

Wirksamkeit aktivierender Lehrmethoden in einführenden Physikmodulen – Ein exemplarischer Vergleich zwischen der Schweiz und Deutschland –

Andreas Johannes Modler

Berliner Hochschule für Technik, Luxemburger Straße 10, 13353 Berlin
Andreas.Modler@bht-berlin.de

Kurzfassung

In einführenden Physikmodulen zur Mechanik wurden als aktivierende Lehrmethoden Peer Instruction (PI), Just-in-Time-Teaching (JiTT) und Tutorials der Physik eingesetzt. Die Wirksamkeit der Lehrmethoden wurde mittels des Force Concept Inventory (FCI) gemessen, der als Vor- und Nachtest zu Beginn und Ende der Lehrveranstaltungen durchgeführt wurde. Als Maß für den Lernzuwachs und damit für die Wirksamkeit der Lehrmethoden wurde der Zuwachs nach Hake und die individuelle Änderung bestimmt. Es werden die in den Studiengängen Maschinen-, Verfahrens- und Systemtechnik an der der Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) aus den Jahren 2012 – 2015 erhobenen Daten mit jenen an der Berliner Hochschule für Technik (BHT) im Studiengang Physikalische Technik und Medizinphysik aus den Zeitraum 2016 – 2022 verglichen. Bei signifikant unterschiedlichen Ergebnissen im Vor- und Nachtest der Schweizer Kohorte im Vergleich zur deutschen Kohorte der Studierenden ergeben sich miteinander verträgliche Lernzuwächse. Diese sind charakteristisch für aktivierende Lehrmethoden, wobei der zeitliche Umfang der eingesetzten aktivierenden Lehrmethoden bei der deutschen Kohorte etwa doppelt so groß wie bei der Schweizer Kohorte war. Spezifische Unterschiede zwischen den beiden Kohorten werden als mögliche Einflussfaktoren diskutiert.

1. Einleitung/Aktivierende Lehre

Die tradierte Form der Lehre an Universitäten stellt seit fast einem Jahrtausend die Vorlesung dar. Dabei stellt der Lehrende die zu vermittelnden Inhalte vor und erläutert diese. Die Zuhörerschaft folgt den Ausführungen und nimmt Notizen, so dass sie mit dem Material vertraut gemacht wird. Dadurch wurde früher sichergestellt, dass die Inhalte von einer Generation zur nächsten übertragen wurden (Ridder-Symoens, 1991), wozu durch Bibliotheken und die freie Verfügbarkeit jeglicher Informationen über das Internet keine Notwendigkeit mehr besteht. In dem Lehr- lernszenario der traditionellen Vorlesung nimmt der Studierende eine passive Rolle ein, seine Aktivitäten sind auf die Mitschrift und das gelegentliche Stellen von unaufgeforderten Fragen beschränkt. Systematische Studien und Metastudien zeigen, dass aktivierende Lehrmethoden, die den Studierenden zu aktivem Lernen bewegen, im Vergleich zu traditionellen Vorlesungen zu besseren Prüfungsleistungen und geringeren Durchfallraten führen. (Freeman et al., 2014). Aktives Lernen wird dabei durch eine Arbeitsdefinition festgelegt: „Aktives Lernen bezieht die Studierenden in den Lernprozess durch Aktivitäten und/oder Diskussionen in der Lehrveranstaltung ein, im Gegensatz zum passiven Zuhören eines Experten. Es betont höherwertiges Denken und beinhaltet oft Gruppenarbeiten“ (Freeman et al., 2014).

Peer Instruction (PI) stellt eine aktivierende Lehrmethode dar, die sowohl in kleinen Lehrveranstaltung als auch in Großveranstaltungen mit mehreren hundert Studierenden eingesetzt werden kann (Mazur, 1997). Dabei wird ein zu vermittelndes Konzept in

Form einer Mehrfach- oder Einfachantwortfrage problematisiert und den Studierenden zur individuellen Beantwortung gestellt. Die Antworten werden mit speziellen Abstimmgeräten - sogenannten Klickern - oder einer App über die Smartphones der Studierenden gesammelt. Der Lehrende entscheidet anhand des Abstimmungsbildes, das er in Form eines Histogramms angezeigt bekommt, ob er die Diskussion der Frage in kleinen Gruppen mit den unmittelbaren Nachbarn – die Phase des PI – eröffnet (Mazur, 2017). Gegen Ende der Gruppendiskussionen wird dieselbe Frage wieder zur individuellen Abstimmung gestellt. In einer anschließenden Plenumsdiskussion werden die Abstimmungsergebnisse den Studierenden widergespiegelt und das korrekte Ergebnis erläutert. Die Studierenden lernen aktiv, da sie ihre Antwort bewusst auswählen und Argumente für Ihre Entscheidungen in der Gruppendiskussion austauschen (Mazur, 2017).

Bei den Tutorials der Physik handelt es sich um Arbeitsblätter, die in kleinen Überlegungsschritten wesentliche Konzepte entwickeln (McDermott und Shaffer, 2008). Die Arbeitsblätter sind so gestaltet, dass sie typische Fehlvorstellungen und Denkfehler hervorlocken und die Studierenden mit diesen konfrontieren. Sie werden in kleinen Gruppen mit üblicherweise 3-7 Studierenden bearbeitet. Die Gruppendiskussionen werden von Lehrenden bzw. Assistenten begleitet, wodurch das Auflösen der Fehlvorstellungen und die kohärente Verankerung der Konzepte gewährleistet wird (McDermott, 2001).

Die zu vermittelnden Inhalte werden beim Just-in-Time-Teaching (JiTT) den Studierenden vor der be-

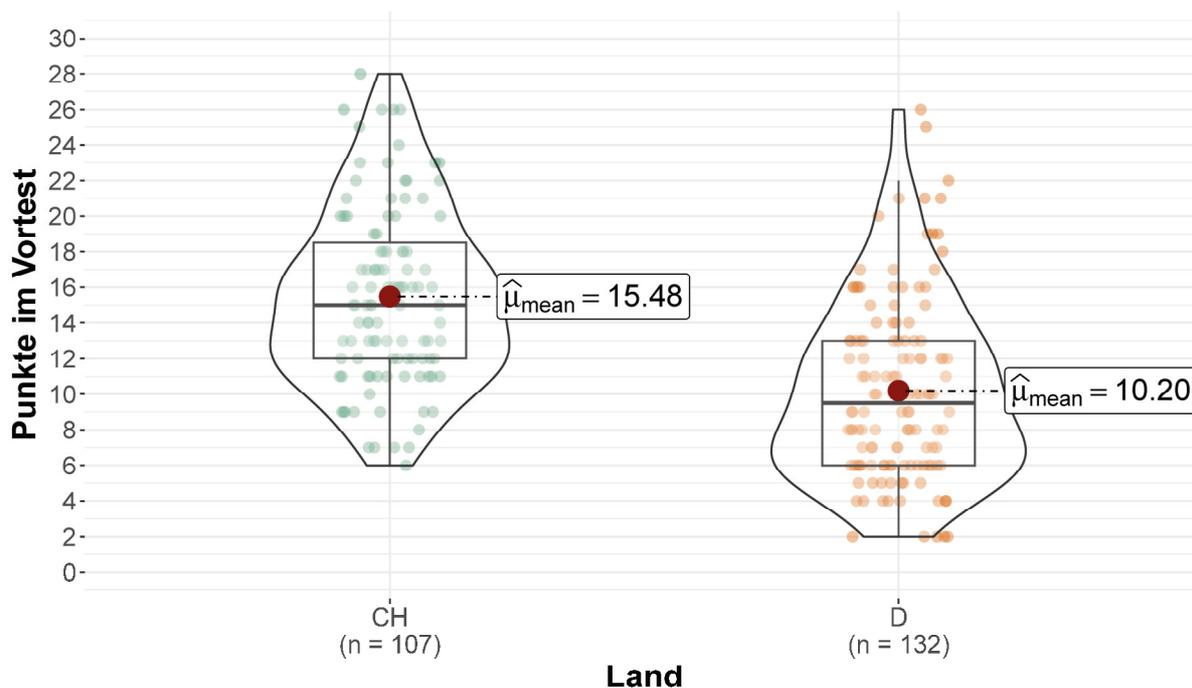


Abb. 1: Vergleich der Ergebnisse im Vortest des FCI zwischen den Studierenden an der ZHAW in der Schweiz (CH) und an der BHT in Deutschland (D) in einem Violinplot. Die Teilnehmerzahl n am Vortest betrug in CH 107 und in D 132. Die erreichte mittlere Punktzahl $\hat{\mu}_{\text{mean}}$ im Vortest ist jeweils durch einen roten Punkt markiert. Sie beträgt 15,48 in CH und 10,20 in D. Die Boxen umschließen jeweils den Bereich, in dem die mittleren 50% der Daten liegen. Sie werden durch das untere und obere Quartil begrenzt und geben so den Interquartilsbereich an. Der horizontale Strich markiert den Median, der 15 für CH und 9,5 für D beträgt. Die Ergebnisse der einzelnen Teilnehmer sind als halbtransparente Kreise (CH in grüner Farbe bzw. D in roter Farbe) dargestellt, welche durch eine einhüllende Kurve und deren vertikalen Spiegelung umschlossen werden. Die jeweilige einhüllende Kurve stellt die geglättete Wahrscheinlichkeitsdichte der Vortestpunktzahl für CH bzw. D dar.

treffenden Unterrichtseinheit zur Verfügung gestellt (Novak et al., 1999). Sie bereiten sich auf die Lehrveranstaltung durch Auszüge aus Lehrbüchern, Skripten, Simulationen und Lehrvideos vor, die über ein Lernmanagementsystem bereitgestellt werden. Die Bearbeitung der Materialien wird über kleine Tests bzw. Quizze sichergestellt, die in den Leistungsnachweis einfließen können. Sie enthalten offene Fragen mit deren Beantwortung die Studierenden dem Lehrenden Rückmeldung über ihr Verständnis und ihre Probleme mit den Inhalten und den Materialien zur Vorbereitung geben. Dadurch kann der Lehrende gerade rechtzeitig (just in time) vor den zugehörigen synchronen Unterrichtseinheiten deren Didaktik und Ablauf optimal auf die Bedürfnisse der Studierenden zuschneiden und anpassen. Das aktive Lernen der Studierenden besteht dabei in der Selbstreflexion des Verständnisses der Inhalte und Materialien mit der Formulierung einer entsprechend qualifizierten Rückmeldung an den Lehrenden.

Die Lehrmethoden wurden in einführenden Physikmodulen zur Mechanik in verschiedenen Ingenieursstudiengängen in der Schweiz (CH) an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) und in Deutschland (D) an der Berliner Hochschule für Technik (BHT) angewandt.

Die Wirksamkeit der in den Kursen eingesetzten Lehrmethoden wurde mit dem Force Concept Inventory (FCI) gemessen (Hestenes et al., 1992).

Der Beitrag ist im Weiteren folgendermaßen gestaltet. Im Abschnitt 2 werden den Institutionen und die Kurse und deren Aufbau erläutert, an denen die Daten erhoben wurden. Es werden die Metriken zur Bestimmung des Lernzuwachses mit dem FCI vorgestellt.

Die Ergebnisse im Vor- und Nachtest des FCI und die sich daraus ergebenden Lernzuwächse werden in Abschnitt 3 dargestellt und im Vergleich zu den in der Literatur gefundenen Werten eingeordnet. Abschnitt 4 dient der Diskussion der Ergebnisse in Bezug zu den Besonderheiten der Studierendenkohorten aus der Schweiz und Deutschland. Ein Fazit mit Ausblick wird im abschließenden Abschnitt 6 gegeben.

2. Methodik und Datenbasis

Der FCI umfasst 30 Einzelauswahlfragen mit jeweils fünf Antwortmöglichkeiten, die das Konzeptverständnis der Newtonschen Mechanik überprüfen. Die Distraktoren sind dabei so gewählt, dass sie typische Fehlvorstellungen Lernender abbilden (Hestenes et al., 1992). Der FCI wurde zu Beginn der Kurse als Vortest und am Ende der Kurse bzw. zu Beginn der

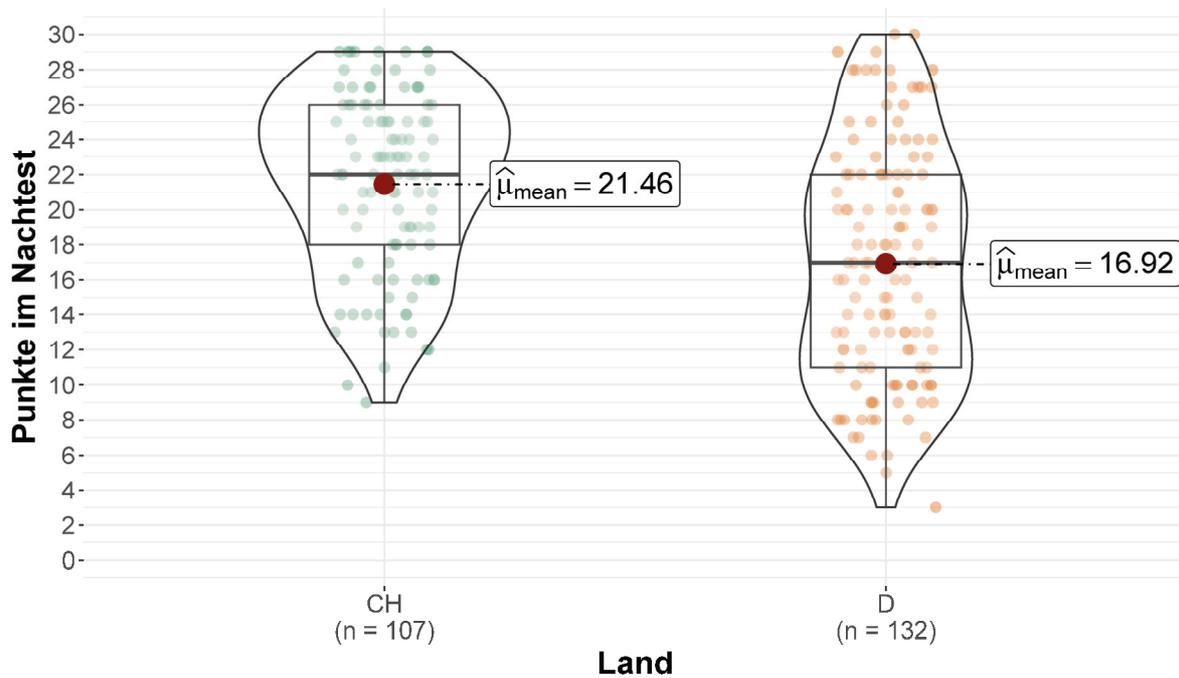


Abb. 2: Violinplot der Ergebnisse im Nachtest des FCI der Studierenden aus CH und D. Die Teilnehmerzahl n am Nachtest betrug in CH 107 und in D 132. Die erreichte mittlere Punktzahl $\hat{\mu}_{mean}$ im Nachtest ist jeweils durch einen roten Punkt markiert. Sie beträgt 21,46 in CH und 16,92 in D. Die Boxen umschließen jeweils den Bereich, in dem die mittleren 50% der Daten liegen. Sie werden durch das untere und obere Quartil begrenzt und geben so den Interquartilsbereich an. Der horizontale Strich markiert den Median, der 22 für CH und 17 für D beträgt. Die Ergebnisse der einzelnen Teilnehmer sind als halbdurchsichtige Kreise (CH in grüner Farbe bzw. D in roter Farbe) dargestellt, welche jeweils durch eine einhüllende Kurve und deren vertikalen Spiegelung umschlossen werden. Die jeweilige einhüllende Kurve stellt die geglättete Wahrscheinlichkeitsdichte der Nachtestpunktzahl für CH bzw. D dar.

anschließenden Kurse in der zweiten Hälfte der Vorlesungszeit als Nachtest durchgeführt. Ein Maß für den Lernzuwachs nach Hake g_{Hake} ist gegeben durch

$$g_{Hake} = \frac{\langle P_N \rangle - \langle P_V \rangle}{30 - \langle P_V \rangle} \quad \{1\},$$

wobei $\langle P_V \rangle$ die mittlere Punktzahl im Vortest und $\langle P_N \rangle$ die mittlere Punktzahl im Nachtest sind und durch den maximal möglichen Punktezuwachs im Nenner normiert wird (Hake, 1998). Die individuelle Änderung c_i und deren Mittelwert stellen alternative Maße für den Lernzuwachs dar

$$c_i = \begin{cases} \frac{P_N - P_V}{30 - P_V} \geq 0 \text{ für } P_N \geq P_V \\ \frac{P_N - P_V}{P_V} < 0 \text{ für } P_N < P_V \end{cases} \quad \{2\},$$

wobei bei geringerer Punktzahl P_N im Nachtest als im Vortest sinnvollerweise durch die Punktzahl P_V im Vortest normiert wird. Die mittlere individuelle Änderung c berechnet sich dann bei n Teilnehmern am Vor- und Nachtest als der Mittelwert der n individuellen Änderungen (Marx und Cummings, 2007). Die Definition der mittleren individuellen Änderung

gestattet in natürlicher Weise die Standardabweichung (SD) der zugrundeliegenden Verteilung zur Bestimmung deren Unsicherheit zu verwenden.

In allen betrachteten Kursen sollten vergleichbare Lernziele erreicht und Kompetenzen vermittelt werden. Die Studierenden sollten an Fragestellungen der Mechanik exemplarisch die physikalische Denk- und Arbeitsweise als Teil des modernen technischen Ingenieurdenkens kennen und anwenden lernen. Sie sollten in die Lage sein, die Richtigkeit von Modellresultaten durch Grenzfallüberlegungen, Beurteilung der Plausibilität, Überschlagsrechnungen, Vergleich mit Erfahrungswerten aus Technik und Alltag prinzipiell zu beurteilen und zu kontrollieren. Die Kurse in CH wurden in den Jahren 2012-2015 an der School of Engineering der ZHAW in den Studiengängen Maschinentechnik, Maschinenverfahrenstechnik und Systemtechnik durchgeführt. In den 5 Kursen waren 119 Studierende eingeschrieben, wovon 107 an dem Vor- und Nachtest des FCI teilnahmen. Die Kurse waren mit 4 European Credit Transfer System Punkten (ECTS) bewertet. Sie wurden über 14 Wochen abgehalten mit wöchentlich 2 Semesterwochenstunden (SWS) seminaristischen Unterricht für den ganzen Kurs bei einer Kursgröße von ca. 25 Teilnehmern und 2 SWS Übungen mit dem halben Kurs.

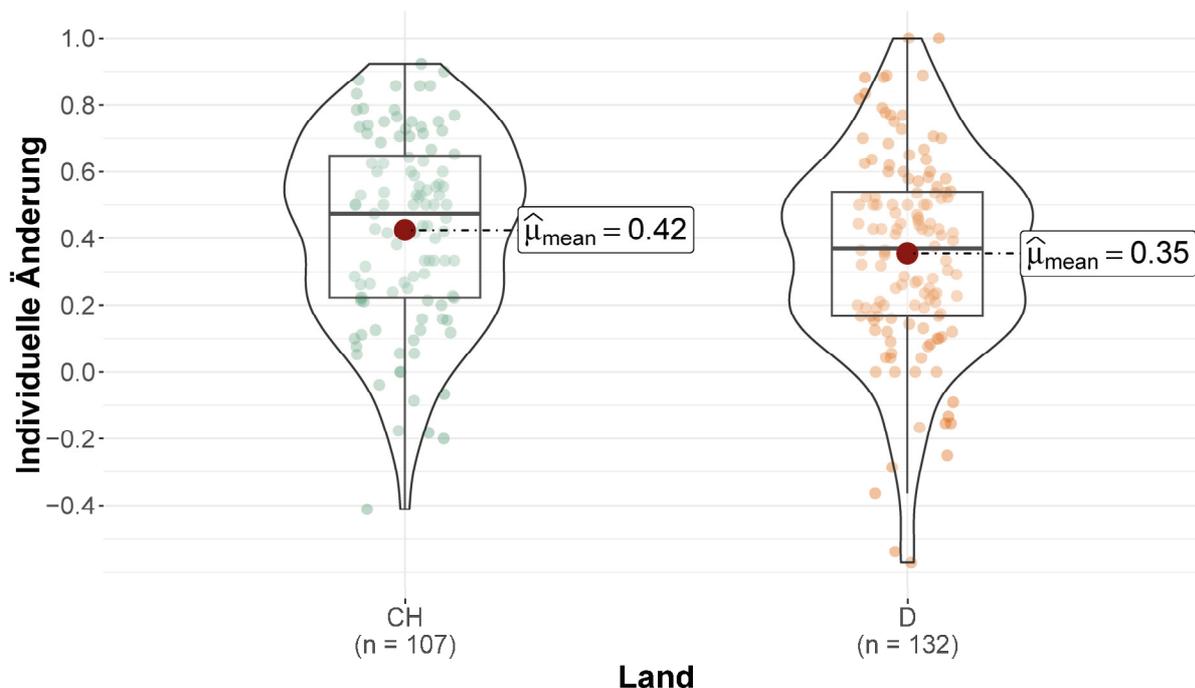


Abb. 3: Vergleich des Lernzuwachs der Studierenden aus CH und D gemessen durch die individuelle Änderung anhand der Ergebnisse im Vor- und Nachtest des FCI mittels eines Violinplots. Die Teilnehmerzahl n an beiden Tests betrug in CH 107 und in D 132. Die mittlere individuelle Änderung $\hat{\mu}_{mean}$ im Nachtest ist jeweils durch einen roten Punkt markiert. Sie beträgt 0,42 in CH und 0,35 in D. Die Boxen umschließen jeweils den Bereich, in dem die mittleren 50% der Daten liegen. Sie werden durch das untere und obere Quartil begrenzt und geben so den Interquartilsbereich an. Der horizontale Strich markiert den Median, der 0,47 für CH und 0,37 für D beträgt. Die individuellen Änderungen der einzelnen Teilnehmer sind als halbttransparente Kreise (CH in grüner Farbe bzw. D in roter Farbe) dargestellt, welche jeweils durch eine einhüllende Kurve und deren vertikalen Spiegelung umschlossen werden. Die jeweilige einhüllende Kurve stellt die geglättete Wahrscheinlichkeitsdichte der individuellen Änderung für CH bzw. D dar.

Als aktivierende Lehrmethoden wurden PI im seminaristischen Unterricht im Umfang von ca. 1 SWS und Tutorials in der Hälfte aller Übungen eingesetzt, so dass sich der Umfang der aktivierenden Lehrmethoden auf ca. 21 h bei einer gesamten Kontaktzeit von 42 h belief. Die Kurse in D wurden am Fachbereich Mathematik, Physik und Chemie der BHT im Studiengang Physikalische Technik / Medizinphysik in den Jahren 2016 – 2022 durchgeführt. Die insgesamt 8 Kurse hatten 376 Studierende belegt, wovon 132 sowohl am Vor- als auch am Nachtest teilnahmen. Die Kurse waren mit jeweils 5 ECTS bewertet. Sie wurden über 9 Wochen in der ersten Semesterhälfte abgehalten mit 6 SWS seminaristischen Unterricht zu drei Blöcken à 90 min an unterschiedlichen Wochentagen jeweils mit dem ganzen Kurs bei einer Plangröße von 44 Teilnehmenden und 2 SWS Übungen mit jeweils einer Kurshälfte. Als aktivierende Lehrmethoden wurden JiTT und PI im seminaristischen Unterricht im Umfang von 4 SWS eingesetzt. Die Tutorials wurden in allen Übungen verwendet, so dass der Umfang der aktivierenden Lehrmethoden insgesamt ca. 41 h bei einer gesamten Kontaktzeit von 54 h betrug.

3. Ergebnisse und deren Einordnung

Die Ergebnisse der Kohorten aus D und CH im Vortest sind in Abbildung 1 in vergleichender Form als

Violinplot dargestellt (Hintze und Nelson, 1998).

Tab. 1: Ergebnisse im Vortest des FCI verschiedener Studienkohorten mit n Testteilnehmern in unterschiedlichen Kursformaten gemäß folgender Studien: ¹(Wilhelm, 2005), ²(Hopf, 2009), ³(Junker et al., 2017), ⁴(Hake, 1998).

Kurse	n	$\hat{\mu}_{mean}$
11. Klassen Gymnasium im-Schuljahr 2003/04 in Bayern ¹	258	8,0
Uni Wien: Erstsemester Physik im WS2008/09 ²	172	13,6
HS Rosenheim Erstsemester verschiedener Studiengängen WS13/14 – WS2015/16 ³	1'375	11,9 ± 5,4
HS Esslingen, HS Mannheim, Uni Würzburg im WS2001/02 ³	1'125	13,6 ± 6,4
14 US High School Kurse ⁴	1'113	8,4
16 US College Kurse ⁴	597	11,7
32 US Universitätskurse ⁴	4'832	14,4

Im Mittel wurden in CH 15,5 (Median 22) im Vergleich zu 10,2 (Median 9,5) Punkten in D erzielt. Dieser Unterschied ist mit einem p -Wert von 2×10^{-13} im Wilcoxon-Rangsummentest statistisch hochsignifikant. Die mittlere Punktzahl im Vortest von 10,2 in D liegt im unteren Spektrum der Punktzahlen, das durch

Kurse an Bayrischen Gymnasien, US High Schools und US Colleges markiert wird, wie der Tabelle 1 entnommen werden kann. Die 15,5 Punkte in CH übertreffen dabei die höchsten Punktzahlen, die in einführenden Physikkursen an US Universitäten im Mittel erzielt werden (s. h. Tabelle 1). Die Ergebnisse der Nachtests sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Studierenden aus CH erreichen eine mittlere Punktzahl von 21,5 (Median 22) im Vergleich zu 16,9 (Median 17) Punkten der deutschen Studierenden. Dieser Unterschied ist mit einem p-Wert von 1×10^{-7} im Wilcoxon-Rangsummentest statistisch hochsignifikant. Die Schweizer Studierenden befinden sich damit im Bereich für beginnendes Verständnis der Newtonschen Mechanik, der zwischen 18 und 24 postuliert wurde. Die deutschen Studierenden sind an der Schwelle dazu. Der Bereich für vertieftes Verständnis der Newtonschen Mechanik wurde über 24 Punkte festgelegt (Hopf, 2009). Die sich aus Abbildungen 1 und 2 ergebenden individuellen Änderungen gemäß Gleichung {2} sind in Abbildung 3 dargestellt. In wenigen Fällen weisen diese auch negative Werte auf. Die sich daraus ergebenden mittleren Änderungen c sowie der Lernzuwachs nach Hake g_{Hake} (Gleichung {1}) sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tab. 2: Bestimmte Lernzuwächse aus den Vor- und Nachtestergebnissen in Abbildungen 1 und 2. Die Unsicherheiten für die mittlere Änderungen c wurden berechnet als Quotient der Standardabweichung und der Wurzel des Teilnehmerzahl n (Standardmessunsicherheit SE).

Maß für den Lernzuwachs	g_{Hake}	c
CH	0,41	$0,42 \pm 0,03$
D	0,34	$0,35 \pm 0,03$

Der Unterschied der mittleren Änderung c mit 0,42 für die Schweizer und mit 0,35 für die deutschen Studierenden ist mit einem p-Wert von 0,06 im Wilcoxon-Rangsummentest insignifikant, weswegen die Lernzuwächse für beide Kohorten im Weiteren als verträglich miteinander erachtet werden, obwohl die durch die Standardunsicherheiten (SE) definierten Intervalle knapp nicht mehr überlappen.

Die Werte für den Lernzuwachs nach Hake g_{Hake} liegen mit 0,34 für D und 0,41 für CH im Bereich für aktivierende Lehrformen, wie sie in der Metastudie von Hake (Hake, 1998) gemessen und später in einer fünfzigtausend Studierende umfassenden Metastudie (Von Korff et al., 2016) bestätigt wurden. Die Werte für traditionelle Lehrformen mit 0,23 (Hake, 1998) bzw. 0,22 (Von Korff et al., 2016) liegen deutlich unterhalb dieser Werten, wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist.

Tab. 3: Referenzwerte für Lernzuwächse aus den Studien von ¹(Hake, 1998), ²(Von Korff et al., 2016) und ³(Stanzel et al., 2017). Die Teilnehmerzahlen am FCI sind durch die Werte für n gegeben. Als Maß für den Lernzuwachs ist jeweils g_{Hake} angegeben (s. h. Gleichung {1}). SE = SD/\sqrt{n} .

Studie	n	g_{Hake} für Lehrmethode:	
		Traditionell	Aktivierend
Metastudie von Hake ¹	6'542	$0,23 \pm 0,04$ (SD)	$0,48 \pm 0,14$ (SD)
50k-Studie ²	31'000	$0,22 \pm 0,01$ (SE)	$0,39 \pm 0,01$ (SE)
HS Rosenheim ³	778	$0,17 \pm 0,07$ (SD)	$0,26 \pm 0,07$ (SD)

4. Diskussion

Die mit PI und Tutorials erreichten Lernzuwächse in CH und jene mit PI, JiTT und Tutorials in D sind gut (s. h. Tabelle 2) und liegen im zu erwartenden Bereich für aktivierende Lehrmethoden (s. h. Tabelle 3).

Ausgehend von im Mittel hohen Punktzahlen von 15,5 (Abbildung 1) im Vortest reichen die mittleren individuellen Änderungen in CH mit $0,42 \pm 0,03$ (s. h. Tabelle 2) dazu aus, um beginnendes Verständnis für die Newtonsche Mechanik am Ende der Kurse zu erreichen, was mit im Mittel 21,5 Punkten im Nachtest demonstriert wird (Hopf, 2009). Die vergleichbaren Lernzuwächse mit $0,35 \pm 0,03$ in D (s. h. Tabelle 2) führen aufgrund des signifikant niedrigeren Ausgangsniveaus von 10,2 Punkten (Abbildung 1) nicht dazu, dieses Verständnis im Bereich über 18 Punkten mit den 16,9 erreichten Punkten im Nachtest verlässlich zu erzeugen (s. h. Abbildung 2).

Der Unterschied im Ausgangsniveau der Schweizer und der deutschen Kohorten wird im Zugang zu einer Hochschule für Angewandte Wissenschaften vermutet. In CH ist dazu der Abschluss der Sekundarstufe I, eine abgeschlossene Berufsausbildung mit betrieblichen und berufsschulischen Anteilen sowie eine Berufsmaturität notwendig. Physikunterricht muss dabei in allen drei Abschnitten verpflichtend absolviert werden. 95% der Schweizer Teilnehmer hatten eine Berufsausbildung und eine Berufsmatura absolviert und verfügten über eine nicht unerhebliche Berufserfahrung. Der Altersdurchschnitt war folglich über 20 Jahre. Die deutschen Studierenden hatten zu über 75% nur Abitur. Die weiteren 25% verfügten über eine Berufsausbildung neben dem Abitur, Fachabitur bzw. in seltenen Fällen der Fachhochschulreife. Die deutschen Studierenden waren im Mittel daher jünger als 20 Jahre. Die schulische Vorbildung im Fach Physik in D im Vergleich zu CH wird als geringer eingeschätzt, wodurch die signifikant geringeren Punktzahlen im Vortest erklärt werden könnten.

Der Umfang aktivierender Lehrmethoden mit PI, JiTT und Tutorials betrug 41 h der gesamten Kontaktzeit von 54 h in D. Er war damit doppelt so groß, wie

die mit PI und Tutorials verbrachten 21 h Kontaktzeit bei einer gesamten synchronen Unterrichtszeit von 42 h in CH, wodurch gerade noch vergleichbare Lernzuwächse erzielt werden konnten (s. h. Tabelle 2). Dies legt zunächst den scheinbaren Widerspruch nahe, dass ein geringerer Umfang an aktivierenden Lehrmethoden zu höheren Lernzuwächsen führen würde. Der Grenzfall für einen verschwindenden Umfang an aktivierenden Lehrmethoden ist allerdings durch den Wert für traditionelle Lehrmethoden gegeben und fällt im Bereich zwischen 0,17-0,23 am niedrigsten aus (s. h. Tabelle 3). Wenn eine stetige Abhängigkeit des Lernzuwachs vom Umfang der aktivierenden Lehrmethoden unterstellt wird, müsste diese Funktion ein Maximum durchlaufen. In Analogie zu Dosis-Wirkungsbeziehung aus der Pharmakologie (Holford und Sheiner, 1981) und Psychotherapie (Howard et al., 1986) würde allerdings ein stetiger Anstieg mit einem anschließenden Übergang in einen Sättigungsbereich erwartet werden, so dass ein Verlauf mit einem Maximum zumindest als ungewöhnlich zu bewerten wäre. Ein erster einfacher Erklärungsansatz ergibt sich durch die Einbeziehung der durchschnittlichen Anwesenheit der Studierenden in die Betrachtung. Die Anwesenheit der Schweizer Studierenden war sehr hoch und kann mit über 95% an allen Unterrichtseinheiten in Präsenz abgeschätzt werden, was durch die Teilnahmen am Vortest mit 97% (115 von 119 Studierenden) und am Nachtest mit 91% (108 von 119 Studierenden) gestützt wird. Der Besuch der Lehrveranstaltungen der deutschen Studierenden fiel über die Semesterwochen in den Kursen ab. Am Vortest nahmen 75% und am Nachtest 41% der eingeschriebenen Studierenden teil, so dass die durchschnittliche Anwesenheit der Kursteilnehmer grob mit 50% während der Kurszeiträume in D abgeschätzt werden kann. Die Auflösung des scheinbaren Widerspruchs bezüglich des Lernzuwachs aktivierender Lehrmethoden ergibt sich durch die Annahme eines einfachen multiplikativen Modells zwischen Umfang aktivierender Lehrmethoden und Anwesenheit der Studierenden. Die doppelte Dosis aktivierender Lehrmethoden mit 41 h führt bei halber Wahrnehmung des Angebots (50% Anwesenheit) in D zu einem knapp vergleichbaren Effekt wie für die Schweizer Kohorte (s. h. Tabelle 2). Die Ursachen für die hohe Anwesenheitsquote in CH werden im höheren Durchschnittsalter der Studierenden, der Berufsausbildung und Berufserfahrung und der damit einhergehenden ausgeprägteren Arbeitsdisziplin und höheren Reife vermutet.

5. Fazit und Ausblick

Mit den in den Kursen verwendeten Lehrmethoden PI, JiTT und Tutorials konnten gute Lernzuwächse erzielt werden, die charakteristisch für die Ergebnisse aktiven Lernens Studierender sind. Der zeitliche Umfang der Lehrmethoden in den Kursen und die Voraussetzungen der Studierenden waren dabei zwi-

schden den beiden Kohorten aus D und CH sehr unterschiedlich. Fragen zu der Dosis-Wirkungsbeziehung aktivierender Lehrmethoden konnten nur angerissen werden. Weiterführende Studien sollten sich deren Charakterisierung widmen. Welche Lehrmethoden am effektivsten sind oder was die beste Mischung aus aktivierenden und traditionellen Lehrmethoden ist, sind offene Fragen, die auf Klärungen warten (Martella et al., 2024). Wie können die grundlegenden Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für aktivierende Lehrmethoden beeinflusst und gestaltet werden, ist eine weitere entscheidende Frage. Denn aktivierende Lehrmethoden können nur wirken, wenn auch jemand zum Aktivieren da und zum aktiven Lernen bereit ist.

6. Literatur

- Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H., Wenderoth, M.P., 2014. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111, 8410. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Hake, R.R., 1998. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am. J. Phys.* 66, 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hestenes, D., Wells, M., Swackhamer, G., 1992. Force concept inventory. *Phys. Teach.* 30, 141–158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Hintze, J.L., Nelson, R.D., 1998. Violin Plots: A Box Plot-Density Trace Synergism. *Am. Stat.* 52, 181–184.
- Holford, N.H.G., Sheiner, L.B., 1981. Understanding the Dose-Effect Relationship. *Clin. Pharmacokinet.* 6, 429–453. <https://doi.org/10.2165/00003088-198106060-00002>
- Hopf, M., 2009. Physikdidaktik als nutzerorientierte Grundlagenforschung. *PLUS LUCIS* 1–2.
- Howard, K.I., Kopta, S.M., Krause, M.S., Orlinsky, D.E., 1986. The dose-effect relationship in psychotherapy. *Am. Psychol.* 41, 159–164. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.41.2.159>
- Junker, E., Schäfle, C., Stanzel, S., 2017. Die Heterogenität der Studienanfänger in den Ingenieurstudiengängen: Messungen mit dem „Force Concept Inventory“. *DiNa, Aktivierung in heterogenen Gruppen: Was MINT-Lehre bewirken kann.* 2017, 13–23.
- Martella, A.M., Schneider, D.W., O’Day, G.M., Karpicke, J.D., 2024. Investigating the intensity and integration of active learning and lecture. *J. Appl. Res. Mem. Cogn.* <https://doi.org/10.1037/mac000160>

- Marx, J.D., Cummings, K., 2007. Normalized change. *Am. J. Phys.* 75, 87–91.
<https://doi.org/10.1119/1.2372468>
- Mazur, E., 2017. *Peer Instruction: Interaktive Lehre praktisch umgesetzt*. Springer Spektrum.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-54377-1>
- Mazur, E., 1997. *Peer instruction : a user's manual*. Upper Saddle River, N.J. : Prentice Hall, [1997] ©1997.
- McDermott, L.C., 2001. Oersted Medal Lecture 2001: “Physics Education Research—The Key to Student Learning.” *Am. J. Phys.* 69, 1127–1137.
<https://doi.org/10.1119/1.1389280>
- McDermott, L.C., Shaffer, P.S., 2008. *Tutorien zur Physik*, 1. Edition. ed. Pearson Studium, München.
- Novak, G.M., Patterson, E.T., Garvin, A.D., Christian, W., 1999. *Just-In-Time Teaching: Blending Active Learning With Web Technology*, 1. Edition. ed. Pearson, Upper Saddle River, NJ.
- Ridder-Symoens, H. de (Ed.), 1991. *A History of the University in Europe: Volume 1: Universities in the Middle Ages*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Stanzel, S., Junker, E., Schäfle, C., 2017. Lernzuwachs in Mechanik: Messungen mit dem „Force Concept Inventory“. *DiNa, Aktivierung in heterogenen Gruppen: Was MINT-Lehre bewirken kann*. 2017, 24–38.
- Von Korff, J., Archibeque, B., Gomez, K.A., Heckendorf, T., McKagan, S.B., Sayre, E.C., Schenk, E.W., Shepherd, C., Sorell, L., 2016. Secondary analysis of teaching methods in introductory physics: A 50 k-student study. *Am. J. Phys.* 84, 969–974.
<https://doi.org/10.1119/1.4964354>
- Wilhelm, T., 2005. Verständnis der Newtonschen Mechanik bei bayerischen Elftklässlern - Ergebnisse beim Test “Force Concept Inventory” in herkömmlichen Klassen und im Würzburger Kinematik-/Dynamikunterricht. *PhyDid - Phys. Didakt. Sch. Hochsch.* 2, 47–56.

Danksagung

Mein Dank gilt den Studierenden für ihre Teilnahme und Bearbeitung des FCI, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.