



Digitale Elemente für den Physikunterricht im Lehramtsstudium

Holger Cartarius
AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie

Impuls 1

Im Anforderungsniveau differenzierte Experimente mit dem Smartphone



Kooperation Erziehungswissenschaft mit den Fachdidaktiken



ProfJL²

- Professionalisierung von Anfang an im Jenaer Modell der Lehrerbildung
- Qualitätsoffensive Lehrerbildung, 2. Förderphase

Inklusion systematisch implementieren (Isi)

- curricularen Bausteine (z. B. Vorlesungs- und Seminarsitzungen)
- Materialien (z. B. inklusives Schulprofil, Differenzierungsmatrix, Unterrichtsmaterial für Schüler/innen mit Sehbehinderung)
- textbasierten Fallvignetten in der Lehre
- **Physik:** Aufgreifen der Idee differenzierter Experimente mit dem Smartphone, Integration in physikdidaktische Ausbildung

Abbildungen

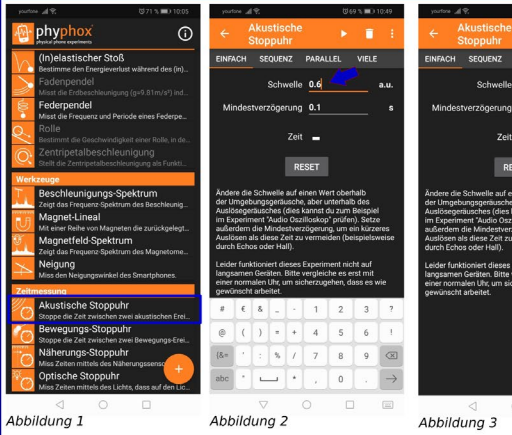


Abbildung 1

Abbildung 2

Abbildung 3

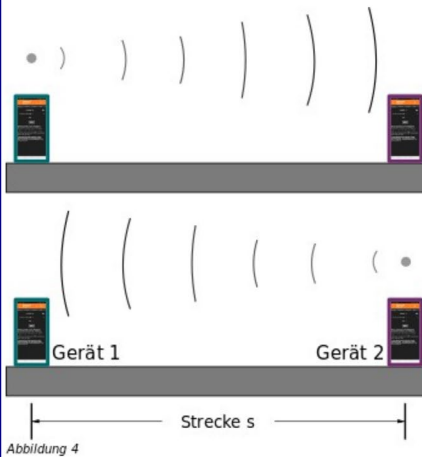


Abbildung 4

Differenzierten physikalische Versuchsanleitungen als Ziel einer Lehreinheit

Planung der digitalen Lerneinheit

- Entstehung: Kooperation mit pädagogischer Psychologie
- „Wie smart ist dein Phone? Experimente mit und über dein Mobilgerät“
- Experimente ausschließlich mit den verbauten Sensoren in Smartphones oder Tablets

Bereitstellung der geplanten Einheiten

- bearbeitbare PDFs
- eigene Website mit Erklärungen und Musterlösungen

Differenzierte Versuchsanleitungen

- Versuchsanleitungen individuell angepasst an Vorkenntnissen oder Fähigkeiten der Lernenden

Einordnung in das Curriculum: Seminar Fachdidaktik Physik I

FS	Module			Σ LP
1	Experimentalphysik I – Mechanik und Wärmelehre 8 LP	Physikalisches Grundpraktikum 8 LP	Mathematische Methoden der Physik I 4 LP	16
2	Experimentalphysik II – Elektrodynamik 6 LP		Mathematische Methoden der Physik II 4 LP	14
3	Optik 4 LP	Theoretische Mechanik 7 LP	Fachdidaktik Physik I 8 LP	15
4	Atom- und Molekülphysik 4 LP	Theoretische Elektrodynamik 7 LP		15

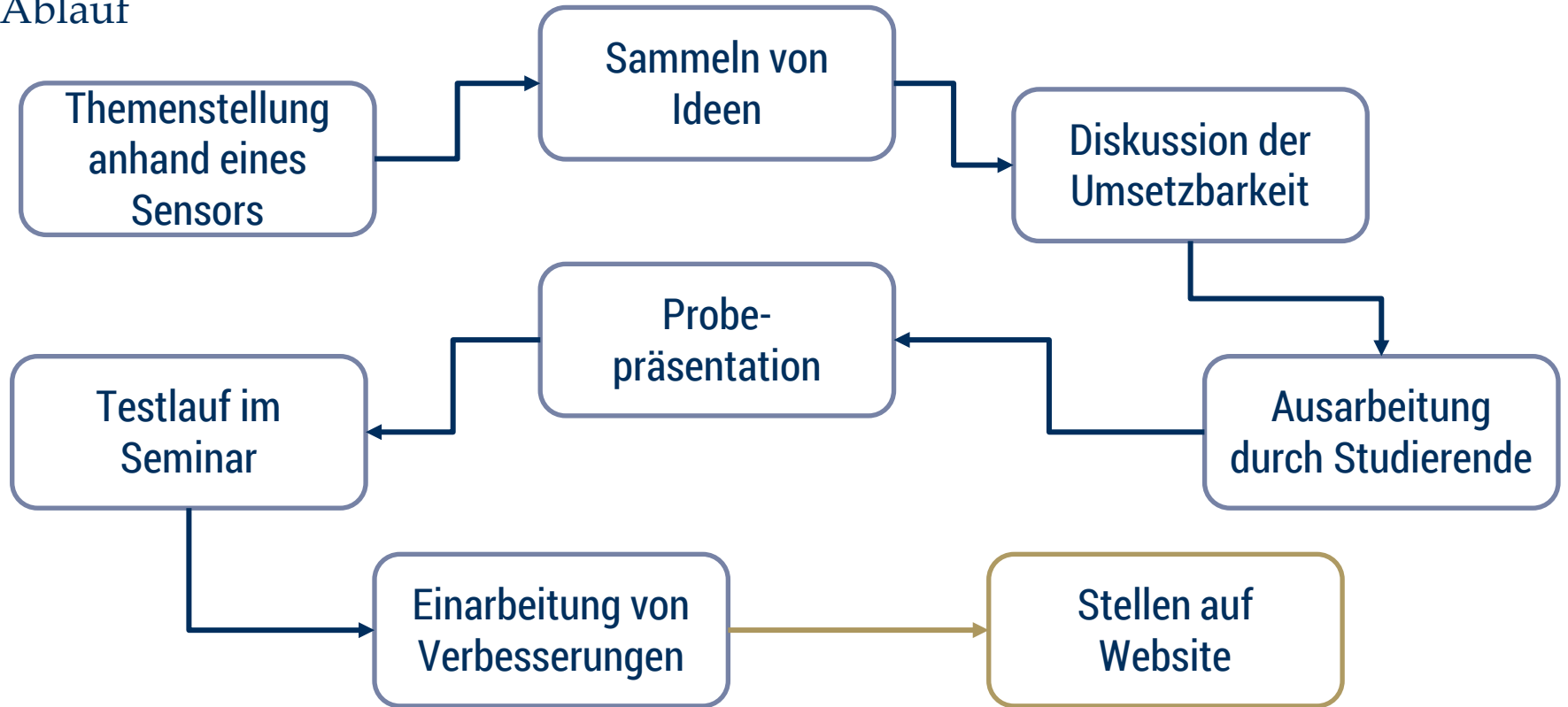
Integration in Studienplan:

- Pflicht-Lehrveranstaltung
- Seminar im Sommersemester: Digitales Lehren und Lernen in der Physik
- Studierende arbeiten neue Experimente aus
- Direkte Integration in Webangebot

Fernziel:

- Evaluation im Schülerlabor, iterative Verbesserung
- reichhaltiger Pool an Experimentierideen

Ablauf



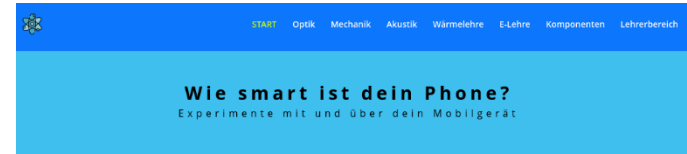
Digitale Messwerterfassung: App phyphox

- Entwickelt an der RWTH Aachen
- kostenlos und werbefrei!
- Fähigkeiten:
 - Rohdaten der Sensoren auslesen
 - vorgefertigte Experimente sortiert nach physikalischen Themengebieten
 - um eigene Experimente erweiterbar
 - Webpage mit vielen Experimentiervorschlägen
 - schultauglich programmiert
 - Export der gemessenen Daten
 - ...

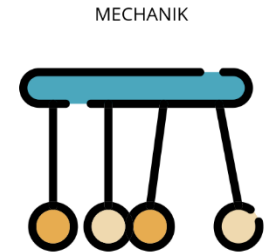


Zielsetzung

- Durchführung von (Schüler-)Experimenten mit dem Smartphone
- Differenzierung auch zu Hause durchführbar
- drei sich im Anforderungsniveau unterscheidende Arbeitsblätter
- Online-Verfügbarkeit der Arbeitsblätter, rein elektronische Abgabemöglichkeit



AKUSTIK



WÄRMELEHRE


Arbeitsblatt: komplett im PDF-Format

- Aufbau:
 - Anleitung
 - Aufgaben
 - Felder für Werte (speicherbar)
- Aufgabe kann komplett im PDF bearbeitet werden
- Gespeichertes PDF wird abgegeben.

L4a-Digitales Lernen

Entstehung der Farben – Teil 1

Informationen	Erläuterung Warum gibt es eigentlich Farben und wieso ist eine blauer Gegenstand blau? Hinter all diesen Fragen steht ein physikalisches Phänomen, das Licht. Um einen ersten Zusammenhang zwischen Licht und Farben herzustellen, starten wir mit einem kleinem Gedankenexperiment: Ihr sitzt in eurem Zimmer und schaut euch all die Gegenstände mit den jeweiligen Farben an, die oben in eurem Zimmer stehen. Jetzt stellt ihr euch vor, ihr macht ihr das Licht aus. Wieviel Farben seht ihr jetzt noch? Richtig, keine. Also können wir schon einmal festhalten, dass es ohne Licht keine Farben gibt. Machen wir das Licht nun wieder an sehen wir wieder alle Gegenstände und auch ihre Farben. Aber wo kommen diese Farben her? Dazu machen wir folgendes Experiment
	Aufgabenstellung Führe das Experiment durch und schreibe deine Beobachtung auf!

Das Experiment	Materialien <ul style="list-style-type: none">• 3 Taschenlampen• Klebeband• 3 Filzstifte (rot, gelb, blau)• ein Blatt Papier
	Durchführung <ol style="list-style-type: none">1) Bemalte ein Stück Papier beidseitig, sodass deine Taschenlampe komplett mit dem Farbfilzler bedeckt ist. (Farben: rot, gelb, und blau)2) Klebe nun die Farbfilzler mithilfe des Klebebands auf die jeweilige Taschenlampe.3) Dunkle den Raum ab.4) Kombiniere alle Farben der Lampen und trage deine Beobachtungen ein. 

FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT JENA

Seite 1

L4a-Digitales Lernen

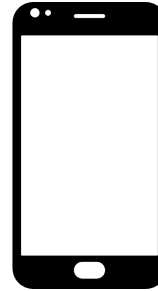
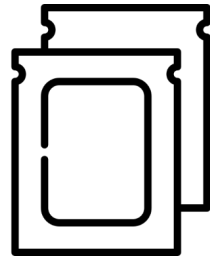
Anwertung	Beobachtungen
	Die Kombination von rotem und gelben Licht ergibt <input type="text"/> Licht.
	Die Kombination von rotem und blauem Licht ergibt <input type="text"/> Licht.
	Die Kombination von blauem und gelben Licht ergibt <input type="text"/> Licht.
	Die Kombination von rotem, blauem und gelben Licht ergibt <input type="text"/> Licht.

FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITÄT JENA

Seite 2

Beispiel: Experiment zum Fadenpendel

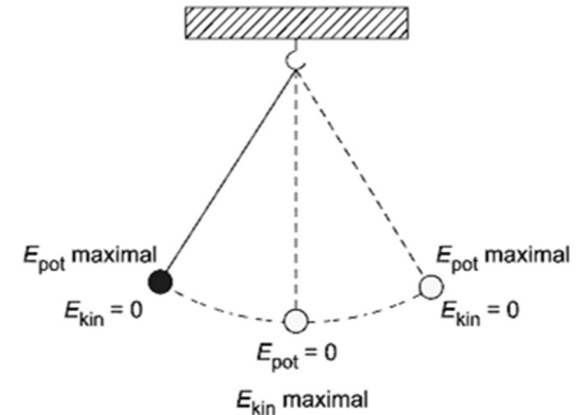
- Durchführung zu Hause geeignete Materialien, z. B.



- Technisch muss beachtet werden: Das Smartphone muss auch im Beutel von außen bedienbar sein.

Differenzierung: Möglichkeiten auf dem Arbeitsblatt

- Differenzierung nach Anforderungsbereichen (festgelegt über Operatoren), teilweise qualitative statt quantitative Aufgaben
- Einsatz der digitalen Messwerterfassung mit phyphox ist immer gleich!
- Beispiel:
 - Anforderungsbereich II: Anmerkungen zu potentieller und kinetischer Energie in nebenstehender Skizze betrachten, am Beispiel eines Schwingungsdurchlaufs erläutern
 - Anforderungsbereich III: Skizze mit Energiebetrachtung an der Gleichgewichtslage sowie beiden Umkehrpunkten anfertigen, Energieumwandlungen erläutern



Impuls 2

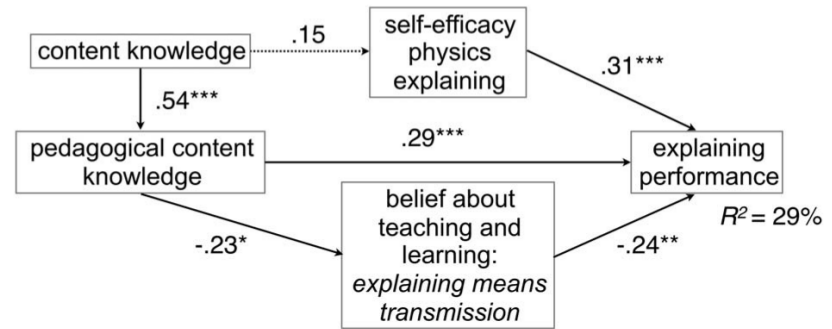
Aktivierende Lehrmethoden im Physik-Lehramtsstudium



Bedeutung von Fachwissen (CK) und fachdidaktischem Wissen (PCK)

Kulgemeyer, Riese: From professional knowledge to professional performance: The impact of CK and PCK on teaching quality in explaining situations

“Both CK and PCK were important in improving the quality of explaining. PCK, however, mediated the path of CK to explaining performance, and therefore, played the key role in transferring CK to explaining performance. We could not find a direct path from CK to explaining performance.”



[Kulgemeyer, C., Riese, J., J. Res. Sci. Teach. 55, 1393 (2018)]

Beispiel: Fachdidaktische Ergänzung zur Quantenphysik

Pospiech, Schöne: Teacher education in quantum physics – a proposal for improving pedagogical content knowledge

“We might deduce from these findings that the approach of offering a seminar with focus on physics education aspects supplementing the lectures on quantum theory and stressing the connection of content and pedagogical content knowledge, enhances the students’ content knowledge including quantum cryptography. Extended discussions of superposition, uncertainty and measuring process enables them to develop a deeper understanding of the concepts of quantum physics and to reduce misconceptions.”

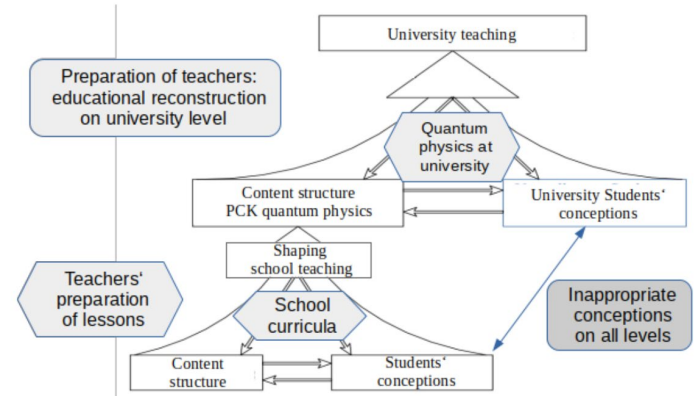
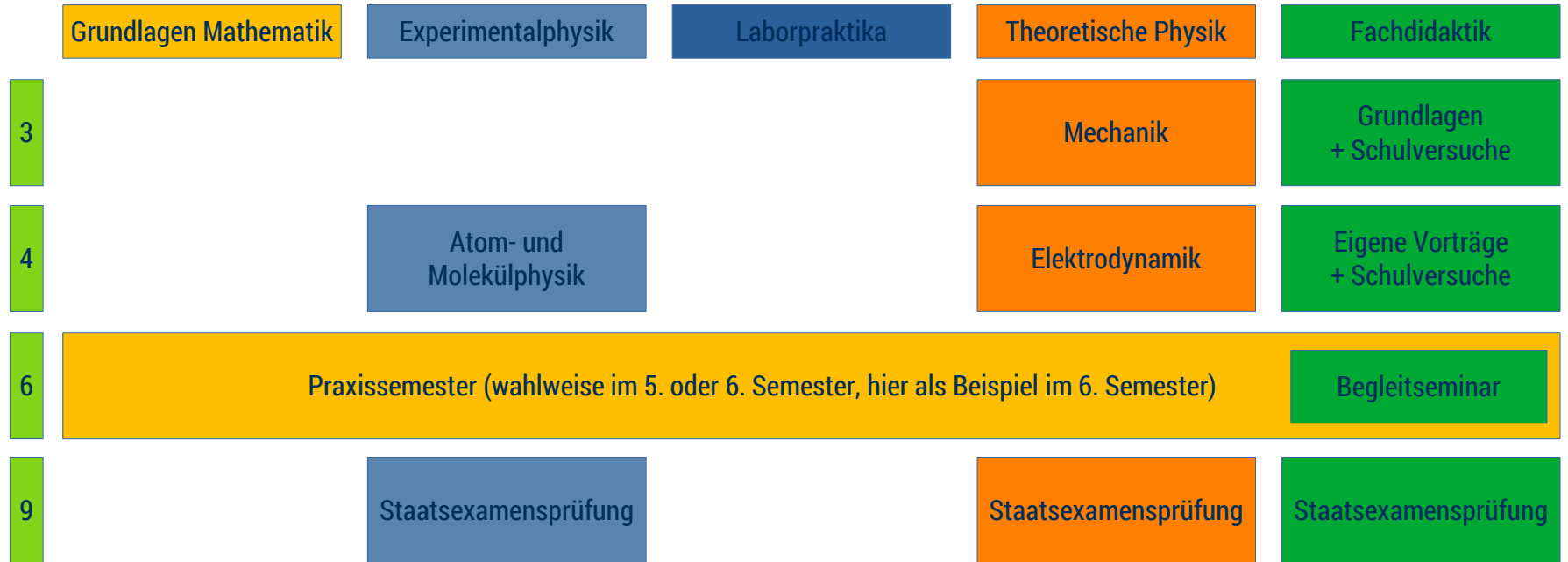


Figure 1. The model of educational reconstruction adapted for teacher education at university according to van Dijk and Kattmann, specified for teacher education in quantum physics

[Pospiech G., Schöne, M., In: ESERA'19 – Conference Proceedings, 1452 (2020)]

Wo bringt man so etwas in einem Studium unter?

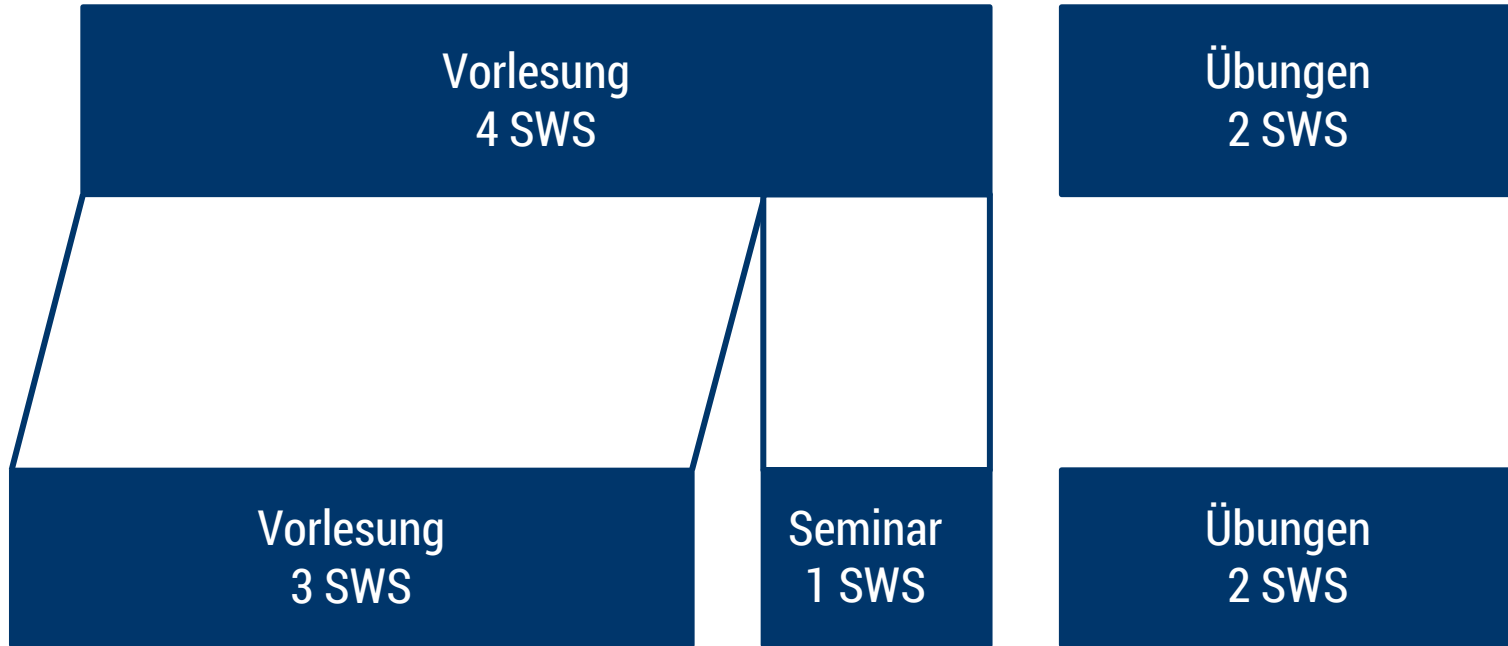


Ansatz

- Integration in Kurs der Theoretischen Physik
- Konsequente Begleitung mit einem lehramtsspezifischen professionsorientierten Seminar
- Ziele:
 - Verknüpfung von CK und PCK
 - Professionswissen im Studium stärker betonen
 - Tieferes Verständnis erreichen

3	Theoretische Mechanik
4	Theoretische Elektrodynamik
5	Theoretische Quantenphysik
8	Theoretische Thermodynamik

Reform des Lehramtsstudiums in Theoretischer Physik



Warum digital?

- **Voraussetzungen:**
 - häufiger Wechsel der Lehrenden
 - Lehrende nicht unbedingt aus Physikdidaktik
- **Konsequenz:**
 - detaillierte Ausarbeitung des Materials
 - hoher Anteil an digitalen Selbstlerneinheiten
 - Moodle als digitale Lehrplattform
- **Aufbau:**
 - Skripte, Videos
 - Aufgaben, Quizze
 - hinterlegte Materialien wie Foliensätze
 - ...

Begleitkurs Elektrodynamik

Kurs Einstellungen Teilnehmer/innen Bewertungen Berichte Mehr ▾

▼ Allgemein Alles einklappen

 Ankündigungen

 Diskussion/Fragen Als erledigt kennzeichnen

Hier können Fragen zu Inhalten der Vorlesung oder des Seminars diskutiert werden.

 Glossar Anzeigen

Einträge hinzufügen: 1

-  Nicht verfügbar, es sei denn:
- Die Aktivität **Aufgaben zur Elektrostatik (1)** ist als abgeschlossen markiert
 - Die Aktivität **Aufgaben zur Elektrostatik (2)** ist als abgeschlossen markiert

 Zugangsbeschränkungen Als erledigt kennzeichnen

Nur für Lehrpersonen!

Ziele des Seminars

- Allgemeines Verständnis für die Theoretische Physik und ihren Nutzen für die Schule fördern.
Provokativ: Die Schulphysik behandelt die einfachen Spezialfälle der Uniphysik!
- Lern- und Lehrtechniken an Inhalten der Vorlesung demonstrieren.
- Das Sprechen und Diskutieren über Physik trainieren.
- Die Studierenden kognitiv aktivieren





Foto: Jan-Peter Kasper



Professionswissen

Fachwissen (CK)

- Klassische Mechanik
- Elektrodynamik
- Quantenmechanik
- Thermodynamik

Fachdidaktisches Wissen (PCK)

- Didaktische Reduktion
- Schülervorstellungen
- Versprachlichung/
Verbildlichung von Formeln

• Worked Examples

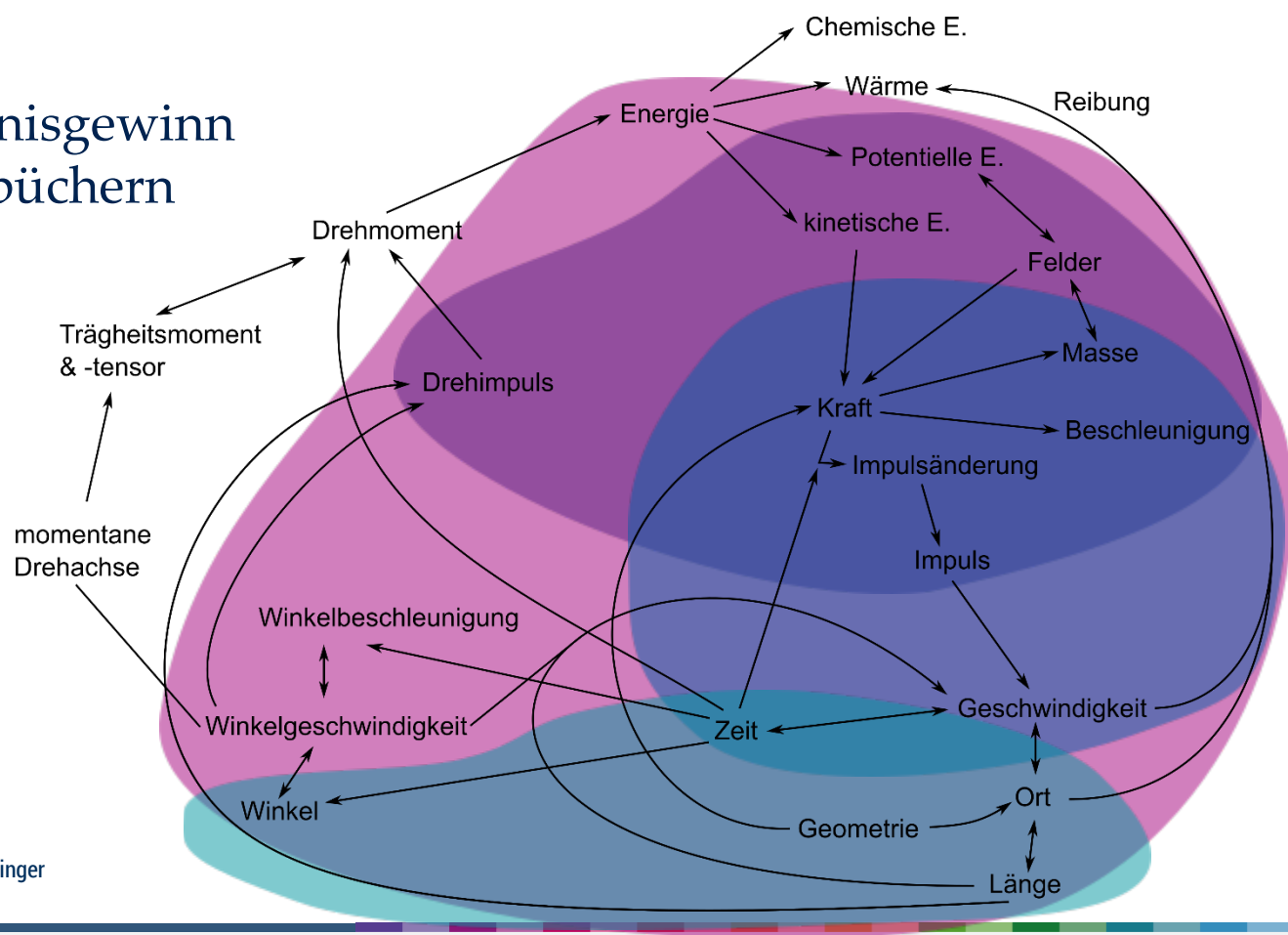
• Peer Instruction

• Nature of Science

Historischer Erkenntnisgewinn vs. Aufbau von Lehrbüchern

Kapitel im Skript

1. Koordinatensysteme
2. Newtonmechanik
3. Bilanzgleichungen
4. Himmelsmechanik

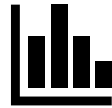


[Kircher & Priemer, Nature of Science in Physikdidaktik, Springer Spektrum (2020)]

Peer Instruction



Verständnisfrage
mit Multiple-Choice
Antworten



1. Abstimmung



Peer Diskussion



2. Abstimmung



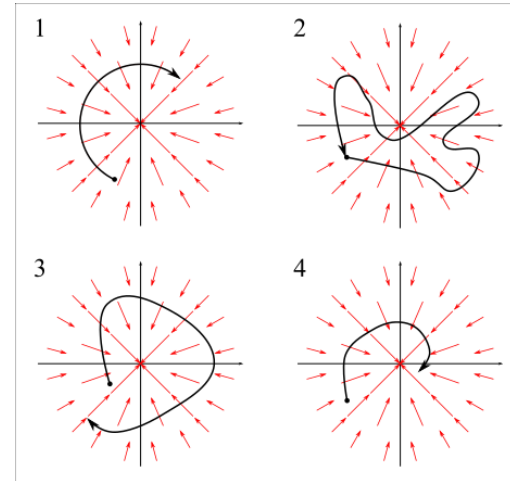
Klärung von
Fragen, falls
vorhanden.

[Mazur, E., Peer Instruction, Springer Spektrum (2018)]

Peer Instruction für ConceptTests

Die Fragen sollten

- auf ein einziges Konzept fokussieren,
- nicht durch Anwendung von Formeln zu lösen sein,
- attraktive Multiple-Choice Distraktoren anbieten,
- eindeutig formuliert sein,
- nicht zu leicht oder zu schwer sein.



Eine Masse wird in einem Gravitationsfeld (rot) um folgende Wege (schwarz) verschoben. Bei welchem der Wege muss Arbeit von außen geleistet werden?

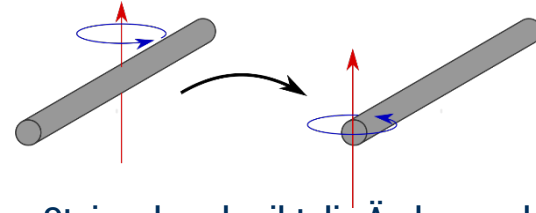
ConceptTests für Formelverständnis

Die Fragen sollten

- nicht durch Anwendung von Formeln zu lösen sein,
- das Wechselspiel zwischen Mathematik und Physik veranschaulichen/trainieren,

Die Drehachse vom dünnen Stab mit dem Trägheitstensor

$\frac{m}{12} l^2 \begin{pmatrix} 0 & & \\ & 1 & \\ & & 1 \end{pmatrix}$ wird nun auf ein Ende verschoben.



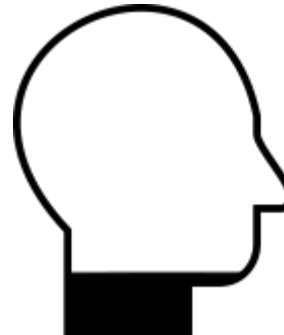
Der Satz von Steiner beschreibt die Änderung des Trägheitsmoments $\theta = \theta_S + Ml_S^2$. Wie sieht der neue Trägheitstensor aus?

A $\begin{pmatrix} 0 & & \\ & \frac{m}{3} l^2 & \\ & & \frac{m}{3} l^2 \end{pmatrix}$	C $\begin{pmatrix} m(\frac{l}{2})^2 & & \\ & \frac{m}{12} l^2 & \\ & & \frac{m}{12} l^2 \end{pmatrix}$
B $\begin{pmatrix} ml^2 & & \\ & \frac{m}{12} l^2 & \\ & & \frac{m}{12} l^2 \end{pmatrix}$	D $\begin{pmatrix} -m(\frac{l}{2})^2 & & \\ & \frac{m}{12} l^2 - m(\frac{l}{2})^2 & \\ & & \frac{m}{12} l^2 - m(\frac{l}{2})^2 \end{pmatrix}$

Worked Examples – Lernen mit Lösungsbeispielen

- Cognitive Load Theory
- Reduziert „extraneous load“, wenn richtig designt
- Besonders geeignet für Studierende ohne Mathematik als 2. Fach
- Selbsterklärungen können gefördert werden

Zur Übersicht:
 [Sweller, Cognitive_Load_Theory, Springer (2011)]
 [Sweller et al., Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later, Educational Psychology Review (2019)]
 [Renkl, A., Learning & Instruction 12, (2002)]

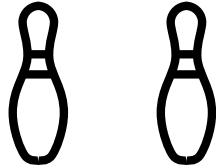


<p>Set up the holonomic constraints and calculate the degrees of freedom S</p> $z_1 = 0, \quad z_2 = 0$ $y_1 = 0, \quad (x_1 - x_2)^2 + y_2^2 = l^2$ $S = 6 - 4 = 2$	<p>The masses don't move in the z_1, z_2 and y_1 coordinate. The x_2, y_2 components of mass 2 depend on x_1 and the rod's length l. The dependency is defined by the Pythagorean theorem.</p> <p>Two free particles have six degrees of freedom (2 times the 3 spatial dimensions). Since there are four constraints the total number of degrees of freedom reduces down to two.</p>
<p>Define generalized coordinates q_i accordant to the holonomic constraints.</p> <p>A wise choice for the generalized coordinates is:</p> <ol style="list-style-type: none"> The x position of mass 1 The angle of deflection $q_1 = x_1 = x, \quad q_2 = \varphi$ $x_1 = x, \quad x_2 = x_1 + l \sin \varphi$ $y_1 = 0, \quad y_2 = -l \cos \varphi$ $z_1 = 0, \quad z_2 = 0$ $\dot{x}_1 = \dot{x}, \quad \dot{x}_2 = \dot{x} + l \dot{\varphi} \cos \varphi$ $\dot{y}_1 = 0, \quad \dot{y}_2 = -l \dot{\varphi} \sin \varphi$ $\dot{z}_1 = 0, \quad \dot{z}_2 = 0$	<p>The coordinates are chosen in a way, that the point mass m_1 lays in the center at the equilibrium point. The transformation between Cartesian and the generalized coordinates is helpful setting up the Lagrangian function.</p> <p>The derivative of time delivers the needed velocity. The time variation of all variables and the chain rule required.</p>
<p>Set up the kinetic T and potential V energy.</p> $T = \frac{m_1}{2} \dot{x}^2 + \frac{m_2}{2} (\dot{x}^2 + l^2 \dot{\varphi}^2 + 2l \dot{x} \dot{\varphi} \cos \varphi)$ $V_1 = \frac{k}{2} (-x)^2 + \frac{k}{2} (x)^2 = k(x)^2$ $V_2 = -m_2 g l \cos \varphi$	<p>The overall kinetic energy is the sum of all velocity components. y_1, z_1 and z_2 contribute nothing, since there is no motion in these directions.</p> <p>The potential energy of the first point mass is the energy stored in the two springs. The second mass swings in a homogeneous gravitational field.</p>
<p>Set up the Lagrangian function.</p> $L = T - V$ $= \frac{m_1 + m_2}{2} \dot{x}^2 + \frac{m_2 l^2}{2} \dot{\varphi}^2 + m_2 l (\dot{x} \dot{\varphi} \cos \varphi + g)$	<p>The Lagrangian function is the overall kinetic energy minus the potential energy.</p>

Wichtige Prinzipien der Cognitive Load Theory für die Theoretische Physik



Worked Example Effect



Split-attention Effect



Self-explanation Effect



Error Finding & Fixing



Completion Problem Effect



Expertise reversal Effect



Guidance Fading Effect

Zusammenfassung

- Digitale Elemente für den Physikunterricht lassen sich effektiv in das Physik-Lehramtsstudium integrieren
- Ausnutzen der Möglichkeiten zur Differenzierung ist einfach möglich und kann zeitlich entlasten.
- Digitale Methoden können nicht nur im Studium eingesetzt werden, sondern dabei gleichzeitig selbst gelehrt werden.

