

Graphische und interaktive Aufgaben für Kenntnistests Physik

Karen Brösamle*, Achim Eichhorn⁺, Hanno Käb⁺, Günther Kurz⁺

*Philipp-Matthäus-Hahn-Schule Nürtingen, ⁺Hochschule Esslingen
broe@pmhs.de

Kurzfassung

Physik wird von Lernenden oft auf das Anwenden von Formeln reduziert, ohne ein tieferes Verständnis für Zusammenhänge zu entwickeln. Lernende scheitern daher häufig an unbekanntem oder komplexen Problemstellungen. Es wurden Tests zum generellen physikalischen Vorgehen („Methoden“) sowie zu spezifischen Inhalten („Elektrische Felder“) konzipiert, die methodische Fertigkeiten, Fachwissen und dessen Verständnis, sowie Problemlösekompetenz systematisch erfassen. Dabei stand die Entwicklung interaktiver und graphischer Aufgaben im Fokus. Die optisch ansprechenden Aufgaben wurden mit dem Moodle-Plugin Stack mit JSX-Graph umgesetzt.

Auf Grundlage hinterlegter Kompetenzraster wird ein gezieltes Feedback gegeben. Die Analyse der Lösungen hinsichtlich dieser Kompetenzen ermöglicht ein individuelles Feedback, das explizit Stärken bzw. Defizite rückmeldet. Die Tests erfüllen somit eine mehrfache Funktion: (1) Erfassung des Leistungsniveaus, (2) individuelles Feedback als Handlungsvorschlag, (3) detaillierte Rückmeldung an die Lehrperson, (4) Lernaufgabe durch integrierte Hilfestellungen.

1. Ausgangslage und Ziel

Physik vermittelt die wesentlichen Grundlagen und Kompetenzen für das Verständnis und die Beurteilung technischer Vorgänge. Daher sind die physikalischen Denk- und Arbeitsweisen nicht nur im Fach Physik relevant. Die Beantwortung physikalischer Fragestellungen erfordert die Vernetzung physikalischen Fachwissens, angemessener Fachsprache sowie mathematischer Darstellungen und Methoden. Zum Lösen komplexer Problemstellungen müssen Kenntnisse in klaren Strukturen vorliegen und zu Prinzipien und Konzepten geordnet sein. Da sich der Kenntnisstand bei Studienbeginn in den letzten Jahren zwischen einzelnen Teilgebieten des Fachs Mathematik verschoben hat, beziehungsweise in der Physik in allen Teilgebieten abgenommen hat [1], können auch Studierende physikalische Fragestellungen selten anhand übergeordneter Prinzipien oder Konzepte gelöst werden [2].

Die Situation an Hochschulen wird durch die Vielfalt der schulischen Zugangswege verschärft, sowohl im Hinblick auf den Kenntnisstand als auch auf die Heterogenität der Studienanfänger:innen [3]. Frühzeitige Diagnose und gezielte Förderung, beginnend in der Schule, kann und muss dem entgegenwirken, indem sich interessierte Schüler:innen aller Schularten gezielt auf ein entsprechendes Studium vorbereiten oder Studienanfänger:innen fehlendes Wissen und Kenntnisse nacharbeiten. Dieser Aufgabe hat sich die Arbeitsgruppe *cosh* – Cooperation Schule-Hochschule gewidmet, in der Beteiligte aus Schulen und Hochschulen in den Bereichen Diagnose und Intervention auf individueller und institutioneller Ebene kooperieren und Maßnahmen entwerfen. Im Rahmen der individuellen Diagnose wurden in der Physik

Aufgaben für Selbst- und Kenntnistests entwickelt. Die Aufgaben orientieren sich an dem von der Arbeitsgruppe *cosh*-Physik, unter Beachtung der kompetenzorientierten Bildungspläne Physik des Landes Baden-Württemberg (z.B. [4]), entwickelten Mindestanforderungskatalog Physik [5].

Ziel der Testentwicklung war es, Aufgaben zu konzipieren, die das Leistungsniveau der Schüler:innen systematisch erfassen. Der Fokus lag dabei auf der Erstellung interaktiver, digitaler Aufgaben und der Entwicklung eines adäquaten Feedbacks um Lernenden ihr Können individuell zurück zu melden und eventuelle Lücken anhand fehlender Kompetenzen aufzuzeigen.

2. Erste Untersuchungen und Folgerungen für die Testentwicklung

Ein erstes Bild der Kenntnisse und Fertigkeiten von Schüler:innen beruflicher Gymnasien ergab ein „Eingangstest“ und ein Test „mechanische Schwingungen“. Diese Tests wurden in der Eingangsstufe und der Jahrgangsstufe 2 eines Technischen Gymnasiums in Papierform durchgeführt und ausgewertet. Die Schüler:innen erreichen die Beruflichen Gymnasien in Baden-Württemberg mit einem mittleren Bildungsabschluss, den sie über einen Realschulabschluss, ein Versetzungszeugnis in Klasse 10 (G8) eines Allgemeinbildendes Gymnasiums oder adäquate Abschlüsse (Gemeinschaftsschulen, Berufsfachschulen) nachweisen.

In einem ersten Teil des Eingangstests wurde der Umgang mit physikalischen Größen, Formelzeichen bzw. Einheiten, Gleichungen und Schaubildern, in einem zweiten der Umgang mit Fachwissen und Konzepten (Energie, elektrische Stromkreise,

Bewegungen) erfragt. Die Auswertung ergab erhebliche Lücken in allen Bereichen, vor allem aber im Bereich des Fachwissens. Fehlendes Fachwissen oder Fehlvorstellungen, mangelndes fachsprachliches Niveau und mathematische Kenntnislücken führten häufig auch zu Widersprüchen in den Aussagen. Es zeigte sich zusätzlich eine Heterogenität in den Ergebnissen, die vielfach auf die Art der besuchten Schulen in der Sekundarstufe 1 zurückzuführen war.

Der für die Jahrgangsstufe 2 erstellte Test „mechanische Schwingungen“ wurde zu einem Zeitpunkt durchgeführt, an dem der Unterricht zu diesem Thema zwei Monate zurücklag.

Die Auswertungen ergaben, dass vielfach Fachwissen (z. B. zur Kreisfrequenz) fehlte. Zudem fielen vorwiegend Fehlvorstellungen im Bereich Funktionen und fehlende Fähigkeiten oder Fertigkeiten beim Übertragen mathematischer Darstellungen auf physikalische Sachverhalte auf.

Zusammenfassend bestätigen sich die TIMSS-Studien [6], denen zufolge große Lücken in grundlegender Kenntnis und Mängel im Verständnis von Fachwissen bestehen, bzw. fehlendes mathematisches Methodenkönnen in der Physik zu Verständnisproblemen führt [7].

Diese grundlegenden Schwierigkeiten ergeben die Problematik, adäquate und dem heterogenen Niveau der Schüler:innen angepasste Testaufgaben zu erstellen. Die große Diskrepanz zwischen der Norm- und Kriterienorientierung wirft die Frage auf, welche Inhalte zu welchen Zeitpunkten getestet werden können.

3. Modell und Aufgabenkonstruktion

Da das Lösen einer Aufgabe in der Physik meist mit mathematischen Darstellungen und Methoden verknüpft ist, stellen diese die Grundlage dar. Das Anforderungsprofil einer Aufgabe setzt sich zudem aus der Kenntnis und dem Verständnis von Fachwissen, der Anwendung des Fachwissens in unterschiedlichen Problemstellungen und der Problemlösekompetenz bei komplexeren Aufgaben zusammen. Über ein Modell, das die zugrundeliegenden Kompetenzen (Fachwissen und Methodenkönnen) erfasst, kann das Anforderungsprofil einer Aufgabe eingeordnet werden.

Eine Aufgabe wird daher unter Beachtung der Dimensionen Methodenkönnen, Fachwissen und Niveaustufe konzipiert. Die Kenntnisse und Fertigkeiten sind in Kompetenzrastern definiert. Das Anforderungsprofil einer Aufgabe ergibt sich aus der Anzahl einzelner Fakten oder Methoden, die zum Lösen notwendig sind. Zusätzlich wird die Niveaustufe bzw. die Taxonomie beachtet (s. Abb. 1). Die Erfassung der Kompetenzen in Kompetenzrastern ermöglicht ein individuelles Feedback, das Schüler:innen als Handlungsvorschlag dienen kann, um individuell an Defiziten zu arbeiten.

Folgende Schritte wurden im Rahmen der Aufgabenerstellung durchlaufen:

- Systematisierung des Methodenkönnens und des Fachwissens in Kompetenzrastern.
- Erfassung der Komplexität einer Aufgabe über die Anzahl der erforderlichen Kompetenzen.
- Erfassung der Taxonomie oder Niveaustufe einer Aufgabe, die das erforderliche Handeln erfasst.

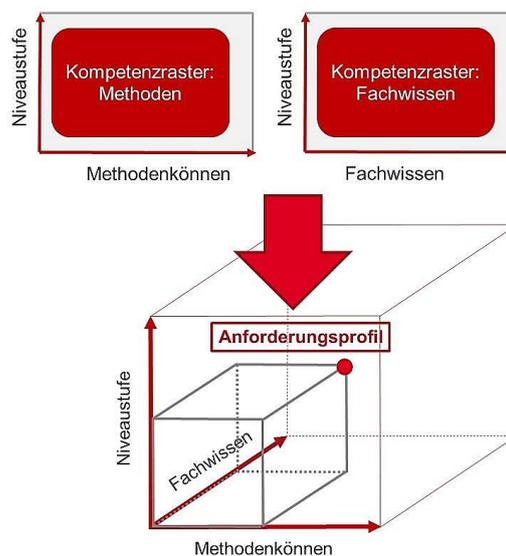


Abb. 1: Das Anforderungsprofil einer Aufgabe

Zur Erprobung des Modells wurde ein Test „Dynamik“ konzipiert und der Jahrgangsstufe 1 eines Technischen Gymnasiums durchgeführt. Die Aufgaben wurden anhand der Anzahl der Fakten und Fähigkeiten aus dem Bereich Methodenkönnen und Fachwissen in drei Schwierigkeitsstufen eingeteilt. Die Ergebnisse bestätigen das Modell qualitativ (s. Abb. 2).

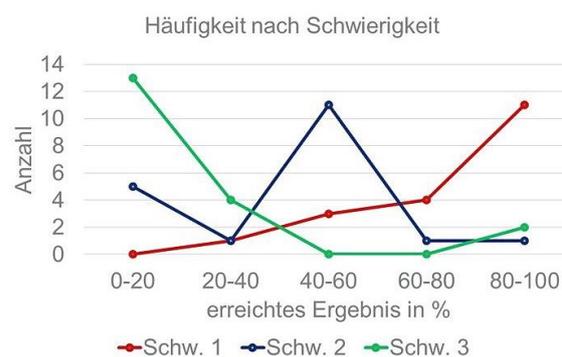


Abb. 2: Lösungsanzahl nach Schwierigkeit

4. Konzeption der Tests

Im Bereich „Methodenkönnen“ (Test „Methoden“) sind in vier Subtests formale Aufgaben zum Umgang mit Formzeichen, Einheiten und physikalische Größen, Umgang mit Formeln, Gleichungen und Schaubildern, enthalten. Diese Aufgaben können gelöst werden, ohne spezifisches Fachwissen anzuwenden. Das Anforderungsprofil dieser Aufgaben ergibt sich

dabei aus der Anzahl der notwendigen Rechenoperationen. Zu dem Themenfeld elektrische Felder (Test „elektrische Felder“) wurden Aufgaben unterschiedlichen Anforderungsprofils konzipiert und in drei Subtests unterteilt. Der Test „Kenntnis und Verständnis“ erfragt das zugrunde liegende Fachwissen auf unterschiedlichen Niveaustufen. Der Subtest „Anwendungen“ besteht aus Aufgaben, die eine Vernetzung von Methodenkönnen und Fachwissen erfordern. Der Subtest „Transfer“ enthält eine komplexe Aufgabe, bei der zusätzliches Fachwissen und Konzepte aus anderen thematischen Bereichen vernetzt werden müssen.

Formale Rechenaufgaben werden von Schüler:innen meist über eine Rückwärtssuche oder anhand bekannter standardisierter Beispiele gelöst, ohne auf physikalische Konzepte oder Sachverhalte zurück zu greifen. Diese Aufgaben sind zur Einübung wichtig, haben aber wenig Potential physikalisches Verständnis oder physikalische Kompetenz zu erfassen. Neben Standardaufgaben wurden daher vielfach qualitative und halbquantitative, meist interaktiv graphische Aufgaben entworfen, die vor allem das Verständnis physikalischer Zusammenhänge überprüfen.

Die komplexe Transferaufgabe wurde in physikalisch sinnvolle Teilaufgaben untergliedert, die eine mögliche Lösungsstrategie aufzeigt. Zusätzlich werden auf Grundlage der Kompetenzraster Hilfestellungen angeboten, die mittels Skizzen und Grafiken die Schüler:innen zur Auseinandersetzung mit den physikalischen Fragestellungen anregen sollen. Die Annahme der Hilfestellungen wird im Feedback aufgegriffen und in der Bepunktung berücksichtigt.

Die Aufgaben erfüllen dem entsprechend folgende Anforderungen:

- Erfassung des Leistungsniveaus unter Beachtung unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade oder Anforderungsprofile der Aufgaben.
- Individuelles Feedback als Handlungsvorschlag. Dabei wird auf Kompetenzraster zurückgegriffen,

in denen die Fähigkeiten und Fertigkeiten zusammengestellt sind.

- Detaillierte Rückmeldung an die Lehrperson.
- Lernaufgabe mit integrierten, gestuften Hilfestellungen, die eine tiefere Auseinandersetzung ermöglicht.

5. Beispielaufgaben

5.1. Der Methodentest

Der Methodentest enthält klassische und interaktive Aufgaben zur Einheitenrechnung, zum Umgang mit Formeln, Gleichungen und von Schaubildern.

In der Abb. 3 sind zwei Teilaufgaben zum Umgang mit Einheiten dargestellt. Die Aufgaben unterscheiden sich dadurch, dass in der zweiten Teilaufgabe bei gleicher Aufgabenstellung zusätzlich eine Termumformung notwendig ist. Dies führt zu einem höheren Anforderungsprofil.

Die elektrische Leistung P kann berechnet werden mit $P = U \cdot I$

Die Einheit der elektrischen Leistung ergibt sich nach der Formel zu

$[P] = V \cdot A$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:

$V \cdot A$

Für die Gewichtskraft F_G gilt die Formel $F_G = m \cdot g$.

Die Einheit von g ergibt sich nach der Formel zu

$[g] = N/kg$

Ihre letzte Antwort wurde folgendermaßen interpretiert:

$\frac{N}{kg}$

Abb. 3: Beispielaufgabe Methoden: „Umgang mit Größen, Formelzeichen und Einheiten“

Die Elektrostatik befasst sich mit elektrischen Ladungen und elektrisch geladenen Körpern. In den folgenden Aufgaben werden Grundkenntnisse zu diesem Themenfeld abgefragt.

Überprüfen Sie, ob die Aussagen zu elektrischen Ladungen und elektrisch geladenen Körpern wahr oder falsch sind und wählen Sie im Drop-Down-Menü.

Ein elektrisch positiv geladener Körper hat einen Mangel an negativen Ladungsträgern.

In elektrischen Leitern sind elektrische Ladungsträger unbeweglich.

✓ (Nicht beantwortet)
wahr
falsch
weiss nicht

Abb. 4: Test elektrische Felder: Ausschnitt einer Aufgabe (zwei von acht Aussagen) aus dem Bereich Kenntnis vom Fachwissen

5.2. Kenntnis und Verständnis (elektrische Felder)

Im Test Kenntnis und Verständnis sind Aufgaben mit unterschiedlichem Anforderungsprofil enthalten, die das Fachwissen prüfen. Dabei wird auf die Anwendung von mathematischen Methoden weitgehend verzichtet, sodass die Aufgaben keine expliziten Rechnungen enthalten. Es wird zwischen reinen Kenntnisaufgaben und Aufgaben zum Verständnis unterschieden. Eine typische Aufgabe aus dem Bereich Kenntnis ist in Abb. 4 gezeigt: Aussagen zu unterschiedlichen Teilbereichen, in der Beispielaufgabe zu Eigenschaften elektrischer Ladungen, müssen als wahr oder falsch bewertet werden. Die Aufgaben, die Verständnis abfragen, zeichnen sich dadurch aus, dass Wissen über Zusammenhänge, auch mit anderen Themengebieten qualitativ angewandt oder vernetzt werden muss. Eine Beispielaufgabe ist in Abb. 5 dargestellt: Zwei Kugeln werden an Fäden aufgehängt und mit unterschiedlichen Ladungen aufgeladen. Um diese Aufgabe zu lösen, müssen die Schüler:innen nicht nur Wissen über elektrische Ladungen einbringen, sondern diese mit zusätzlichen Konzepten (z.B. Wechselwirkungen) vernetzen.

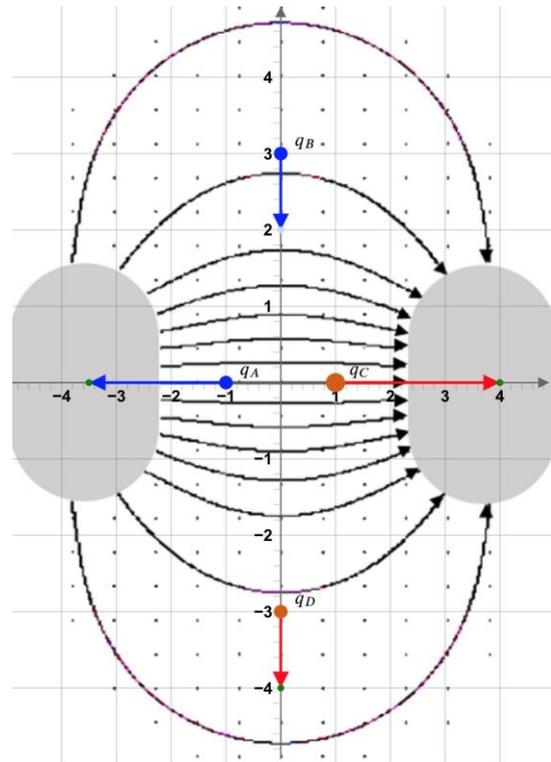


Abb. 6: Interaktive Aufgabe zur Anwendung elektrischer Felder

1)	2)	3)	4)	5)	6)
Versuche:		Stellung der Kugel:		Winkel:	
a) In einem ersten Experiment wird Kugel 1 negativ, Kugel 2 positiv, aber mit der gleichen Ladungsmenge $q_1 = -q_2$ geladen.		1) <input type="text"/>		α	β
b) In einem zweiten Experiment werden beide Kugeln positiv aufgeladen. Dabei ist die Ladungsmenge q_2 doppelt so groß wie q_1 .		2) <input type="text"/>		α	β
c) In einem dritten Experiment werden die Kugeln wie in dem zweiten Experiment geladen ($q_2 = 2 \cdot q_1$), jedoch wird die Kugel 1 durch eine Kugel der halben Masse ersetzt ($m_1 = \frac{1}{2} m_2$).		(Nicht beantwortet) <input type="text"/>		α	β

Abb. 5: Test elektrische Felder: Aufgabe zum Verständnis von Fachwissen.

6. Anwendungen (elektrische Felder)

In der Abb. 6 ist eine interaktive, graphische Aufgabe aus dem Bereich „Anwendung elektrische Felder“ gezeigt. Anhand eines Feldlinienbildes sollen elektrische Kräfte halbquantitativ mit Hilfe von Vektoren dargestellt werden. Dabei werden Richtungen der

Kräfte, Beträge der Ladungen und die elektrische Feldstärke berücksichtigt.

Zusätzlich zu reinem Fachwissen muss daher Methodenkönnen (Vektoren) angewandt werden. Das Anforderungsprofil dieser Aufgabe ergibt sich somit aus Fachwissen und Methodenkönnen.

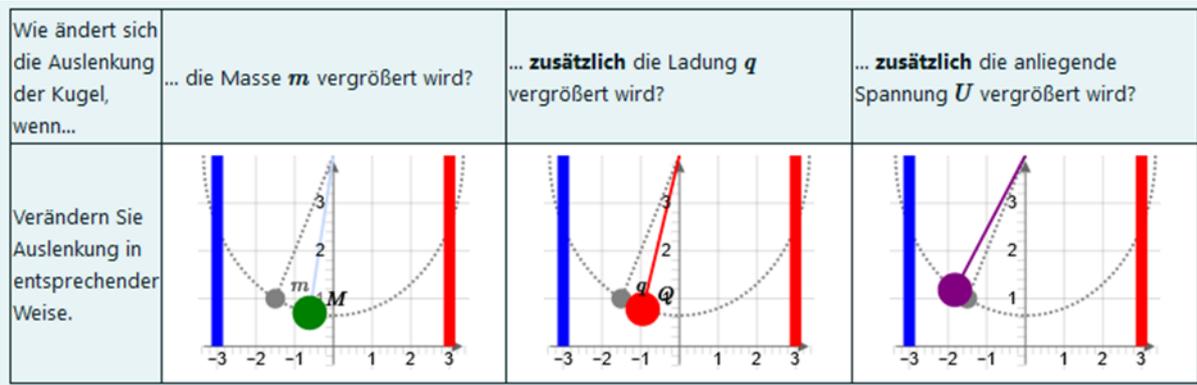
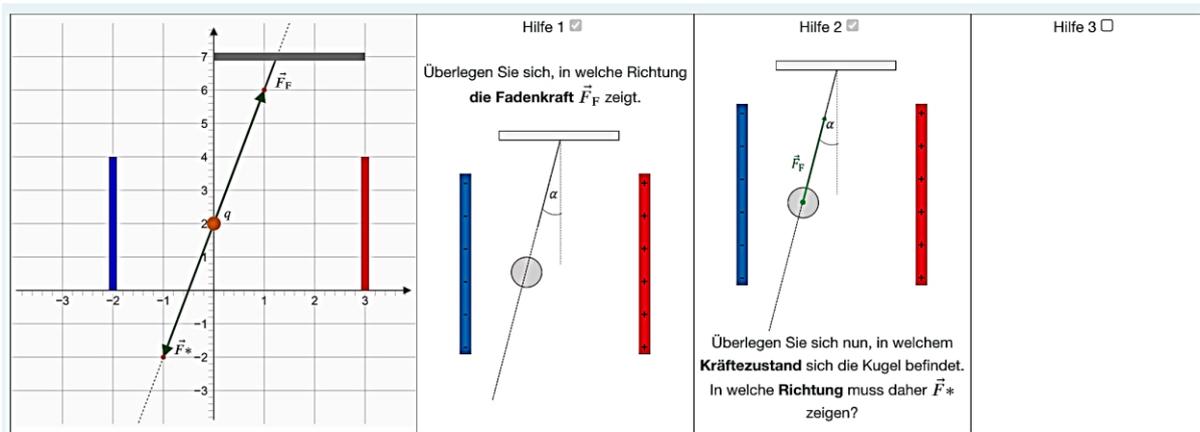


Abb. 7: Erste interaktive Teilaufgabe „Transferaufgabe“: qualitative Untersuchung des Problems anhand der Veränderung der Auslenkung der Kugel im Kondensator. Die Auslenkungen können interaktiv verändert werden.



Sie haben Hilfestellungen gewählt. Um ihre Kenntnisse zu vertiefen, wiederholen Sie diese Grundlagen:

K1:	Ich kann Richtungen physikalischer Kräfte bestimmen.
K2:	Ich kann eine Problemstellung mit Hilfe des Kräftegleichgewichtes beschreiben.

Sie können ein Kräftegleichgewicht anwenden. Sofern Sie eine größere Sicherheit gewinnen wollen, wiederholen Sie die Kompetenz K1 und K2.

Abb. 8: Hilfestellungen zum Kräftegleichgewicht und individuelles Feedback. Die angenommenen Hilfestellungen werden in das Feedback aufgenommen.

6.1. Transferaufgabe (elektrische Felder)

In der Transferaufgabe besteht die Problemstellung aus einer geladenen Kugel, die an einem Faden zwischen geladenen Kondensatorplatte hängt. Ziel ist es, die anliegende Spannung zu berechnen. Diese Aufgabe zeichnet sich dadurch aus, dass neben dem Fachwissen zu elektrischen Feldern das Kräftegleichgewicht quantitativ angewandt werden muss. Zudem müssen Zusammenhänge in mehrstufigen Rechnungen, unter Beachtung geometrischer Betrachtungen und Äquivalenzumformungen sicher angewandt werden können. Aufgrund der Komplexität wurde die Aufgabe in Teilaufgaben unterteilt, die eine Lösungsstrategie aufzeigt.

In der Abb. 7 und 8 sind interaktive Teilaufgaben gezeigt.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die konzipierten Aufgaben und Tests umfassen Methodenkönnen, das den Umgang mit den verschiedenen mathematischen Darstellungsformen abfragt und Aufgaben zu dem Themenfeld elektrische Felder. Die Aufgaben können anhand eines Modells unterschiedlichen Anforderungsprofilen zugeordnet werden. Dabei ergibt sich das Anforderungsprofil einer Aufgabe aus dem benötigten Methodenkönnen, dem Fachwissen und der Niveaustufe. Die Aufgaben können aufgrund des detaillierten Feedbacks und den angebotenen Hilfestellungen in unterschiedlichen Arrangements verwendet werden. Eine Überprüfung und Ermittlung des Wissens und Könnens, eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem erworbenen Fachwissen und alternativ auch ein Einsatz als Lernaufgaben sind möglich. Eine Vernetzung des Feedbacks mit Lernmaterialien stellt eine Möglichkeit dar, Lernende gezielt individuell zu fördern.

Eine statistische Auswertung und eine Optimierung des Feedbacks, auch im Hinblick auf adaptives Testen, wird von cosh-Physik angestrebt.

Die Konzeption der Aufgaben setzt eine genaue Analyse der Kompetenzen, die in Rastern definiert sind, voraus. Eine Einordnung der Aufgaben anhand des Anforderungsprofils kann als Vorlage dienen, weitere Aufgaben und Tests zu anderen Themengebieten zu entwerfen oder vorhandene einzuordnen. Zudem ist eine Erweiterung des Methodentests auf Oberstufenniveau (z.B. Vektoren) denkbar.

Da das physikalische und methodische Vorwissen der Schüler:innen, aber auch angehender Student:innen unterschiedlicher Schularten und -formen sehr heterogen ist, muss eine Auswahl aus dem Aufgabenpool unter Beachtung und Abwägung der Norm- und Kriterienorientierung getroffen werden, die der Vorbildung der Lernenden gerecht wird, sodass eine hohe Akzeptanz der Tests unter Lehrenden und Lernenden erreicht wird. cosh-Physik wird dabei durch die enge Verzahnung von Professor:innen und Lehrer:innen unterschiedlicher Institutionen und Schularten in der Lage sein, belastbare Ergebnisse zu erarbeiten.

Die bisher erstellten Aufgaben und Tests stehen auf dem externen Moodle der HfT Stuttgart unter [8] zur Verfügung.

8. Literatur

- [1] Buschhüter, D.; L Spoden, C; Borowski, A. (2017): Physics knowledge of first semester physics students in Germany: a comparison of 1978 and 2013 cohorts. In International Journal of Science Education, Volume 39, 2017 - Issue 9, Pages 1109-1132
- [2] von Aufschnaiter, C. (2008): Vortrag: Wie viel Mathematik braucht und verträgt das Schulfach Physik? Didaktik der Physik, JLU Gießen <https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb07/fachgebiete/physik/institute/didaktik/doku/FolienMat-DidKoll/view> (Stand 12.2022)
- [3] Kurz, G.; Käß, H. (2019): Physikkenntnisse von Studienanfängern des Maschinenbaus –eine Fallstudie an der Hochschule Esslingen. In Phy-Did B, Didaktik Der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2019, Seiten 189-195, <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/928> (Stand 05.2023)
- [4] Homepage ZSL Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung Baden-Württemberg: https://www.bildungsplaene-bw.de/Ph_OS (Stand 05.2023)
- [5] Käß, H. et al., Mindestanforderungskatalog Physik, virtuelle DPG-Frühjahrstagung 2022, 21.03.-25.03.2022, Heidelberg, (Vortrag DD 5.2)
- [6] Schecker, H.; Klieme, E. (2001): Mehr denken, weniger Rechnen: Konsequenzen aus der internationalen Vergleichsstudie TIMMS für den Physikunterricht, Physikalische Blätter 57, Nr. 7/8, Seiten 113-117, <https://online-library.wiley.com/doi/10.1002/phbl.20010570730> (Stand 05.23)
- [7] Uhden, O. (2016): Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik, In Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (2016) 22, Seiten 13–24, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40573-015-0038-4> (Stand 05.23)
- [8] Externes Moodle der HfT Stuttgart: <https://moodle2.hft-stuttgart.de/?redirect=0>, (Stand 05.2023)

Danksagung

Die Entwicklung der Tests wurde in den Jahren 2019-2022 vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg innerhalb des FESt-BW-Projektes gefördert.

Das Ministerium für Kultus und Sport Baden-Württemberg unterstützte die Entwicklung der Tests durch die Bereitstellung weiterer Ressourcen.

Wir möchten der Arbeitsgruppe cosh-Physik für die Unterstützung, die zahlreichen und anregenden Diskussionen danken. Insbesondere Florian Schifferer (Fachberater Physik RP Stuttgart, Gewerbliche Schule Göppingen), Ina Rieck (Fachberaterin Physik RP Stuttgart, Grafenbergschule Schorndorf) und Kim Fujan (Gewerbliche Schule Ehingen), die uns bei den Formulierungen der Aufgabenstellungen in zahlreichen Gesprächen mit Rat und Tat zur Seite standen.

Dem Physik-Kollegium der Friedrich-Ebert-Schule in Esslingen danken wir für die bereitwillige Unterstützung bei der Durchführung des „Eingangstests“ und des Tests „mechanische Schwingungen“.