

## Einsatz eines Classroom Response Systems in einer Grundlagenvorlesung zur Klassischen Mechanik

Tobias Roth\*

\*Hochschule Trier, Standort Schneidershof, Postfach 1826, 54208 Trier  
[t.roth@umwelt-campus.de](mailto:t.roth@umwelt-campus.de)

### Kurzfassung

Vorlesungen in großen Gruppen leiden unter der grundsätzlichen Schwierigkeit, ob zwischen den Akteuren auf beiden Seiten ein lernförderlicher Dialog zustande kommt: Seitens der Studierenden mag das Bedürfnis bestehen, ein unmittelbares und möglichst individuelles Feedback zu ihrem Lernfortschritt zu erhalten oder aktiv in die Veranstaltung mit einbezogen zu werden. Auf der anderen Seite wünscht sich der Lehrende eine ebenso zeitnahe Rückkopplung zum Vorwissens- oder Leistungsstand seiner Lerngruppe, um darauf mit den geeigneten didaktischen Maßnahmen reagieren zu können. Um diesem gegenseitigen Wunsch mehr Rechnung zu tragen, wurde eine einsemestrige Vorlesungsveranstaltung zur Klassischen Mechanik mit dem unterstützenden Einsatz des electronic Classroom Response Systems (CRS) PINGO [1] durchgeführt. Anhand von konkreten Umsetzungsbeispielen und der gemachten Erfahrungen soll das Potential derartiger Instrumente für die physikalische Lehre diskutiert werden – sei es, um Lerninhalte zu motivieren, zu rekapitulieren, zu evaluieren oder ganz allgemein, um dazu beizutragen, dass sich Lehrende und Lernende besser aufeinander einstellen.

### 1. Einleitung

Wie lässt sich in großen Gruppen zwischen Dozierenden und Studierenden ein lernförderlicher Dialog herstellen? Wie gelingt die Aktivierung der Studierenden bzw. die Interaktion zwischen ihnen? Der Methodenkoffer für die Lehre mit großen Hörerzahlen ist durchaus gut gefüllt: Zur kurzzeitigen Lern-Intervention bieten sich beispielsweise die bekannte ‚Murmelgruppe‘ oder ‚Think-Pair-Share‘ an. Soll die Aktivierung hingegen länger andauern oder soll eine vertiefende Auseinandersetzung mit dem Lerninhalt erzielt werden, so empfehlen sich u.a. ‚Kleingruppenarbeit‘ und ‚Gruppenpuzzle‘. Schließlich hat sich ein ganzes Vorlesungskonzept der Studierendenaktivierung verschrieben und findet als ‚Flipped/Inverted Classroom‘ auch in Grundlagenvorlesungen zur Physik Verbreitung (vgl. [2] und Referenzen darin).

Durch sogenannte Elektronische Abstimmungs-/Votingsysteme (EVS), die im Weiteren als Classroom Response Systeme (CRS) bezeichnet werden, stimmen die Teilnehmenden mit (ihren) Endgeräten synchron und anonym über eine Frage mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten ab, während das Ergebnis unmittelbar ausgewertet und zentral angezeigt wird [3]. Die Möglichkeiten, welche sich mit solchen online-gestützten Abstimmungen für die Lehr-Lern-Praxis aufbauen, liegen auf der Hand. Einerseits ist jeder Lernende – unmittelbar oder nach vorgeschaltetem Austausch in Kleingruppen – zur Beteiligung in einer angstfreien Atmosphäre einge-

laden. Andererseits macht das prompte Ergebnis-Feedback einen besonderen Reiz aus, was etwa die Selbstreflexion durch Vergleich mit den Mitstudierenden auf spielerische Art im Wettbewerb fördern kann. Darüber hinaus ist zu vermuten, dass die Lernenden das Abstimmen mit dem (eigenen) Smartphone – zumindest aus medientechnischer Sicht – als innovative Auffrischung der Lehre begrüßen.

Es sollen Erfahrungen und Empfehlungen weitergegeben werden, welche aus dem Lehreinsatz eines CRS in einer Grundlagenvorlesung zur Klassischen Mechanik resultieren. Dabei sei aus dem Repertoire an aktivierenden Lernarchitekturen lediglich die Intervention mit Online-Quizfragen herausgegriffen.

### 2. Zum Inhalt

Der vorliegende Beitrag gliedert sich inhaltlich wie folgt: Zunächst nimmt Kapitel 3 eine grobe Charakterisierung der Lerngruppe vor, die an den vorzustellenden Umfragen mit dem CRS teilnimmt. Kapitel 4 geht auf einige organisatorische Aspekte im Zusammenhang mit der Vorbereitung und Durchführung der Classroom-Umfragen ein, bevor in Kapitel 5 eine Auswahl an konkreten Abstimmungen zu den verschiedenen Themenfeldern aus der Klassischen Mechanik gegeben wird. Kapitel 6 fängt die Rückmeldung der Studierenden zum Lernen mit dem CRS ein, während im darauffolgenden Kapitel 7 die Pros und Kontras dieses Lehr-Lerninstrumentes im speziellen Lernsetting einander gegenübergestellt und bewertet werden. Dem schließen sich ein Fazit mit Ausblick sowie eine Zusammenfassung an.

### 3. Charakterisierung der Lerngruppe

Zur statistischen Erfassung der Lerngruppe sowie der Beweggründe bezüglich der Wahl der Hochschule wird bereits auf das im nächsten Kapitel besprochene CRS PINGO zurückgegriffen.

Bei der Lerngruppe handelt es sich zum Großteil um (Fach-)Studienanfänger; rund drei Viertel (72%) der Vorlesungs- bzw. Befragungsteilnehmenden studieren im 1. Fachsemester. Neben den unterschiedlichen Hochschulzugangsberechtigungen spricht auch die Wahl der vertretenen Studiengänge für eine heterogene Lerngruppe, wovon 35% (28/80) in Elektrotechnik (ET), 33% (26/80) in Medizininformatik (MI), 16% (13/80) in Medizintechnik (MT) sowie weitere 16% im Wirtschaftsingenieurwesen (WI) eingeschrieben sind.

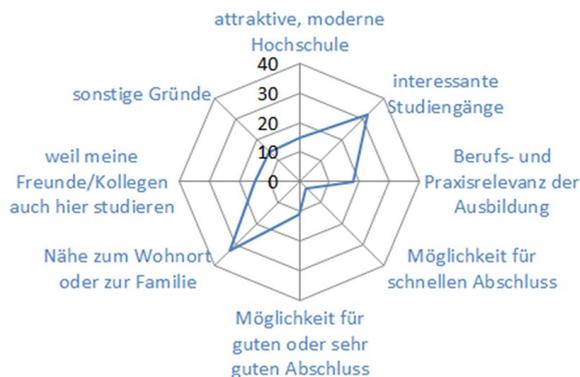
Auf die Frage „Warum studieren Sie an der Hochschule Trier (Mehrfachnennungen möglich)?“ nennen die 60 Teilnehmenden an dieser Abstimmung verschiedene Gründe (siehe Abb. 1): Nähe zum Wohnort oder zur Familie (55%, 33/60), interessante Studiengänge (53%, 32/60), Berufs- und Praxisrelevanz der Ausbildung (30%, 18/60), weil meine Freunde/Kollegen auch hier studieren (25%, 15/60), attraktive, moderne Hochschule (25%, 15/60), Möglichkeit für guten oder sehr guten Abschluss (18%, 11/60) und Möglichkeit für schnellen Abschluss (5%, 3/60); 23% (14/60) geben sonstige Gründe an.

Insgesamt ist das Einzugsgebiet der Hochschule Trier eher regional, für dessen Studierenden offenbar die Berufs- und Praxisrelevanz des als interessant empfundenen Studienangebots bei der Wahl des Studienortes im Vordergrund stehen. Die Möglichkeiten eines zügigen Abschlusses mit guter oder sehr guter Note sind den zuerst genannten Motiven mit deutlichem Abstand nachgeordnet.

### 4. Vorbereitung und Durchführung der Classroom-Umfragen

Eine Internetsuche liefert auf Anhieb eine ganze Palette an mehr oder minder geeigneten Abstimmungssystemen. Unter [3] werden beispielsweise EduVote, OnlineTED oder PINGO aufgelistet, die in punkto Funktionsumfang und Handhabung vergleichbar sein dürften. Im Folgenden wird sich für das CRS PINGO (Peer Instruction for Very Large Groups) [4] von der Universität Paderborn entschieden. Für nähere Informationen zu PINGO oder für Hinweise zu didaktischen Einsatzmöglichkeiten sei auf die hilfreiche Handreichung unter [5] verwiesen.

Obwohl der Autor dieses Beitrags über keine persönlichen Vorerfahrungen mit derartigen Abstimmungssystemen verfügt, ist dank der übersichtlichen Programm-Strukturierung und der selbsterklärenden Bedienung der Aufwand für die Einarbeitung in das hier verwendete PINGO jedoch unerheblich. Nach der Registrierung kann bereits mit dem Anlegen einer sogenannten Session (hier: Klassische Physik)



**Abb. 1:** Umfrage unter 60 Teilnehmenden nach den Gründen für die Wahl des Studienortes

sowie dem Füllen des Fragenkatalogs begonnen werden. Zu diesem Zweck sind die Fragentypen Single-Choice (SC), Multiple-Choice (MC), Freitext oder Numerisch als Eingabemasken vorgegeben.

Zur Durchführung der Abstimmung während der Veranstaltung wählt der Session-Inhaber aus seinem Katalog die vorbereiteten Fragen aus, um sie unter Vorgabe der Bearbeitungszeit ins Plenum einzuspielen. Alternativ lassen sich auch sogenannte Ad-hoc-Fragen spontan formulieren. Alle Fragen können wiederholt zur Abstimmung freigegeben werden, was sich zum Feststellen des Lernfortschritts innerhalb einer Lernsequenz als nützlich erweist. Seitens der Studierenden ist lediglich ein internetfähiges Endgerät (z.B. Smartphone, Tablet-PC, Laptop) notwendig. Derzeit müssen die Teilnehmenden keine eigene Registrierung vornehmen, sondern können sich direkt mit dem vom Session-Inhaber mitgeteilten sechsstelligen Zahlencode im Login-Bereich von PINGO einwählen. Die Auswertung der anonymen Befragung erfolgt prompt und wird – für alle Beteiligten sichtbar – graphisch (z.B. als Histogramm oder als Begriffswolke) dargestellt.

Wissend, dass nach der aktuellen JIM-Studie 2015 [6] bereits 92% aller deutschen Jugendlichen im Alter zwischen zwölf und neunzehn Jahren im Besitz eines eigenen Smartphones sind (darunter Dreiviertel mit Internetflatrate), stellt das Vorhandensein eines Abstimmungsgerätes quasi keine Lernbarriere (mehr) dar. Alternativ können zusätzliche Abstimmungsgeräte von der Bildungseinrichtung bereitgehalten werden. Ungeachtet dessen bleibt es jedem Teilnehmenden überlassen, die Umfragen auch mental oder auf Papier zu beantworten.

In dem hier berichteten Einsatzszenario wird das CRS vorwiegend zum wöchentlich regelmäßigen Wiederholen der Inhalte aus der jeweils vorangegangenen Vorlesungseinheit verwendet. Auf diese Weise wird die Classroom-Umfrage zu Beginn einer jeden Veranstaltung als Ritual eingeführt und gepflegt. Im Anschluss wird das Abstimmungsverhalten begutachtet und bei Bedarf die korrekten und falschen Antwortmöglichkeiten gemeinsam in der Gruppe besprochen. Die Auflösung der Fragen wird

den Studierenden auch nochmals zusammen mit den anderen Vorlesungsmaterialien zur zeitnahen Nachbereitung bereitgestellt.

### 5. Auswahl an PINGO-Fragen zu den verschiedenen Themengebieten der Klassischen Mechanik

Das CRS PINGO kommt durchgängig in einer einsemestrigen Vorlesung zur Klassischen Mechanik an der Hochschule Trier bei der oben charakterisierten Lerngruppe zum Einsatz (vgl. Kapitel 3). Insgesamt resultieren drei Umfragen zur Charakterisierung der Lerngruppe, ein Classroom-Experiment, drei Schätzfragen, fünf Lerninterventionen, 36 Wiederholungsfragen, vier Feedbackfragen zur Vorlesung, zwei Evaluationen zu einem virtuellen Labor über Rotationsbewegungen (dessen Veröffentlichung soll an anderer Stelle erfolgen) sowie zwei Evaluationen zu PINGO selbst. Indem daraus eine Auswahl getroffen wird, sollen sowohl die verschiedenen Varianten an Abstimmungen aufgezeigt, als auch und die damit einhergehenden didaktischen Möglichkeiten in den Blick genommen werden. Darüber hinaus wird das Antwortverhalten der Studierenden kurz kommentiert.

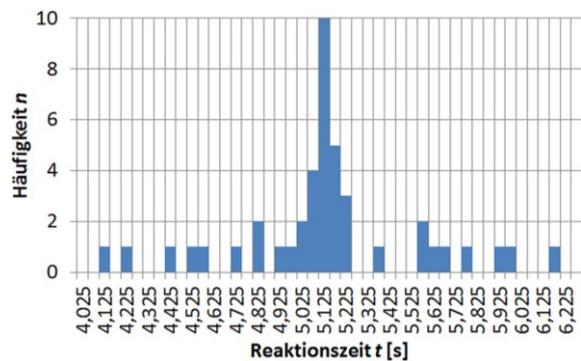
Im Einzelnen folgen Fragen zu den Themen Fehlerrechnung und Gauß-Verteilung, SI-System, Fallgesetz, Unabhängigkeit von Bewegungen, Newtonsche Axiome, Gleitreibung, Rollreibung, Arbeit, Kraft und Potential, Impuls und Impulserhaltung, Zentrifugalkraft, Trägheitsmoment, Kreisel sowie Mechanische Schwingungen. Der Themenkomplex zu Rotationsbewegungen wird absichtlich ausgelassen und soll an anderer Stelle besprochen werden. Hinter jeder Frage ist in runder Klammer jeweils die Anzahl der Teilnehmenden  $n$  genannt, wobei ‚SC‘ und ‚MC‘ markieren, ob eine Einfach- oder Mehrfachwahlantwort vorliegt. Die Angaben in eckigen Klammern hinter jeder Antwortmöglichkeit zeigen das Abstimmungsergebnis in Prozent bzw. als absolute Teilnehmerzahl.

#### 5.1. Kennenlernen der Lerngruppe

In der einführenden Vorlesungsveranstaltung bietet sich PINGO zur Auflösung der Anonymität der (großen) Gruppe an. Die Ergebnisse der Umfragen zum belegten Studiengang und Fachsemester sowie zu den Gründen für die Wahl des Studienortes sind bereits in Kapitel 3 vorgestellt.

#### 5.2. Fehlerrechnung und Gauß-Verteilung

Zum thematischen Einstieg mit der Fehlerrechnung soll die Natur des statistischen/zufälligen Fehlers mit einem virtuellen Classroom-Experiment in Gestalt eines Reaktionstestes veranschaulicht werden. Im Konkreten gilt es, auf den vom Dozenten auf Folie herbeigeführten Signalwechsel (von ‚rot‘ nach ‚grün‘ (= Start) und von ‚grün‘ wieder nach ‚rot‘ (= Ende)) möglichst schnell zu reagieren.



**Abb. 2:** Classroom-Experiment zur Verdeutlichung des statistischen Fehlers bei einem Reaktionstest in der Lerngruppe mit 43 (51) Teilnehmenden. Die Grafik zeigt die statistische Nachbearbeitung in Excel, da das von PINGO generierte Histogramm die Klassen unzweckmäßig zusammenfasst und darin noch acht ‚Ausreißer‘ enthalten sind.

Die mit einer Online-Stoppuhr [7] gemessene Reaktionszeit wird von jedem Studierenden anschließend in das numerische Eingabefeld der PINGO-Abstimmung eingetragen, bevor die Verteilung der Reaktionszeiten dargestellt wird.

Derweil ist es die Aufgabe des Lernenden festzustellen, dass die von PINGO automatisch vorgenommene Skalierung nicht äquidistant ist. Außerdem fallen einige Reaktionszeiten unrealistisch kurz bzw. lang aus und unterliegen eindeutig nicht dem Zufall. Die um diese ‚Ausreißer‘ bereinigte und korrekt skalierte Verteilung aus Abb. 2 besitzt eine recht gut ausgeprägte Symmetrie um den Mittelwert von  $(5,09 \pm 0,41)$  s.

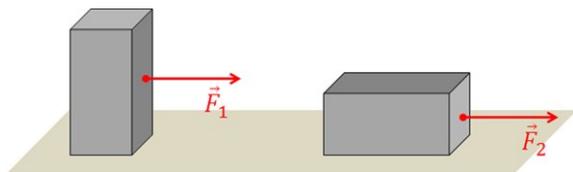
Andere, hier nicht weiter aufgeführte, Umfragen zur Fehlerrechnung thematisieren die (partielle) Ableitung einer Funktion mit mehreren Variablen.

#### 5.3. SI-System

Es ist aufschlussreich, das Vorwissen zum Thema SI-System aufzuzeigen. Zu diesem Zweck greift die folgende, ausschließlich an Studierende des 1. (Fach-)Semesters gerichtete, Frage absichtlich der Behandlung in der Vorlesung voraus.

„Auf welchen drei Grundgrößen ist die Physik aufgebaut? (n = 50, MC)

- Fläche, Volumen, Dichte [10%, 5]
- Länge, Zeit, Masse [68%, 34] ✓
- Kraft, Energie, Leistung [30%, 15]
- Geschwindigkeit, Beschleunigung, Raumzeit [8%, 4]
- Lichtgeschwindigkeit, Erdbeschleunigung, Elektronenmasse [8%, 4]
- Kelvin, Celsius, Fahrenheit [8%, 4]
- Sekunde, Minute, Stunde [8%, 4]
- Mol, kg, bar [10%, 5]“



**Abb. 3:** Gedankenexperiment zur Gleitreibung (vgl. Kapitel 5.7)

Im Zusammenhang mit dem SI-System erheben die zusätzlichen Fragen „Wie breit (in Metern) ist der Hörsaal auf der Tafelseite?“, „Welche Masse (in Gramm) besitzt die [durchgereichte] Kugel?“ und „Wie lange (in Sekunden) benötigt die Kugel für eine vollständige Hin und Her Bewegung?“ die Schätzkompetenz der Lerngruppe (vgl. dazu [8]).

#### 5.4. Fallgesetz

„Ein Würfel aus Styropor, Holz und Stahl von identischem Volumen werden zur selben Zeit über den Rand eines 200 m hohen Wolkenkratzers geschoben. Die Luftreibung soll keine Rolle spielen. Welcher der drei Würfel trifft als erstes am Boden auf? (n = 45, SC)

- a) der Würfel aus Styropor [0%, 0]
- b) der Würfel aus Holz [2%, 1]
- c) der Würfel aus Stahl [38%, 17]
- d) alle drei Würfel treffen gleichzeitig auf [60%, 27] ✓

Obwohl es scheinbar der Intuition widerspricht, ist die Fallzeit in der Tat unabhängig von der Fallmasse. Eine analoge Aufgabe zu selbigem Sachverhalt – nun besitzen die drei Körper statt dem gleichen Volumen die gleich große Masse – bestätigt das Abstimmungsergebnis.

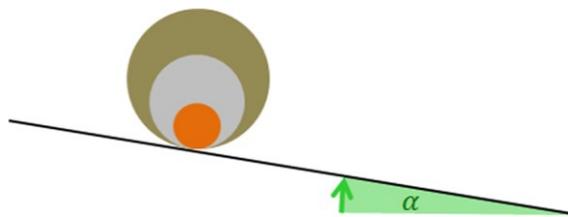
#### 5.5. Unabhängigkeit von Bewegungen

Während auf eine Mehrfachwahlaufgabe zum funktionalen Zusammenhang der Größen der Translation hier nicht weiter eingegangen wird, soll die folgende Aufgabe ihrer Lösung zugeführt werden.

„Drei Stuntmen rasen mit ihren Motorbikes auf einen Abgrund im Grand Canyon zu. Gregor hat die größte, Michael die mittlere und Klaus die kleinste Fahrgeschwindigkeit. Während sich die drei jeweils mit einem Fallschirm retten, stürzen ihre Motorbikes in die Tiefe. Wessen Motorbike schlägt als erstes im Flussbett des Colorado Rivers auf? (n = 45, SC)

- a) Gregors Motorbike [13%, 6]
- b) Michaels Motorbike [2%, 1]
- c) Klaus Motorbike [11%, 5]
- d) alle drei Motorbikes gleichzeitig [73%, 33] ✓

Die Unabhängigkeit der Bewegungen bei der Überlagerung einer gleichförmig-geradlinigen Bewegung in horizontaler und einer gleichförmigen Beschleunigung in vertikaler Richtung wird von den meisten Lernenden erkannt.



**Abb. 4:** Welcher der drei Zylinder beginnt zuerst zu rollen (vgl. Kapitel 5.8)?

#### 5.6. Newtonsche Axiome

„Sie bringen einen 5 kg schweren Bowling-Ball ohne Anlauf aus dem Stand innerhalb von 0,1 s auf die Geschwindigkeit von 5 m/s. Welche Kraft müssen Sie aufwenden? (n = 22, SC)

- a) 2,5 N [18%, 4]
- b) 5 N [9%, 2]
- c) 25 N [14%, 3]
- d) 50 N [9%, 2]
- e) 250 N [50%, 11] ✓
- f) 500 N [0%, 0]“

Die richtige Antwort wird von der Hälfte der Teilnehmenden gegeben. Ansonsten ist auffällig, dass die Antworten a) und c) häufiger angeklickt sind als die Antworten b), d) oder f). Der Grund dafür könnten Rechenfehler mit der Dezimalstelle sein.

Daneben thematisiert eine Aufgabe Newtons Wechselwirkungsprinzip (actio = reactio).

#### 5.7. Gleitreibung

Die folgende Aufgabe eignet sich als Motivation der Vorlesungssequenz zur Reibung. Dabei spielt weniger die richtige Beantwortung eine Rolle; vielmehr soll mit einem Überraschungseffekt auf den kommenden Inhalt neugierig gemacht werden.

„Ein Quader aus Stahl wird einmal aufrecht stehend und einmal liegend auf einer ebenen Fläche positioniert. In welchem Fall muss mehr Kraft aufgewendet werden, um den Stahlquader – unter Berücksichtigung der Reibung – in Bewegung zu versetzen (siehe Abb. 3)? (n = 38, SC)

- a) Die Reibungskraft ist im Falle des aufrecht stehenden Quaders am größten. [0%, 0]
- b) Die Reibungskraft ist im Falle des liegenden Quaders am größten. [79%, 30]
- c) Die Reibungskraft ist in beiden Fällen gleich groß. [21%, 8] ✓

#### 5.8. Rollreibung

Zur Rollreibung soll das Lesen eines Formelausdrucks getestet werden, was offenbar Schwierigkeiten bereitet.

„Die drei abgebildeten Zylinder (siehe Abb. 4) haben den exakt gleichen Rollreibungskoeffizienten mit  $\mu_{\text{Roll}} = r \cdot \tan \alpha_{\text{Roll}}$ .

Die schiefe Ebene wird zunehmend geneigt. Welcher der drei Zylinder beginnt zuerst zu rollen? (n = 52, SC)

- der Zylinder mit dem kleinsten Durchmesser [29%, 15]
- der Zylinder mit dem mittleren Durchmesser [0%, 0]
- der Zylinder mit dem größten Durchmesser [12%, 6] ✓
- alle drei Zylinder gleichzeitig [60%, 31]“

### 5.9. Arbeit

Zur physikalischen Größe Arbeit bietet sich eine Kopfrechenaufgabe an.

„Welche mechanische Arbeit ist mindestens notwendig, damit ein Schlepplift am Feldberg 20 Personen von durchschnittlich je 50 kg über eine Strecke von insgesamt 200 m vom Startpunkt in einer Höhe von 1400 m auf den Gipfel in 1493 m zieht? (n = 30, SC)

- 91 kJ [10%, 3]
- 196 kJ [7%, 2]
- 0,91 MJ [20%, 6] ✓
- 1,96 MJ [37%, 11]
- 9,1 MJ [20%, 6]
- 19,6 MJ [7%, 2]“

Das Anspruchsvolle besteht darin, zu erkennen, dass die Strecke von 200 m für die Berechnung der mindestens aufzuwendenden Arbeit unerheblich ist. Weiterhin müssen zur Vereinfachung die 93 m Höhendifferenz durch 100 m aufgerundet werden.

### 5.10. Kraft und Potential

Der Themenkomplex Kraft und Potential umfasst – neben der Identität ‚Kraft gleich negativer Gradient des Potentials‘ – die mathematischen Eigenschaften von konservativen Feldern und Zentralkraftfelder. Aufgrund des höheren Abstraktionsgrades ist das Resultat der Abstimmung nicht verwunderlich.

„Finden Sie die beiden Zentralkraftfelder. (n = 37, MC)

- $\vec{F}(x, y) = \frac{1}{(x^2 + y^2)^{3/2}} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$  [32%, 12] ✓
- $\vec{F}(x, y) = (x + y) \cdot \hat{r}$  [24%, 9]
- $\vec{F}(x, y) = \frac{1}{(x^2 + y^2)^{1/2}} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ y \end{pmatrix}$  [43%, 16]
- $\vec{F}(x, y) = (x^2 + y^2) \cdot \hat{r}$  [24%, 9] ✓
- $\vec{F}(x, y) = (x \cdot y) \cdot \hat{r}$  [24%, 9]
- $\vec{F}(x, y) = \frac{1}{(x^2 + y^2)^{1/2}} \cdot \begin{pmatrix} x \\ 0 \end{pmatrix}$  [35%, 13]“

### 5.11. Impuls und Impulserhaltung

Zur Impulserhaltung stellt sich die Aufgabe:

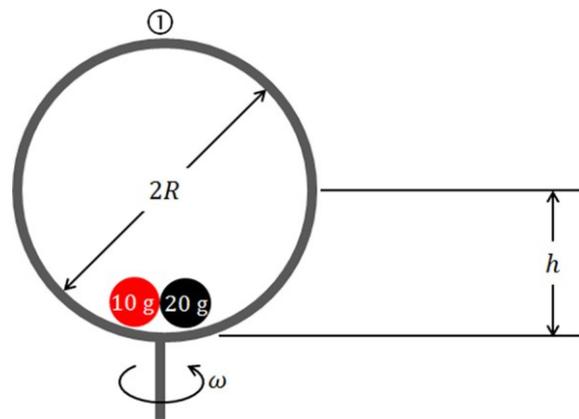


Abb. 5: Was passiert mit der roten Kugel (10 g) und der schwarzen Kugel (20 g) (vgl. Kapitel 5.12)?

„In welchen der folgenden Beispielen/Fällen handelt es sich um einen inelastischen oder vollkommen inelastischen Stoß? (n = 36, MC)

- Während eines Crashtests prallt ein Pkw mit 50 km/h gegen einen Rammbock. [42%, 15] ✓
- Beim Billardspiel kommt es zum Stoß zwischen zwei Kugeln gleicher Masse. [58%, 21]
- Die Analyse eines Stoßprozesses bestätigt den Energie- und Impulserhaltungssatz. [47%, 17]
- Sie feuern mit einer Spielzeugpistole eine kleine Stahlkugel in einen Schaumkuss. [50%, 18] ✓
- Sie werfen ein Stück Knete gegen eine bewegliche Drehtür. [33%, 12] ✓
- Von einem Schlauchboot wird ein großer Stein in Fahrtrichtung von Bord gestoßen. [31%, 11] ✓“

Die zur Vorlesung gehörende Klausur behandelt u.a. das Newton-Pendel und fragt nach der Art der Stöße zwischen dessen Stahlkugeln und den dafür gültigen Erhaltungssätzen.

### 5.12. Zentrifugalkraft

„Welche Aussagen sind korrekt (siehe Abb. 5)? (n = 49, MC)

- Bei ausreichend großem  $\omega$  wandern die beiden Kugeln (fast) bis zum höchsten Punkt der Bahn in ①. [24%, 12]
- Bei vorgegebenem  $\omega$  wird die leichtere rote Kugel weiter nach außen getrieben als die schwerere schwarze. [43%, 21]
- Bei vorgegebenem  $\omega$  werden beide Kugeln immer gleich weit nach außen getrieben. [39%, 19] ✓
- Bei vorgegebenem  $\omega$  wird die schwerere schwarze Kugel weiter nach außen getrieben als die leichtere rote. [16%, 8]
- Die beiden Kugeln steigen maximal bis zur Höhe  $h$  auf. [61%, 30] ✓
- Bei vorgegebenem  $\omega$  steigen die Kugeln umso weiter nach oben, je kleiner der Radius  $R$  der Kreisbahn ist. [29%, 14]“

Hierbei ist sowohl Intuition, als auch Vorwissen über das Zusammenspiel zwischen Zentrifugal- und Schwerkraft verlangt. Zwar verdoppelt sich die Zentrifugalkraft bei doppelter Masse (wie im Fall der schwarzen Kugel), aber gleichzeitig verdoppelt sich auch die Schwerkraft, weshalb die Nettokraft unverändert bleibt und somit die Antwortmöglichkeiten c) und e) korrekt sind.

### 5.13. Trägheitsmoment

„Die Abbildung (siehe Abb. 6) zeigt zwei Körper, welche aus mehreren Punktmassen in verschiedenen Abständen zur senkrecht auf der Zeichenebene stehenden Drehachse aufgebaut sind. Welche Aussage zum Trägheitsmoment der beiden Körper ist korrekt? (n = 32, SC)

- Das Trägheitsmoment von Körper 1 ist viermal so groß wie von Körper 2. [3%, 1]
- Das Trägheitsmoment von Körper 1 ist ein Viertel des Trägheitsmomentes von Körper 2. [16%, 5]
- Das Trägheitsmoment von Körper 1 ist doppelt so groß wie von Körper 2. [13%, 4]
- Das Trägheitsmoment von Körper 1 ist halb so groß wie von Körper 2. [25%, 8] ✓
- Wäre Körper 1 um genau einen Massenpunkt leichter, so hätten beide Körper das gleiche Trägheitsmoment. [6%, 2]
- Beide Körper besitzen das exakt gleich große Trägheitsmoment. [38%, 12]“

### 5.14. Kreisel

Neben einer Aufgabe zur Wiederholung der Fachbegriffe beim kräftefreien symmetrischen Kreisel soll nun die Formel zur Präzession des nicht-kräftefreien symmetrischen Kreisels interpretiert werden.

„Für die Präzessionsfrequenz eines nicht-kräftefreien symmetrischen Kreisels gilt:

$$\omega_p = \frac{m \cdot g \cdot r}{L} = \frac{m \cdot g \cdot r}{I \cdot \omega}$$

Was folgt für die Präzessionsfrequenz, wenn die Kreiselscheibe, bei sonst unveränderten Abmessungen, die doppelte Dichte hat, mit der doppelten Winkelgeschwindigkeit rotiert und der Neigungswinkel der Kreiselachse  $\alpha = 30^\circ$  beträgt? (n = 28, SC)

- Die Präzessionsfrequenz wird vervierfacht. [4%, 1]
- Die Präzessionsfrequenz wird verdoppelt. [11%, 3]
- Die Präzessionsfrequenz bleibt unverändert. [57%, 16]
- Die Präzessionsfrequenz ändert ihren Umlaufsinn. [14%, 4]
- Die Präzessionsfrequenz halbiert sich. [7%, 2] ✓
- Die Präzessionsfrequenz beträgt nur noch ein Viertel. [7%, 2]“

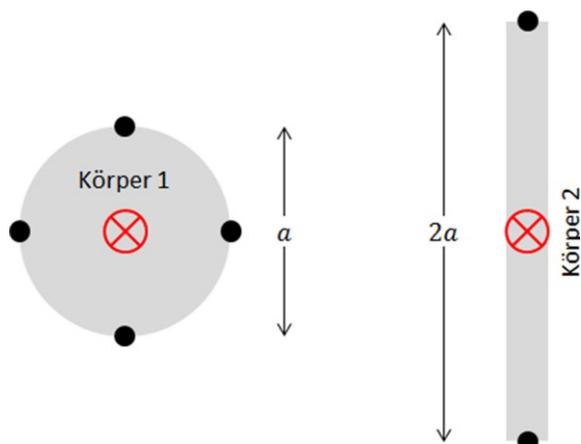


Abb. 6: Vergleich des Trägheitsmomentes zweier aus Punktmassen zusammengesetzter Körper (vgl. Kapitel 5.13)

Der Anforderungsgrad dieser Aufgabe lässt sich bei Bedarf erhöhen, indem die letzte Umformung des Drehimpulses nicht verraten wird.

### 5.15. Mechanische Schwingungen

Schwingungen und Resonanzen durchziehen viele Teilgebiete der Physik. Wir beschließen dieses Kapitel mit einer Frage zur gedämpften Schwingung.

„Eine an einer Feder auf- und abschwingende Kugel wird vollständig unter Wasser getaucht. Welche Beobachtung machen Sie bzw. welche Beschreibung ist korrekt? (n = 30, MC)

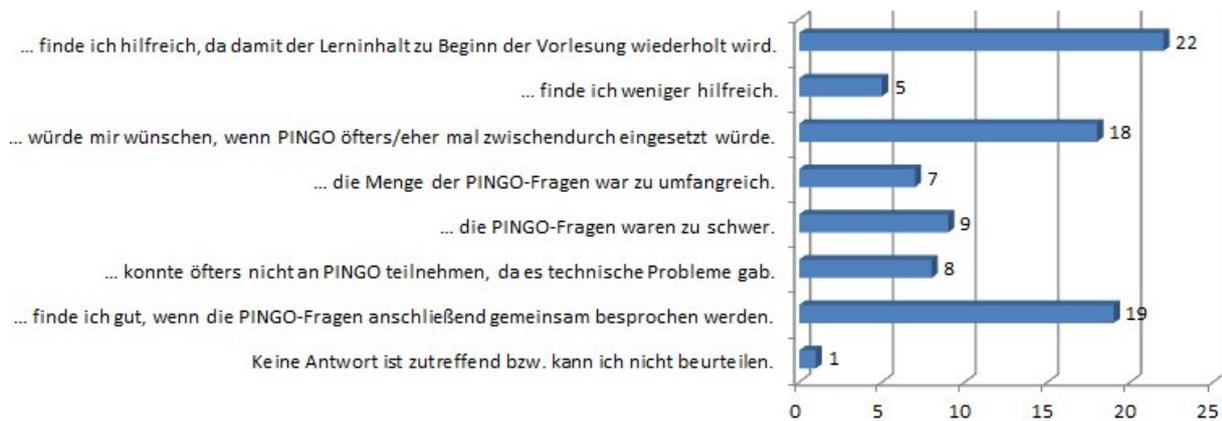
- Nach dem Untertauchen im Wasser klingt die Amplitude der Schwingung ab. [80%, 24] ✓
- Nach dem Untertauchen im Wasser gilt:  $x(t) = A_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi) \cdot e^{\gamma t}$ ,  $\gamma > 0$  [23%, 7]
- Die Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung ist kleiner als jene der ungedämpften Grundschwingung. [57%, 17] ✓
- Die Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung ist größer als jene der ungedämpften Grundschwingung. [13%, 4]
- Die Dämpfung ist proportional zur Geschwindigkeit. [50%, 15] ✓
- Die Dämpfung ist proportional zur Auslenkung. [47%, 14]“

Für die korrekte Beantwortung entscheidend ist die Kenntnis des Newtonschen Reibungsansatzes, wonach die Proportionalität zwischen Dämpfung und Geschwindigkeit gilt.

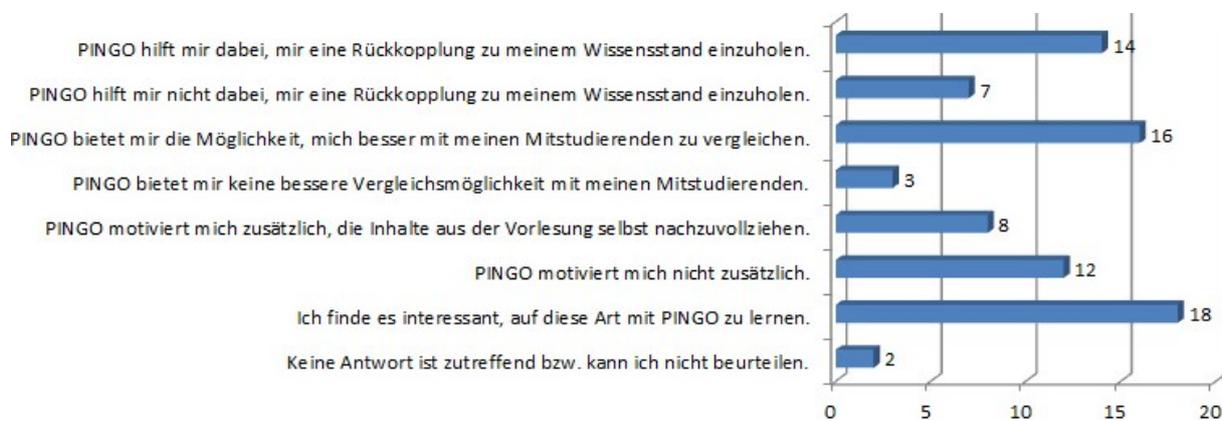
### 6. Evaluation von PINGO

Dieses Kapitel widmet sich der Wahrnehmung des Einsatzes von PINGO durch die Studierenden.

Demnach fällt die studentische Beurteilung der Verwendung von PINGO vor dem Hintergrund der



**Abb. 7:** Ergebnis der Evaluation unter 29 Teilnehmenden auf die Frage: „Im Rahmen Ihrer Vorlesung wurde das Online-Befragungsinstrument PINGO eingesetzt. Wir beurteilen Sie die Verwendung von PINGO vor dem Hintergrund dieser einsemestrigen Vorlesung? (Sie dürfen mehrere Stimmen vergeben.)“



**Abb. 8:** Ergebnis der Evaluation unter 26 Teilnehmenden auf die Frage: „Wie beurteilen Sie den Einsatz des Online-Befragungsinstrumentes PINGO für Sie ganz persönlich? (Sie dürfen mehrere Stimmen vergeben.)“

einsemestrigen Vorlesung zur Klassischen Mechanik folgendermaßen aus (siehe Abb. 7):

Der überwiegende Teil der Studierendenschaft (22/29) findet es hilfreich, da damit der Lerninhalt zu Beginn der Vorlesung wiederholt wird. Im Gegensatz dazu finden es 5/29 Studierenden als weniger hilfreich. Ein Großteil wünscht sich sogar, dass PINGO öfters mal zwischendurch eingesetzt würde. Umfang und Schwierigkeitsgrad der Abstimmungen werden im Mittel als angemessen beurteilt. Zwei Drittel heben die anschließende gemeinsame Besprechung der PINGO-Umfragen als positiv hervor.

Der zweite Evaluationsteil, welcher sich für die Reflektion des persönlichen Lernprozesses interessiert, liefert das Bild (siehe Abb. 8): Ein Großteil (18/26) findet es interessant, auf diese Art mit PINGO zu lernen. Ebenso werden die Möglichkeit zur Vergleichbarkeit mit Mitstudierenden (16/26) sowie die Möglichkeit zum Einholen einer Rückkopplung zum eigenen Wissensstand (14/26) gegenüber den jeweils negierten Aussagen als eindeutig positiv hervorgehoben. Allerdings führt PINGO nur bei einem Drittel zu einer zusätzlichen Motivation, die Inhalte aus der Vorlesung selbst nachzuvollziehen. Dies ist im Einklang mit der häufig bejahten

Aussage „finde es gut, wenn die PINGO-Fragen anschließend gemeinsam besprochen werden“.

Es bleibt noch zu ergänzen, dass in der davon unabhängigen Vorlesungsevaluation unter zehn Teilnehmenden PINGO viermal als Highlight der Vorlesung im Gedächtnis bleibt, wohingegen PINGO einmal bei „Was hat Ihnen an der Veranstaltung nicht gefallen“ eingeordnet wird.

### 7. Pros und Kontras PINGO in der Physikvorlesung

Vervollständigt man die im vorangehenden Kapitel konkretisierte studentische Rückmeldung zu PINGO im beschriebenen Lernsetting um die Sicht des Dozierenden, lassen sich die positiven und negativen Aspekte einander gegenüberstellen. Zu den Vorteilen zählen:

- unmittelbare Rückkopplung zum (Vor-)Wissen
- Vergleichsmöglichkeit mit Mitstudierenden
- Leistungsstatistik der Lerngruppe
- hilfreiche Unterstützung der Didaktik
- interessante Art Physik zu lehren/lernen
- Wiederverwertbarkeit der PINGO-Fragen

Im Gegensatz dazu sind als Nachteile aufzulisten:

- g) Zeitaufwand zur Vorbereitung didaktisch sinnvoller Fragen (ca. 30 Minuten pro Frage)
- h) Zeitbedarf zum Durchführen von PINGO in der Vorlesung (ca. 5 Minuten pro Frage inklusive einer kurzen Besprechung)
- i) Schwierigkeiten mit der Darstellung von Formeln und Abbildungen
- j) kleinere technische Probleme

Insbesondere die Möglichkeiten zur unmittelbaren Rückkopplung und zur Vergleichbarkeit mit Mitstudierenden bzw. zur Sichtbarmachung der Leistungsstatistik ist für beide Seiten – Lehrende/r wie Lernende/r – von großem Gewinn. Das Abstimmungsverfahren an sich ist technisch einfach, anonym und für alle transparent.

Der unter g) genannte, durchaus nicht zu vernachlässigende, Aufwand zum Erstellen eines Fragenpools mit didaktisch sinnvollen wie inhaltlich sauber formulierten Aufgaben ist dadurch relativiert, dass sich die Aufgaben in einer Folgeveranstaltung wiederverwerten oder mit Kolleginnen und Kollegen desselben Fachs austauschen lassen (vgl. Punkt f)). Der Zeitbedarf für die Durchführung, wie unter h) spezifiziert, ist de facto nicht als *Zeitverlust* zu verstehen. Eine gemeinsame Auflösung und Besprechung der Antworten im Plenum kann ggf. als weiterführende Aktivierung genutzt werden. Obwohl PINGO den Formelsatz (gängige LATEX-Befehle) erlaubt, ist die Darstellung auf manchen Endgeräten nicht immer einwandfrei (vgl. Punkt i)). Daher ist es ratsam, bei aufwändigeren Formelausdrücken und Bezügen zu Abbildungen auf (PowerPoint-)Folien zurückzugreifen. Die technischen Probleme (vgl. Punkt j) und Abb. 7) beschränken sich im Wesentlichen auf die Zuverlässigkeit der Internetverbindung und der Datenübertragungsrate via Wireless LAN vor Ort.

### 8. Fazit und Ausblick

Aus Sicht des Autors lässt sich mit PINGO „frischen Wind“ in die Physikvorlesung bringen – sei es, wie in Kapitel 5 an ausgewählten Beispielfragen gezeigt, zur Motivation oder Wiederholung von Inhalten oder zur Evaluation der eigenen Vorlesung. Für den zuletzt genannten Zweck eignet sich der Fragentyp Freitext zum Eintragen der Schlagworte, Highlights bzw. Flops der zurückliegenden Veranstaltung. Insgesamt lassen sich Fragen, Aufgaben, Abstimmungen von unterschiedlicher kognitiver Stufe (von wissen, wiederholen über anwenden, verstehen bis vergleichen, analysieren) stellen.

Es wird beobachtet, dass das CRS die (größere) Lerngruppe zusammenführt und -hält, indem der gegenseitige Dialog gefördert wird. Dank der unmittelbaren Ergebnis-Rückmeldung gelingt es den Studierenden besser, die eigene Leistung – besonders im Vergleich mit ihren Kommilitoninnen und Kommilitonen einzuordnen. Die Studierenden finden es gut, wenn die PINGO-Fragen anschließend

gemeinsam besprochen werden. Leider entfaltet das CRS (noch) eine zu geringe zusätzliche Motivation, die Inhalte selbst nachzuvollziehen, obwohl die meisten das Lernen mit PINGO interessant finden. Die Übertragung auf den schulischen Unterricht mit typischer Klassenstärke ist denkbar, wobei die technischen Voraussetzungen zu prüfen sind.

### 9. Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag exemplifiziert einige didaktische Möglichkeiten, welche ein Classroom Response System (CRS) für eine Grundlagenvorlesung zur Physik bietet. Das Abstimmungsinstrument wird von den Studierenden angenommen und trifft insgesamt auf eine positive Resonanz. Aus Sicht des Dozierenden lässt sich damit die eigene Veranstaltung (Vorlesung, Tutorium/Übung, Seminar) mit Elementen der aktivierenden Lehre anreichern und gleichzeitig den lernförderlichen Dialog mit, respektive zwischen, den Studierenden stärken.

### 10. Danksagung

Der Autor bedankt sich bei den Studierenden der Vorlesung ‚Klassische und Moderne Physik‘ für ihre aktive Teilnahme an den Classroom-Umfragen.

### 11. Literatur

- [1] Reinhardt, Wolfgang et al. (2012): PINGO: Peer Instruction for Very Large Groups. In: 21st Century Learning for 21st Century Skills, EC-TEL 2012, Saarbrücken, Proceedings, Springer, p. 507-512
- [2] Enders, J. (2015): Erste Erfahrungen mit einer invertierten Vorlesung in der Service-Lehre Physik bei großen Hörerzahlen. PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Wuppertal
- [3] e-teaching.org Redaktion (2016): Elektronische Abstimmungssysteme (Technik). Leibniz-Institut für Wissensmedien, Url: <https://www.e-teaching.org/technik/presentation/abstimmungssysteme> [30.05.2016]
- [4] Webseite von PINGO: <http://trypingo.com/de/>
- [5] Beutner, Marc et al. (April 2013): PINGO in der Lehre, Didaktische Handreichung zu Einsatzmöglichkeiten. Universität Paderborn
- [6] Feierabend, Sabine; Plankenhorn, Theresa; Rathgeb, Thomas (November 2015): JIM-Studie 2015, Jugend, Information, (Multi-) Media, Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland. Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, Stuttgart
- [7] Webseite mit einer online aufrufbaren Stoppuhr: <http://stoppuhr-online.chronme.com/> [30.05.2016]
- [8] Stinken, Lisa (2015): Schätzkompetenz von Schülerinnen und Schülern in der Sekundarstufe I. PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Wuppertal