

## Physik für Ingenieure

- Ein Erfahrungsbericht zum "Blended Learning"-

**Dominik Giel**

Hochschule Offenburg, Badstr.24, 77652 Offenburg  
dominik.giel@hs-offenburg.de

### Kurzfassung

Die Vorlesung Physik ist ein grundlegender Baustein der meisten Ingenieursstudiengänge und stellt für viele Studienanfänger eine Hürde zum Studienstart da. Die Vorkenntnisse der Studienanfänger sind zunehmend heterogen und der sichere Umgang mit physikalischen Konzepten erfordert mehr oder wenig Übung, um diese zu festigen oder auch erstmals einzuführen. Um dieses Üben zu ermöglichen, wurde für die Vorlesung "Physik 1" in den Studiengängen Maschinenbau, Werkstofftechnik, Mechatronik, Biomechanik, Biotechnologie und Umwelt- und Verfahrenstechnik der Hochschule Offenburg ein E-Tutorium erarbeitet, das die Übungsaufgaben in Form von 10 Online-Selbsttest mit jeweils vier Übungsaufgaben anbietet. Die Selbsttests beinhalten dabei typische Aufgabenstellungen, deren Zahlenwerte (Masse, Geschwindigkeit usw.) bei jedem Aufruf der Aufgabe variieren. Dadurch lassen sich die Selbsttests zum selbständigen Üben nutzen. Ein reines Abschreiben einer Musterlösung ist durch die veränderlichen Zahlenwerte darüber hinaus unmöglich. Wir beschreiben eine Methode zur effizienten Erzeugung der Moodle-basierten Selbsttests mit Hilfe der Software R/exams und berichten über die Erfahrungen beim ersten Einsatz.

### 1. Ziele

Das Nebenfach Physik ist ein häufiger Stolperstein auf dem Weg ins Ingenieurstudium: Viele Studierende der ersten beiden Semester bringen aus der Schule nur geringe Vorkenntnisse mit und sind überrascht vom schnellen Voranschreiten des Vorlesungsstoffes. Um eine Vorbereitung zu ermöglichen, hat eine Arbeitsgruppe aus Professoren und Professorinnen der baden-Württembergischen Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) einen Mindestanforderungskatalog Physik [1] aufgestellt, der die Schulkennnisse, die in der Physik-Vorlesung eines MINT-Faches an der (Fach)hochschule vorausgesetzt werden. Der Mindestanforderungskatalog für Physik ergänzt den Mindestanforderungskatalog Mathematik [2], der eine ähnliche Zielsetzung für die Schulmathematik verfolgt. Aus der Perspektive des Nebenfach-Physikers sind beide Kataloge gleichermaßen notwendig, denn der Physik-Stoff des ersten Semesters beinhaltet Vektorrechnung genauso wie und Ableitungsregeln, bevor die Mathematik-Vorlesung des ersten Semesters diese Themen erreichen kann. Die Physik für Ingenieure steht allerdings in einer gewissen Konkurrenz zu den Spezialvorlesungen der Ingenieursdisziplinen wie Technische Mechanik oder Elektrotechnik, die für den Studienanfänger berufsbildnäher erscheinen als die eher abstrakten Inhalte der Newton'schen Bewegungsgleichungen. Dementsprechend gering ist die Beteiligung der Studierenden an freiwillig angebotenen Tutorien, was sich leider in eher durchwachsenen Resultaten der entsprechenden Klausuren mani-

festiert. Eine verpflichtende Abgabe von Übungsaufgaben wäre hier eine mögliche Alternative, erfordert allerdings einigen Mehraufwand bei der Konzeption der Aufgaben und Korrektur der Lösung, wenn konventionelle Aufgabenblätter eingesetzt werden.

Vielleicht gibt es durch den Einsatz von elektronischen Hilfsmitteln einen Weg, die Formulierung und die Korrektur von Übungsaufgaben zu erleichtern? Wir beschreiben hier die Erstellung und den Einsatz von Physik-Übungsaufgaben in Form mehrerer Tests (sogenannte „Quizze“) auf der Lernplattform Moodle [3]. Die Aufgaben wurden im Rahmen einer Anfängervorlesung zunächst als freiwillige, unbenotete Selbsttest angeboten. Dieses „Blended-Learning“-Angebot ermöglicht auch Studienanfängern mit unterdurchschnittlichen Vorkenntnissen einen erfolgreichen Start ins Studium durch Angebot eines studienbegleitenden, formativen Assessments. Es ist mehr „Fitness-Studio“ (Aufbau von Muskelmasse durch eigener Anstrengung) als „Supermarkt“ (Tausch von studentischer Anwesenheit gegen physikalisches Geheimwissen). Eine verbindliche Verankerung der Selbsttests wäre mit einer geringfügigen Anpassung der Studien- und Prüfungsordnung möglich. Allerdings schaffen neue Pflichtveranstaltungen nicht unbedingt selbständigere Studierende, so dass das ideale Ziel ein E-Tutorium ist, dessen positive Wirkung von den Studierenden selber erkannt und freiwillig genutzt wird. Begleitet wurden das elektronische Tutorium durch eine ebenfalls freiwilliges Präsenztutorium, das von Studierenden

der höheren Semester geleitet wurde und für das Aufgabenzettel und Musterlösungen auf der Moodle-Plattform angeboten wurde. Die Zugriffszahlen auf den Moodle-Kurs mit allen Vorlesungsfolien und diese Übungsblätter bietet eine Referenz zur Einschätzung der Akzeptanz der Selbsttests im gleichen Kurs.

## 2. Methoden

Die an der Hochschule Offenburg eingesetzte Lernplattform Moodle [3] bietet die Möglichkeit, innerhalb eines sogenannten „Quiz“ Aufgaben zufällig aus einer Datenbank bzw. verschiedenen Unterkategorien zu ziehen. So erhält jeder Teilnehmer einen individuellen Aufgabensatz und durch den Abgleich der abgegebenen Antwort mit einer vorgegebenen Lösung eine rudimentäre Rückmeldung (richtig/falsch). Zwar ist das Absolvieren eines derartigen „Quizzes“ keine Prüfungsleistung, solange keine weiteren Vorkehrungen getroffen werden. Bei entsprechend großer Aufgaben-Datenbank ist aber die Nutzung von Musterlösungen oder das Abschreiben von Kommilitonen zwar möglich, aber letztendlich aufwändiger als die eigenständige Beschäftigung mit dem Stoff, die ja durch die Abschlussklausur nach wie vor notwendig bleibt. Eine Teilnahme am Quiz und das Erreichen einer bestimmten Mindestpunktzahl kann daher als Indiz für eine aktive Teilnahme am E-Tutorium gewertet werden.

Eine Möglichkeit, große Aufgaben-Datenbanken effizient zu erstellen (und die Motivation für die Archivierung von Musterlösungen zu verringern), ist die automatisierte Erzeugung von Aufgabentexten, die zufällig variierende Zahlenwerte enthalten, was wir in der Folge als randomisierte Aufgabenparameter bezeichnen. Die Lernplattform Moodle kann Datenbanken mit Quiz-Aufgaben in dem Dateiformat Moodle-XML importieren und aus diesen individuelle Quizzes (mit wiederum zufällig ausgewählten Aufgaben) zusammenstellen. Um eine diesem Format entsprechende Datei zu erzeugen, nutzen wir die Bibliothek R/exams [4], die die weit verbreitete Programmiersprache R um spezielle Befehle zur Erzeugung von Aufgaben in unterschiedlichen Formaten erweitert. Um eine solche Aufgabe zu erzeugen, muss zunächst ein Aufgabenstamm erstellt werden, der neben dem Text der eigentlichen Aufgabenstellung Platzhalter für die Zufallsparameter enthält. Optional kann auch ein Lösungstext mit Hinweisen zum korrekten Lösungsweg angefügt werden, den das Moodle-System je nach Einstellung nach der Abgabe einer Lösung Quizzes anzeigt. Die Bibliothek R/exams unterstützt viele der Fragetypen des Moodle-Systems, unter anderem Antwortwahlfragen (Typ „multiple choice“ und „single choice“). Für die Physik-I Vorlesung wurden überwiegend Aufgaben zur Berechnung eines Zahlenwertes (Moodle-Typ „numeric“) verwendet, zum Teil auch mehrere Zahlenwerte zu den gleichen Parameterwerten durch den Moodle-Fragetyp „cloze“ zusammen-

gefasst, um z.B. eine physikalische Größe und deren Unsicherheit abzufragen.

Aufgabenstellung und Lösungshinweise sind bei der Nutzung der R/exams Bibliothek im Format des Textsatzsystems Latex [5] zu formatieren. Für Neulinge ist das Erlernen dieses Systems unter Umständen eine Hürde, da bei der Eingabe keine graphische Darstellung erfolgt. Andererseits ist das System für die Eingabe mathematischer Formeln weit verbreitet, so dass viele Anwender direkt mit der Formulierung eigener Aufgabenstellungen beginnen können. Die Berechnung der Parameterwerte, die an die Stelle der Platzhalter in die Aufgabenstellungen eingesetzt werden, erfolgt über Programmcode in der Programmiersprache R. Die Programmiersprache bietet dabei rechnerische Möglichkeiten, die die Anforderungen der Aufgabenstellungen im Rahmen der Physik-I-Vorlesung weit übersteigen. So wird R auch für statistische Problemstellungen der Forschung eingesetzt. Durch die weite Verbreitung der Programmiersprache sind neben R/exams auch weitere Programmiererweiterung verfügbar – so lässt sich zum Beispiel über die Bibliothek rSymPy das Computeralgebrasystem SymPy [6] nutzen, dass unter anderem das symbolische Berechnen der Ableitung, aber auch elementare Rechenregeln wie das Bruchrechnen ermöglicht und die Ergebnisse entsprechend der LaTeX-Regeln ausgibt.

Über den üblichen Formelsatz hinaus bietet R/exams auch die Möglichkeit, Graphiken wie z.B. Funktionsgraphen oder Histogramme zu generieren und diese in die jeweiligen Aufgabenstellungen einzubinden, was weit über die Moodle-interne Möglichkeit zur Erzeugung von Aufgaben mit zufälligen Parametern hinausgeht.

R/exams unterstützt neben Moodle-XML diverse andere Dateiformate, so dass alle Aufgaben eines Quizzes z.B. in eine PDF-Datei ausgegeben werden können. Damit erhält man die Möglichkeit, die eigenen Aufgabenstellungen und Lösungstexte auch außerhalb der Moodle-Umgebung zu betrachten, was die Fehlersuche und die Überarbeitung erleichtert.

Für die Realisierung der vorlesungsbegleitenden Selbsttests wurden zunächst 44 Aufgaben aus den bestehenden Übungsblättern ausgewählt und bestimmte Zahlenwerte durch entsprechende Platzhalter ersetzt. Aus den 44 so entstandenen Aufgabenstämmen wurden jeweils zehn Varianten erzeugt, so dass insgesamt 440 Aufgaben mit unterschiedlichen Parameterwerten in Moodle importiert wurden. Jeder Selbsttest bestand aus vier Aufgaben, wobei jeweils nach dem Zufallsprinzip eine der zehn Varianten ausgewählt wurde. Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Studierende eine identische Ausgabenauswahl erhielt (oder bei Testwiederholung keine neue Aufgabe gezogen wurde), lag damit bei 1:10.000. Durch einen neuen Aufruf des entsprechenden R-Programmes lässt sich in jedem Semester eine neue Aufgabendatenbank generieren, was das

Anlegen einer Musterlösungssammlung zu einer aufwändigen Sache macht.

Zur automatischen Korrektur des abgefragten Lösungswert muss dieser bei der Erzeugung anhand einer entsprechend parametrisierten Lösungsformel berechnet werden (die natürlich nicht mit ausgegeben wird). Damit das Moodle-System eine Bewertung vornehmen kann, muss für jede Aufgabe ein entsprechendes Lösungsintervall, innerhalb dessen eine studentische Eingabe als korrekt gewertet werden kann. Das Intervall wird durch einen Dezimalbruch und einen entsprechenden Toleranzbereich definiert: ist zum Beispiel der gesuchte Zahlenwert einer Aufgabe der Bruch  $1/3$ , kann man nur ein mehr oder weniger enges Intervall, z.B. in der Form  $0,333 \pm 0,001$  oder  $0,3 \pm 0,1$  als korrekte Lösung werten lassen. Da die Thematik der Messunsicherheit erst im Lauf des ersten Semesters erörtert wird, wurde bei der Konzeption der Aufgaben überwiegend ganzzahlige Lösungen angestrebt und das Toleranzintervall relativ groß gewählt. Diese Praxis umgeht auch die Eingabe von Dezimalkommata, die je nach Ländereinstellungen auf den beteiligten Computersystemen (Endgerät der Studierenden, Moodle-Server, R-Installation) ganz unterschiedlich gehandhabt wird.

### 3. Umsetzung

Abb. 1 zeigt eine Beispiel-Aufgabe aus dem Selbsttest zum Thema Massenträgheitsmoment in der Darstellung als Moodle-Test. Die Lösungswerte sind durch entsprechende Kästen dargestellt. Die Parameterwerte (31,50 kg, 16 cm und 0,60 Nm) sind in der Aufgabenstellung durch Platzhalter in der Form eines Latex-Makros enthalten und auch der korrekte Antwortzahlenwert ist derartig angegeben.

Auf dem Oktoberfest kann man sich auf das sogenannte *Teufelsrad* setzen, das ist eine ebene Plattform, die um ihre Mittelachse in Drehung versetzt werden kann. Die Mitfahrer versuchen, bei möglichst hohen Drehzahlen auf der Plattform zu verbleiben.

a. Der Haftreibungskoeffizient  $\mu_{\text{HR}}$  zwischen dem Teufelsrad und dem Dirndl von Lena beträgt 0,19. Gehen Sie davon aus, dass sich das Teufelsrad konstant dreht: Bis zu welcher Drehzahl  $n$  kann Lena im Abstand von 141 cm von der Drehachse noch auf der Plattform bleiben? Geben Sie die Drehzahl in ganzen Umdrehungen pro Minute an!

b. Der Haftreibungskoeffizient zwischen Teufelsrad und der Lederhose von Maximilian beträgt 0,45. Er sitzt im Abstand von 141 cm von der Drehachse, während das Teufelsrad sich mit  $6 \text{ min}^{-1}$  dreht. Der Betreiber versucht, Maximilian ins Rutschen zu bringen, indem er das Rad auf Drehzahl 0 abbremst. Wie lange darf der Abstoppvorgang bei konstanter Drehbeschleunigung höchstens dauern, damit die Haftreibung Maximilian nicht mehr hält? Geben Sie die Dauer des Bremsvorgangs in ms an!

**Abb.1:** Beispielaufgabe aus einem Moodle-Quizz (Eingabe von zwei numerischen Werten)

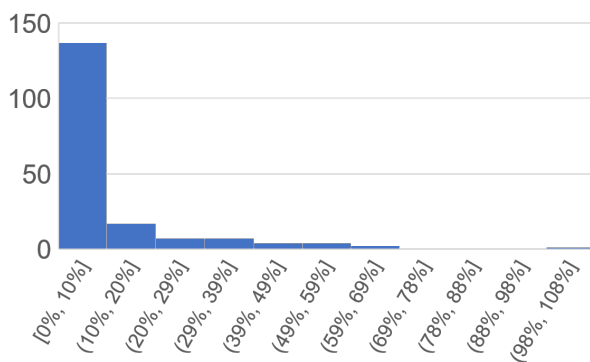
Der Zahlenbereich für die Parameterwerte wird durch eine entsprechende Anweisung in der R-Programmiersprache zugewiesen.

Zur Lösung soll eine gleichförmig beschleunigte Drehbewegung des Starren Körpers angenommen werden und die Dauer der Beschleunigung sowie der zurückgelegte Winkel berechnet werden. Derartige Aufgaben sind typisch für die Anforderungen der Klausur des ersten Semesters, bei der viele Studienanfänger Schwierigkeiten besitzen, die physikalischen Einheiten korrekt zu verwenden (was sich z.B. bei der Umrechnung von Umdrehungen pro Minute in  $2\pi/s$  manifestiert), die quadratische Abhängigkeit des Drehwinkels von der Zeit zu erkennen oder die das Massenträgheitsmoment der Scheibe korrekt zu berechnen.

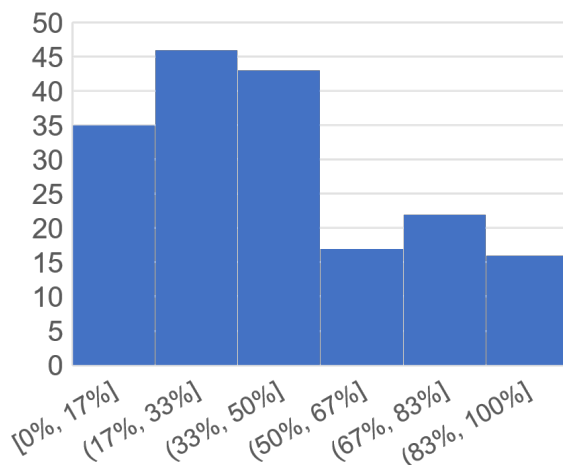
### 4. Resultate

Wie wird das Angebot der freiwilligen Selbsttests angenommen? Um dies zu beantworten, wurden die Nutzungsgrad an den 11 Selbsttests unter den 179 Teilnehmern ausgewertet: Der überwiegende Teil der Teilnehmer hat einen oder gar keinen der 10 Selbsttest aufgerufen (Abb. 2). Nur wenige Studierende haben nach dem ersten Versuch noch einen zweiten Selbsttest gestartet und noch weniger nutzen die Selbsttests im Laufe des Semesters regelmäßig. Diese Verteilung muss im Verhältnis der allgemeinen Zugriffsquoten auf den Moodle-Kursmaterialien (Abb. 3) gesehen werden, die die Zugriffe auf alle Vorlesungsfolien und die konventionellen Übungs-

blätter darstellt: Etwa zwei Drittel der Studierenden greifen auf die Hälfte oder weniger der bereitgestellten Materialien zu, ein Drittel nutzt mehr als die Hälfte aller elektronisch bereitgestellten Materialien. Die freiwilligen Selbsttests können aufgrund dieser Zugriffsstatistiken als relativ unbeliebte Lernhilfen eingestuft werden. Bei Betrachtung der Klausurergebnisse fällt auf, dass die regelmäßigen Nutzer der freiwilligen Selbsttests überdurchschnittliche Klausurleistungen erbringen, die Umkehrung gilt aber nicht. Alle Nutzer, die mehr als vier der Selbsttests freiwillig abgelegt haben, haben die Klausur bestanden. Dies waren aber nur 9% aller Klausurteilnehmer.



**Abb.2:** Verteilung Zugriffsquoten auf 11 Selbsttests. (Übungsblätter, Lösungen, Selbsttests)  $n=179$  Teilnehmer



**Abb.3:** Verteilung Zugriffsquoten auf sämtliche elektronischen Dateien (Übungsblätter, Lösungen, Selbsttests)  $n=179$  Teilnehmer

## 5. Ausblick

Mit Hilfe von R/exams und Moodle lassen sich mir relativ geringen Mehraufwand Übungsaufgaben mit randomisierten Parameterwerten für Quizze erstellen. Nur ein kleiner Bruchteil der Studierenden nutzt aber derartige Selbsttests zum freiwilligen Training. Um einen besseren Nutzungsgrad zu errei-

chen, müssen daher weitere Anreizsysteme eingesetzt werden. Letztendlich ist eine Akzeptanz freiwilliger Angebote hauptsächlich durch deren Qualität zu erreichen. Insbesondere muss der Nutzer anhand der angebotenen Lösungen erkennen können, dass und wie das Angebot eines formativen Assessments seinen Lernprozess anregt. Softwarepakete wie R/exams erleichtern hier den Dozenten die Erstellung attraktiver Übungsaufgaben und ermöglichen eine automatisierte Korrektur.

## 6. Literatur

- [1] Mindestanforderungskatalog Physik: [http://www.hochschuldidaktik.net/documents\\_public/Mindestanforderungskatalog\\_Physik\\_Version\\_02\\_-\\_20190211\\_Speicherreduziert.pdf](http://www.hochschuldidaktik.net/documents_public/Mindestanforderungskatalog_Physik_Version_02_-_20190211_Speicherreduziert.pdf) (Stand: 2/2019)
- [2] Mindestanforderungskatalog Mathematik: <https://cosh-mathe.de/download/makV2.0neu.pdf> (Version 2.0 Stand 10/2014)
- [3] Moodle Kursumgebungssoftware <https://moodle.org/>
- [4] R/exams Software zur Erzeugung von Online-Tests <http://www.r-exams.org/>
- [5] Textsatzsoftware Latex <https://www.latex-project.org/>
- [6] Mathematische Softwarebibliothek SymPy <http://www.sympy.org>

## Danksagung

Die Arbeiten wurden gefördert durch das vom BMBF geförderte Projekt „MINT-College“ Förderkennzeichen 01PL16016