vorlesung bereits die volle oder annähernd volle Wirkung erzeugt und somit die Dosissteigerung durch den Einsatz in der Übung keine weitere Wirkung mehr entfalten kann. Eine weitere Untersuchung, in der auf den Einsatz von CRS in der Vorlesung verzichtet wird und das CRS nur in den Übungen verwendet wird, könnte hier weitere Erkenntnisse liefern.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass die CRS-Umfragen in der Übung nicht spezifisch auf die Wellenphysik sondern auf die jeweilig auffälligen Themen in den Übungsaufgaben zugeschnitten waren. Außerdem profitierten beide Gruppen gleich stark durch die doppelte Iterationsstufe bei der Identifikation der Themen für die Übungsumfragen. Dadurch, dass die Intervention in den Übungen alleine auf den Medieneinsatz reduziert ist, erscheint es sinnvoll zu schließen, dass die pädagogischen Ansätze (Conceptual Change Theorie, Selbstreflexion), die dem CRS Einsatz zu Grunde liegen sowohl der Kontroll- als auch der Interventionsgruppe genutzt haben.

Auch in der Analyse der Klausurergebnisse zeigen sich keine Hinweise zur Bestätigung von Hypothese 2. Wir interpretieren diese Beobachtung analog zur Diskussion der Ergebnisse des Leistungstests zur Wellenmechanik.

5.3 Antwortsicherheit

Die Analyse der Antwortsicherheiten zeigt, dass sowohl Interventionsgruppe als auch Kontrollgruppe im Zeitverlauf deutlich höhere Antwortsicherheiten aufweisen. Das gilt insgesamt über alle Antworten gesehen, sowohl für die richtigen als insbesondere auch für die falschen Antworten. Es zeigen sich zum Postzeitpunkt Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Antwortsicherheit bei falschen Antworten und keine Unterschiede bei den richtigen Antworten. Der erhoffte Effekt der Senkung der Antwortsicherheit bei falschen Antworten wurde nicht beobachtet, weshalb Hypothese 3a (Die Antwortsicherheit bei richtiger Antwort nimmt zu und bei falscher Antwort ab) verworfen werden muss.

Auch eine höhere Dosis an CRS-Fragen erreichte nicht die nach Hypothese 3b (Der Einsatz von CRS in Übungen zusätzlich zum Einsatz in den Vorlesungen verstärkt den Einfluss auf die Antwortsicherheit entsprechend Hypothese 3a) erhoffte Wirkung der Absenkung der Antwortsicherheit bei falschen Antworten, weshalb auch diese Hypothese verworfen werden muss. Ein möglicher Interpretationsansatz der Ergebnisse ist, dass zum Postzeitpunkt lediglich die Fragen noch falsch beantwortet werden, die einem starken Fehlkonzept unterliegen. Somit verbleiben bei den falsch beantworteten Fragen nur noch solche, die mit einer hohen Antwortsicherheit beantwortet werden, was sowohl den Anstieg der Antwortsicherheit bei richtigen Fragen durch höheres Konzeptverständnis und Feedback durch das CRS, als auch den Anstieg der Antwortsicherheit bei falschen Antworten durch die Häufung von Fehlkonzepten erklären würde. Zum Beispiel wird im Posttest besonders häufig angenommen, dass Wellen prinzipiell sinusförmig sind. Diese Vorstellung ist durch das Kennenlernen der Wellenfunktionen z.B. im unendlichen Potentialkasten vermutlich noch gefestigt worden, was in einer hohen Antwortsicherheit bei falscher Antwort resultiert. Ein weiteres prominentes Beispiel, das diesen Interpretationsansatz stützt und im Posttest häufig aufgetreten ist, ist das Fehlkonzept, dass es beim quantenmechanischen Tunneln zu Energieverlusten kommt.

Über die Gesamtantwortsicherheit gesehen besteht zwar ein Gruppenunterschied zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe, allerdings bestand dieser, wenn auch kleiner, bereits zum Präzeitpunkt, weshalb auch in diesem Fall der Effekt nicht eindeutig auf den zusätzlichen CRS Einsatz zurückgeführt werden kann. Äquivalent verhält es sich bei der Antwortsicherheit bei falschen Antworten.

Insgesamt wurde in allen Untersuchungen mit geringen Fallzahlen gearbeitet. Es ist nicht auszuschließen, dass Ergebnisse, die bis jetzt statistisch nicht signifikant sind, im Rahmen größerer Untersuchungen eindeutiger ausfallen. Um den Effekt des CRS Einsatzes in den Übungen besser untersuchen zu können, wird im nächsten Durchgang auf den CRS Einsatz in der

Vorlesung verzichtet werden. Außerdem sollen die Auswirkungen von CRS auf die Antwortsicherheit weiter untersucht werden. Dazu wird das CRS selbst um die Einschätzung der Antwortsicherheit erweitert, sodass der Dozent direkt eine Rückmeldung über die Antwortsicherheit und über die Korrelation von Antwortsicherheit und Leistung bei jeder einzelnen erhält und so schon während der Lehrveranstaltung auf Fehlkonzepte oder nicht verstandene Inhalte schließen kann.

Ein verstärkter Einsatz in der Lehrerausbildung mit Studierenden in passiver (Studierender profitiert als Lernender vom CRS) und aktiver Rolle (Studierender profitiert als Lehrender im Rahmen einer selbst gehaltenen Unterrichtsminiatur vom CRS) mit einer Ausweitung des Einstellungstests gegenüber digitalen Medien auf Themen der Unterrichtsgestaltung mit Medien ist geplant.

ANHANG

Anhang 1: Das CRS

Für den Einsatz in der Vorlesung wurde eigens eine webbasierte Umfragesoftware im responsive Design entwickelt, in der die Fragen per Html-Code gestaltet werden können, was auch das unkomplizierte Einbinden von Bildern und kurzen Bildsequenzen ermöglicht. Insbesondere können damit Laptops, Tablets und Smartphones mit allen gängigen Betriebssystemen verwendet werden. Alternativ können aber auch klassische Klicker (Radiofrequenzsender) benutzt werden. Formeln können bequem per LaTeX umgesetzt werden. Mögliche Antwortformate sind Single Choice, Multiple Choice und Freitext. Für Studierende ist keine Anmeldung nötig, alle erhobenen Daten sind anonym.

Die Studierenden erhalten vom Dozenten ein Passwort, das sie von der Startseite des CRS direkt zu den Fragen des Dozenten führt. Die Frage erscheint auf den Geräten der Studierenden und kann beantwortet werden, indem die richtige(n) Antwort(en) ausgewählt und mit der „Absenden“ Schaltfläche an das System übermittelt werden (siehe Abb.3). Dabei kann je nach Vorgabe des Dozenten in Gruppen diskutiert oder auch alleine gearbeitet werden. Wenn der Dozent die Abstimmung zur Umfrage beendet, wird die Frage nicht weiter angezeigt. Sobald der Dozent die Umfrageergebnisse veröffentlicht, erscheinen diese auf den Geräten der Studierenden.

Spektroskopische Notation: Welche Zustände sind möglich?

Mögliche Antworten

<input type="checkbox"/>	$3s_1$
<input type="checkbox"/>	$3d_1$
<input type="checkbox"/>	$1s_0$
<input type="checkbox"/>	$5f_5$
<input type="checkbox"/>	$3p_2$

Abb. 3: CRS Frage aus der Vorlesung (Kapitel 5, siehe Anhang 2) zu Wasserstoffzuständen

Der Dozent erstellt die Fragen während seiner Vorbereitung. Während der Veranstaltung wird die Frage über das CRS für die Teilnehmer freigegeben. Der Dozent sieht, wie viele Rückmeldungen bereits eingegangen sind und bestimmt, wie lange abgestimmt werden kann. Je nach pädagogischem Konzept, das verfolgt wird, kann der Dozent in dieser Phase Hinweise geben oder zur Diskussion anregen. Der Dozent beendet die Abstimmung zur Umfrage und kann daraufhin die Ergebnisse freigeben. Diese werden in Form eines Balkendiagramms angezeigt, in dem die jeweilige Antwort und die Anzahl der auf diese Antwort entfallenen Stimmen angezeigt werden (siehe Abb. 4). Nun kann der Dozent bei Bedarf auf das Ergebnis eingehen, die einzelnen Antwortmöglichkeiten erläutern oder bestimmte Vorgänge, die den Studierenden Probleme bereitet haben, aus anderen Perspektiven darstellen.

Spektroskopische Notation: Welche Zustände sind möglich?

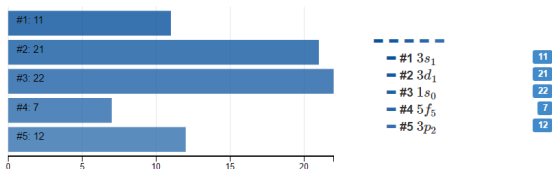


Abb. 4: Ergebnis der CRS Umfrage aus Abb.3

Können die Studierenden die Frage richtig beantworten, erhalten sie ein positives Feedback und erleben eine Steigerung ihrer Selbstwirksamkeit. Wenn sie die Frage nicht beantworten können, weckt das die Unzufriedenheit, die nach der Conceptual Change Theorie der erste Schritt zur Wissensumstrukturierung ist. Ein neues Konzept ergibt sich aus den vertiefenden Erläuterungen zur Lösung der Aufgabe durch den Dozenten. Hierbei ist durch geeignete Maßnahmen (Medien, Perspektivenwechsel etc.) auf die Verständlichkeit zu achten. Plausibilität ist dadurch gegeben, dass das neue Konzept die Aufgabe lösen kann, wo das alte Konzept versagt hat. Die Fruchtbarkeit, also die Anwendung auf weitere Probleme, muss im weiteren Verlauf der Vorlesung Platz finden, um das neue Wissen bestmöglich zu verankern.

Anhang 2: Inhaltsübersicht zur Vorlesung Grundlagen der Quantenphysik

- Kapitel 1 – Einführung/Historisches
- Kapitel 2 – Entwicklung der Atomvorstellung
- Kapitel 3 – Grenzen der klassischen Physik
- Kapitel 4 – Grundlagen der Quantenmechanik
- Kapitel 5 – Das Wasserstoffatom
- Kapitel 6 – Mehrelektronenatome
- Kapitel 7 – Licht-Atom Wechselwirkung
- Kapitel 8 – Der Lasers
- Kapitel 9 – Quantenkorrelation
- Kapitel 10 – Kohärente Licht-Materie Wechselwirkung

Anhang 3: Itemstatistik zum Wellentest

© The authors, 2018

Published by CERN under the [Creative Common Attribution 4.0 Licence \(CC BY NC SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Item	Mittelwert	Standardabweichung	Diskriminationsindex	Trennschärfe
1	0,55	0,50	0,25	-0,02
2	0,11	0,31	0,33	0,46
3	0,17	0,38	0,42	0,23
4	0,09	0,28	0,25	0,27
5	0,17	0,38	0,33	0,26
6	0,36	0,48	0,58	0,33
7	0,13	0,33	0,33	0,22
8	0,34	0,47	0,50	0,37
9	0,77	0,42	0,58	0,35
10	0,66	0,47	0,83	0,45
11	0,17	0,38	0,50	0,38
12	0,77	0,42	0,42	0,09

Tab. 7: Itemstatistik zum Wellentest (Prätest).

Gestrichelte Items wurden bei der Skalenbildung nicht berücksichtigt. Item 2,3 und 5 wurden trotz geriner Mittelwerte beibehalten, da sie die Reliabilität des Tests verbessern.

DANKSAGUNG

Das Projekt „Classroom Response Systeme“ ist Teilprojekt des Vorhabens "U.EDU: Unified Education - Medienbildung entlang der Lehrerbildungskette" (Förderkennzeichen: 01JA1616), das im Rahmen der gemeinsamen "Qualitätsoffensive Lehrerbildung" von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wird.

LITERATUR

Beatty, Ian D.: Transforming student learning with classroom communication systems. In: Educause Center for Applied Research (ECAR) Research Bulletin 2004 (3), S. 1–13.

Beekes, Wendy (2006): The 'Millionaire' method for encouraging participation. In: Active Learning in Higher Education 7 (1), S. 25–36. DOI: 10.1177/1469787406061143.

Blasing, David; Hirsch, Andrew; Lindell, Rebecca (2014): Qualitative, Tiered, iClicker Recitation Introductions. Impact Symposium. Purdue University, 2014. Online verfügbar unter <http://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=impsymposium>, zuletzt geprüft am 12.05.2017.

Caldwell, Jane E. (2007): Clickers in the large classroom: current research and best-practice tips. In: CBE life sciences education 6 (1), S. 9–20. DOI: 10.1187/cbe.06-12-0205.

Caleon, Imelda S.; Subramaniam, R. (2010): Do Students Know What They Know and What They Don't Know? Using a Four-Tier Diagnostic Test to Assess the Nature of Students' Alternative Conceptions. In: Res Sci Educ 40 (3), S. 313–337. DOI: 10.1007/s11165-009-9122-4.

Chi, M.T.H. (2008) Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation and categorical shift.



- In: Vosniadou, S. (Hg.), *Handbook of research on conceptual change*, Hillsdale, NJ: Erlbaum S.61-82
- Cutts, Quentin; Kennedy, Gregor; Mitchell, Chris; Draper, Steve (2004): Maximising Dialogue in Lectures Using Group Response Systems. 7th IASTED Internat. Conf. on Computers and Advanced Technology in Education. Hawaii, 16.08.2004. Online verfügbar unter <http://www.dcs.gla.ac.uk/~quintin/papers/cate2004.pdf>, zuletzt geprüft am 12.05.2017.
- Demtröder, Wolfgang (2010): *Experimentalphysik 3*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Duit, Reinders (1992): Vorstellungen und Physiklernen. In: *Physik in der Schule* 30 (9), S. 282–285.
- Deslauriers, Louis; Wieman, Carl (2011): Learning and retention of quantum concepts with different teaching methods. In: *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 7 (1). DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.7.010101.
- Duncan, Douglas (2004): *Clickers in the Classroom. How to Enhance Science Teaching Using Classroom Response Systems*: Pearson.
- Elliott, Caroline (2003): Using a Personal Response System in Economics Teaching. In: *International Review of Economics Education* 1 (1), S. 80–86. DOI: 10.1016/S1477-3880(15)30213-9.
- Fies, C. & Marshall, J. J *Sci Educ Technol* (2006) 15: 101. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-0360-1>
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Hugener, I.; Pauli, C.; Reusser, K. (2007): Inszenierungsmuster, kognitive Aktivierung und Leistung im Mathematikunterricht. Analysen aus der schweizerisch-deutschen Videostudie. In D. Lemmermöhle, M. Tothgangel, S. Bögeholz, M. Hasselhorn, & R. Watermann (Hrsg.), *Professionell Lehren – Erfolgreich Lernen*. Münster: Waxmann. S.109-212
- Knight, Jennifer K.; Wood, William B. (2005): Teaching more by lecturing less. In: *Cell biology education* 4 (4), S. 298–310. DOI: 10.1187/05-06-0082.
- Krijtenburg-Lewerissa, K.; Pol, H. J.; Brinkman, A.; van Joolingen, W. R. (2017): Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. In: *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 13 (1). DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109.
- Krüger, Dirk; Vogt, Helmut (Hg.) (2007): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
- McKagan, S. B.; Perkins, K. K.; Wieman, C. E. (2010): Design and validation of the Quantum Mechanics Conceptual Survey. In: *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 6 (2). DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.6.020121.
- Müller, Rainer; Wiesner, Hartmut (2002): Teaching quantum mechanics on an introductory level. In: *Am. J. Phys.* 70 (3), S. 200–209. DOI: 10.1119/1.1435346.
- Roschelle, Jeremy; Penuel, William R.; Abrahamson, Louis (2004): *Classroom Response and Communication Systems: Research Review and Theory*. Annual Meeting of the American Educational Research Association. San Diego, CA, 2004. Online verfügbar unter <https://pdfs.semanticscholar.org/95bc/2f60546bfbe0003c979016678b3680655e18.pdf>, zuletzt geprüft am 12.05.2017.
- Singh, Chandralekha (2008): Student understanding of quantum mechanics at the beginning of graduate instruction. In: *Am. J. Phys.* 76 (3), S. 277–287. DOI: 10.1119/1.2825387.
- Singh, Chandralekha; Zhu, Guangtian; Rebello, N. Sanjay; Engelhardt, Paula V. (2012): Improving students' understanding of quantum mechanics by using peer instruction tools. In: 2011 PHYSICS EDUCATION RESEARCH CONFERENCE. Omaha, NE, 3–4 August 2011: AIP (AIP Conference Proceedings), S. 77–80.
- Styer, Daniel F. (1996): Common Misconceptions Regarding Quantum Mechanics. In: *Am. J. Phys.* 64, S. 31–34.
- Tongchai, Apisit; Sharma, Manjula D.; Johnston, Ian D.; Arayathanitkul, Kwan; Soankwan, Chernchok (2009): Developing, Evaluating and Demonstrating the Use of a Conceptual Survey in Mechanical Waves. In: *International Journal of Science Education* 31 (18), S. 2437–2457. DOI: 10.1080/09500690802389605.
- Wittmann, Michael C. (1998): *Making Sense of How Students Come to an Understanding of Physics. An Example from Mechanical Waves*: Ph.D. Thesis, University of Maryland.
- Wood, Willam B. (2004): Clickers: a teaching gimmick that works. In: *Developmental Cell* 7 (6), S. 796–798.
- Yourstone, Steven A.; Kraye, Howard S.; Albaum, Gerald (2008): Classroom Questioning with Immediate Electronic Response. Do Clickers Improve Learning? In: *Decision Sci J Innovative Educ* 6 (1), S. 75–88. DOI: 10.1111/j.1540-4609.2007.00166.x

