Lernmaterialien für die Studieneingangsphase Physik

Kai Cardinal*, Julia-Marie Franken, Andreas Borowski***, Philipp Schmiemann**, Heike Theyßen***

*Universität Duisburg-Essen, Didaktik der Physik, ** Universität Duisburg-Essen, Biology Education Research and Learning Lab, ***Universität Potsdam, Didaktik der Physik
kai.cardinal@uni-due.de

Kurzfassung

In der Studieneingangsphase Biologie und Physik spielt das fachspezifische Wissen zu Studienbeginn eine zentrale Rolle für den Studienerfolg. Dabei werden in Biologie und Physik durch das Konzeptverständnis und in Physik zusätzlich durch die Fähigkeit zur Wissensanwendung, d. h. zur erfolgreichen Bearbeitung fachspezifischer Problemlöseaufgaben, der Studienerfolg vorhergesagt. Im Verbundprojekt EASTER (Einfluss der Förderung spezifischer Wissensarten auf den Studienerfolg in Biologie und Physik) sollen diese Fähigkeiten gezielt durch fachspezifische Lernmaterialien gefördert werden. Zur Förderung von Wissensanwendung werden daher Lösungsbeispiele eingesetzt. Im Beitrag wird die Konzeption dieser „EASTER-Lösungsbeispiele“ vorgestellt. Sie orientieren sich strukturell an dem Modell des wissenszentrierten Problemlösens, setzen empirische Erkenntnisse zur wirksamen Gestaltung von Lösungsbeispielen um und beziehen sich inhaltlich auf Themen des ersten Fachsemesters, insbesondere die Newton‘sche Mechanik.

1. Hintergrund

1.1. Studienerfolg und Vorwissen

In der Fächergruppe Naturwissenschaften und Mathematik ist eine überdurchschnittlich hohe Studienabbruchquote von ca. 50 % zu verzeichnen (Heublein et al., 2022). Hier sticht die Physik mit einer Abbruchquote von ca. 60 % negativ heraus (Heublein et al., 2022). Gleichzeitig besteht ein hoher Bedarf an Fachkräften aus dem MINT-Bereich (Vollmer, 2015). Es erscheint ratsam, Maßnahmen zur Minderung von Studienabbruch bzw. Förderung von Studienerfolg zu entwickeln. Als ein wichtiger Prädiktor für Studienerfolg hat sich in mehreren Studien das fachspezifische Vorwissen erwiesen (Binder et al., 2019; Buschhüter et al., 2017; Hell, et al., 2007; Sorge et al., 2016; Woitkowski, 2019). Zur differenzierten Betrachtung des fachspezifischen (Vor-)Wissens unterscheiden Hailikari, Nevgi und Lindblom-Ylänne (2007) vier Wissensarten:

- Faktenwissen (knowledge of facts)
- Konzeptverständnis (knowledge of meaning)
- Wissensvernetzung (integration of knowledge)
- Wissensanwendung (application of knowledge).

Dabei kann Wissensanwendung näher durch die Fähigkeit zur erfolgreichen Bearbeitung fachlicher Problemlöseaufgaben charakterisiert werden. Dies entspricht im Wesentlichen dem wissenszentrierten fachbezogenen Problemlösen (Friege, 2001). Die von Friege beschriebenen Schritte des Problemlöseprozesses umfassen nach der Problemrepräsentation die Auswahl oder Erarbeitung eines Problemschemas sowie die Ausarbeitung und Evaluation der Lösung (Friege, 2001).

Es konnte gezeigt werden, dass mit dem Studienerfolg im ersten Fachsemester in Biologie insbesondere das Konzeptverständnis zu Studienbeginn korreliert (Binder et al., 2019). In Physik kommt zu dem Konzeptverständnis die zu Studienbeginn verfügbare Wissensanwendung als signifikanter Prädiktor hinzu (Binder et al., 2019). Dabei wurde in der Studie von Binder et al. (2019) das Anwendungswissen über die Fähigkeit erhoben, zu gegebenen fachspezifischen Problemlöseaufgaben einen geeigneten Lösungsansatz zu benennen. Dies entspricht im Modell von Friege der Auswahl eines Problemschemas. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die mathematischen Fähigkeiten und Fertigkeiten, die im Problemlöseprozess der Ausarbeitung der Lösung (Friege, 2001) und somit ebenfalls der Wissensanwendung zuzuordnen sind, in einem starken Zusammenhang mit dem Studienerfolg im ersten Fachsemester Physik stehen (Buschhüter et al., 2017).

1.2. Projekt EASTER: Ziele & Forschungsfragen

Das Forschungsprojekt EASTER (Einfluss der Förderung spezifischer Wissensarten auf den Studienerfolg in Biologie und Physik) baut auf den vorliegenden Ergebnissen zu fachspezifisch prädiktiven Wissensarten für Studienerfolg in der Studieneingangsphase auf. Das übergeordnete Ziel besteht darin, die oben genannten bisher rein korrelativ nachgewiesenen Zusammenhänge im Rahmen einer Interventionsstudie auf Kausalität zu prüfen. Dazu werden zunächst Lernmaterialien zur fachspezifischen Förderung der Wissensarten Konzeptverständnis bzw. Wissensanwendung für das erste Fachsemester sowohl in Biologie als auch in Physik entwickelt.

Diese sollen im Rahmen einer Interventionsstudie im Wintersemester 2023/24 im Hinblick auf ihre Lernwirksamkeit sowohl hinsichtlich der adressierten Wissensart als auch in Bezug auf den Studienerfolg am Ende des ersten Fachsemesters untersucht werden (Theyßen et al., in Druck). Neben einem Erkenntnisgewinn bezüglich fachspezifischer Ursachen von Studienerfolg wird damit auch ein praktischer Ertrag in Form theoriebasiert entwickelter und empirisch überprüfter Lernmaterialien für den Einsatz in der Studieneingangsphase angestrebt.

Zur Förderung der Wissensart Konzeptverständnis werden Lernmaterialien entwickelt, die auf Begriffsnetzen (concept maps) basieren („EASTER-Begriffsnetze“). Begriffsnetze allgemein sind strukturelle Repräsentationen von deklarativem Wissen (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996). Sie visualisieren, wie Konzepte Inhalte organisieren (Mandl & Fischer, 2000) und repräsentieren konzeptuelles Wissen in präziser Form (Martinez et al., 2013). Sie bieten sich somit an, um Lernende beim Wissenserwerb und beim Aufbau von Konzepten zu unterstützen (Novak, 1990; Novak, 2010). Der vorliegende Beitrag geht nicht näher auf die Konzeption der EASTER-Begriffsnetze ein, sondern legt den Fokus auf die Lernmaterialien zur Förderung der Wissensart Wissensanwendung. Hierfür wird die Methode des Lernens aus Lösungsbeispielen (worked examples) eingesetzt. Die Konzeption der „EASTER-Lösungsbeispiele“ wird im Folgenden am Beispiel der Physik genauer vorgestellt und begründet. Die Umsetzung in der Biologie ist soweit möglich analog, wobei hier das mathematische Arbeiten aus curricularen Gründen praktisch keine Rolle spielt.

2. Lösungsbeispiele zur Förderung von Wissensanwendung

2.1. Grundlagen

Bei Lösungsbeispielen handelt es sich um (Problemlöse-)Aufgaben mit ausgearbeitetem und kommentiertem Lösungsweg (z.B. Koenen et al., 2016; Renkl & Schworm, 2002). Ihr Einsatz wird insbesondere für stark strukturierte Domänen wie Mathematik oder Naturwissenschaften empfohlen (z. B. Atkinson et al, 2000; Renkl & Atkinson, 2003). Da sie sowohl die Auswahl eines Lösungsansatzes, als auch die Ausarbeitung der Lösung (inkl. Rechenfähigkeiten) fördern (Atkinson et al., 2000; Paas & van Merriënboer, 1994; Renkl & Atkinson, 2003), sind sie daher zur Förderung von Wissensanwendung besonders gut geeignet.

In zahlreichen Studien zum Erwerb von Problemlösefähigkeit wurde die Wirksamkeit der Bearbeitung von Lösungsbeispielen zu Problemlöseaufgaben gezeigt (z. B. Kalyuga, et al., 2001; Paas & van Merriënboer, 1994; Sweller & Cooper, 1985). Auch für die Studieneingangsphase konnte z. B. Kujath (2016) in der Informatik die Wirksamkeit einer Förderung fachspezifischer Problemlösefähigkeit durch ein videogestütztes Lösungsbeispiel zeigen. Vom Lernen mit Lösungsbeispielen können insbesondere Novizen:innen profitieren, da der Lösungsweg bereits ausgearbeitet präsentiert wird (z. B. Kalyuga et al., 2001; Kalyuga et al., 2003).

Zur Konstruktion von lernwirksamen Lösungsbeispielen liegen zahlreiche, empirisch fundierte Empfehlungen vor (z. B. Atkinson et al., 2000; Renkl & Schworm, 2002 und Renkl, 2014):

Innerhalb eines Lösungsbeispiels (intra-example features) ist es (lern)förderlich, wenn...

a) … Text- und Bildelemente sinnvoll miteinander verknüpft sind (Text-Bild Integration),
b) … Sinnabschnitte und Teilziele markiert werden,
c) ... einzelne Handlungsschritte zusammengefasst werden,
d) ... zentrale Begriffe (farblich) hervorgehoben werden,
e) ... Selbsterklärungen durch Prompts eingefordert werden.

Über die Lösungsbeispiele hinweg (inter-example features) sollten zu einem Problemtyp mehrere Lösungsbeispiele mit unterschiedlichen Oberflächenmerkmalen präsentiert werden. Umgekehrt sollten Lösungsbeispiele mit gleichen Oberflächenmerkmalen zu unterschiedlichen Problemtypen konstruiert werden, um die Abstraktion des Lösungsansatzes von den Oberflächenmerkmalen zu fördern. Um das eigenständige Problemlösen zu fördern, ist es zudem empfehlenswert, die Unterstützung innerhalb der Lösungsbeispiele im zeitlichen Verlauf schrittweise zu reduzieren (fading; vgl. Lindet al., 2004; Renkl & Atkinson, 2003; Renkl et al., 2000; Salden et al., 2009).

2.2. Konzeption

Die im Projekt entwickelten EASTER-Lösungsbeispiele wurden auf Basis der oben skizzierten theoretischen und empirischen Grundlagen konzipiert. Im Folgenden werden zuerst die physikalischen Inhalte der EASTER-Lösungsbeispiele vorgestellt. Aufbauend darauf werden Aspekte der intra-example features zur Struktur, Gestaltung und dem Einsatz von Prompts sowie die Abfolge der einzelnen EASTER-Lösungsbeispiele (inter-example features) näher erläutert.

2.2.1. Physikalische Inhalte

Die EASTER-Lösungsbeispiele wurden für die Studieneingangsphase Physik entwickelt (vgl. 1.2) und beziehen sich daher primär auf Inhalte der Experimentalphysik im ersten Fachsemester (Konferenz der Fachbereiche Physik, 2005; Universität Duisburg-Essen, 2014). Sie behandeln physikalische Problemlöseaufgaben zur Newton‘schen Mechanik, insb. zu den Inhalten Bewegung, Impuls, Kraft und Energie. Als Lösungsansätze für die Aufgaben, ergeben sich somit die Anwendung der allgemeinen Bewegungsgleichung, die Aufstellung eines Kraftansatzes oder die Nutzung von Energieerhaltung bzw. Impulserhaltung in einem physikalischen System, wobei auch mehrere Ansätze zur Lösung einer Aufgabe kombiniert werden können. Bei der Ausarbeitung liegt der Fokus auf einem von drei Basiskonzepten für den Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe (KMK, 2020): Superposition und Komponenten, Erhaltung und Gleichgewicht, Mathematisieren und Vorhersagen. Das vierte Basiskonzept Zufall und Determiniertheit wird aufgrund geringer Passung zum Stoff des ersten Semesters nicht berücksichtigt.

Formal lassen sich dem Basiskonzept Superposition und Komponenten die Lösungsansätze zur allgemeinen Bewegungsgleichung und zum Kraftansatz zuordnen und dem Basiskonzept Erhaltung und Gleichgewicht die Lösungsansätze Energieerhaltung und Impulserhaltung (vgl. Abb. 1).

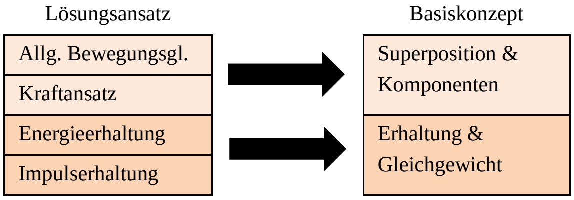

Abb.1: Zuordnung der Lösungsansätze zu den Basiskonzepten

Das dritte Basiskonzept Mathematisieren und Vorhersagen wird nicht durch einen Lösungsansatz gefördert, sondern durch den Einsatz mathematischer Operationen im späteren Verlauf der Bearbeitung der Aufgabe (vgl. Abb. 2).

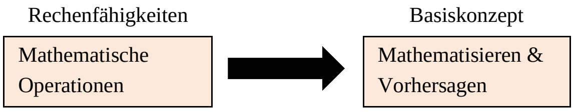

Abb.2: Förderung des dritten Basiskonzeptes durch Anwendung von mathematischen Operationen

2.2.2. **Struktur der EASTER-Lösungsbeispiele**

Die Umsetzung der gestalterischen Empfehlungen (vgl. 2.1) und der physikalischen Inhalte (vgl. 2.2.1) wird hier an einem EASTER-Lösungsbeispiel mit einer Aufgabe zur Newtonschen Mechanik veranschaulicht. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für einen Aufgabenstamm, auf das sich die folgenden illustrierenden Beispiele des EASTER-Lösungsbeispiels beziehen.

Aufgabe Basketball

Eine Basketballspielerin möchte einen Basketball von der Mitte eines Basketballfeldes in den 12,42 m entfernten Korb werfen. Der Korb hängt in einer Höhe von 3,05 m. Sie wirft den Ball aus einer Höhe von 1,82 m unter einem Winkel von 48° zum Boden. Berechnen Sie, mit welcher Geschwindigkeit die Spielerin den Ball abwerfen muss, damit dieser im Korb landet.

Abb. 3: Aufgabenstamm zum EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“

Das ausgearbeitete Lösungsbeispiel ist gemäß des Problemlöseprozesses nach Frieges Modell des wissenszentrierten Problemlösens (2001) strukturiert und enthält vier übergeordnete Problemlöseschritte (vgl. 1.2): (1) Problempräsentation, (2) Erarbeitung oder Auswahl eines Lösungsansatzes, (3) Ausarbeitung einer Lösung und (4) Evaluation der Lösung. Diese sind in den EASTER-Lösungsbeispielen in Teilschritte in Anlehnung an den physikalischen Modellierungskreislauf nach Trump (2015) unterteilt. Alle Problemlöseschritte und Teilschritte sind in den EASTER-Lösungsbeispielen durch Überschriften kenntlich gemacht.

Bei der Problempräsentation (1) wird die Aufgabenstellung paraphrasiert. Gegebenenfalls werden physikalische Vereinfachungen diskutiert zu denen die Aufgabe keine Informationen enthält, beispielweise die (Vernachlässigung der) Ausdehnung von Körpern oder die Vernachlässigung von Reibungskräften. Zudem wird eine Skizze zur Visualisierung der gegebenen Situation angefertigt. In den EASTER-Lösungsbeispielen wird dieser Problemlöseschritt mit der Überschrift Verstehen und Visualisieren bezeichnet und zerfällt in die Teilschritte Aufgabe wiedergeben und fokussieren sowie Skizze erstellen.

Die Erarbeitung bzw. Auswahl eines Problemschemas (2) wird in den EASTER-Lösungsbeispielen als Lösungsansatz finden tituliert und gliedert sich in die Teilschritte Überlegungen zum Ansatz und Mathematisieren. Hier wird ein Lösungsansatz begründet dargelegt. Je nach Aufgabe werden verschiedene Lösungsansätze diskutiert, bevor die Auswahl eines passenden Lösungsansatzes getroffen wird. Dieser wird zuerst in einer allgemeinen Form aufgestellt und dann für die Situation in der Aufgabe spezifiziert. Falls möglich, werden hierbei Strategien formuliert, die auf ähnliche Aufgaben übertragen werden können. So ist z. B. bei den Aufgaben zur allgemeinen Bewegungsgleichung (vgl. Abb. 3) die Wahl eines Koordinatensystems für den Aufwand bei der weiteren Bearbeitung ausschlaggebend, aber nicht für das Ergebnis. Dies wird im EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“ thematisiert und den Studierenden wird eine mögliche Vorgehensweise für die Wahl eines geeigneten Koordinatensystems in drei Schritten vorgeschlagen (siehe Anhang A): (a) Die Achsen des Koordinatensystems sollen in der Ebene der Bewegung liegen, (b) eine Achse möglichst parallel zu einer ggf. wirkenden Kraft und (c) der Koordinatenursprung in einen in der Aufgabenstellung gegebenen Punkt, z. B. den Start- oder Endpunkt einer Bewegung. Das Ergebnis dieses Schrittes ist ein auf die Aufgabenstellung und das gewählte Koordinatensystem angepasster Lösungsansatz. Im EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“ sind dies z. B. zwei Gleichungen für die Bewegung in Richtung der gewählten x- und y-Achse, in denen die in der Aufgabe angegebenen Randbedingungen berücksichtigt sind.

Die Ausarbeitung der Lösung (3) wird in den EASTER-Lösungsbeispielen genauso bezeichnet, wie im Modell von Friege (2001) und besteht aus den Teilschritten Mathematisch arbeiten, Werte einsetzen, und das Ergebnis physikalisch interpretieren. Im ersten Teilschritt werden unter anderem Formeln/Gleichungen mithilfe mathematischer Operationen umgestellt oder ineinander eingesetzt, um schließlich nach der gesuchten physikalischen Größe aufzulösen. Im nächsten Teilschritt werden die gegebenen Werte eingesetzt und das Ergebnis ausgerechnet. Das Ergebnis wird im dritten Teilschritt schließlich wieder in den Kontext der Aufgabensituation gesetzt, indem ein Antwortsatz formuliert wird. Falls die mathematische Lösung mehrere Ergebnisse liefert, wird in diesem Teilschritt auch überprüft, inwiefern diese im Kontext der Aufgabe physikalisch sinnvoll sind.

Der letzte Problemlöseschritt (4) wird wie im Modell von Friege (2001) als Evaluation der Lösung bezeichnet und zerfällt nicht in Teilschritte. Hier werden abhängig von der konkreten Aufgabe unterschiedliche Möglichkeiten thematisiert, die Richtigkeit der Lösung zu überprüfen. Hierzu zählen eine Überprüfung der Einheiten oder eine Abschätzung der Plausibilität der als Ergebnis erhaltenen Größenordnung. Auch werden Überlegungen angestellt oder verlangt (vgl. 2.2.4), ob sich eine Variation der erhaltenen Größen in der erwarteten Weise im Ergebnis niederschlägt, z. B., dass eine geringere Beschleunigung zu einer geringeren Geschwindigkeit führt.

2.2.3. Umsetzung der Gestaltungsempfehlungen (intra-example features)

Bei der Gestaltung der EASTER-Lösungsbeispiele wurden die in 2.1. vorgestellten intra-example features berücksichtigt. Die Text-Bild Integration (Punkt a, vgl. 2.1) wird dadurch erreicht, dass Abbildungen nummeriert und beschriftet sind und im Text in räumlicher Nähe explizit adressiert werden. Dabei unterstützen die Abbildungen gezielt die Aussagen im Text, indem z. B. im EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“ die drei Schritte zur Wahl des Koordinatensystems mit drei entsprechenden Abbildungen illustriert werden, sodass erst die letzte Abbildung das finale Koordinatensystem zeigt (siehe Anhang A).

Die Einteilung in Sinnabschnitte (Punkt b, vgl. 2.1) wird durch die in 2.2.2. beschriebene Strukturierung entlang der Schritte des Problemlöseprozesses realisiert. Zudem werden einzelne Handlungsabschnitte erklärend zusammengefasst (Punkt c, vgl. 2.1) (Abb. 4).

> Nach der Wahl der allgemeinen Bewegungsgleichung als Lösungsansatz, konnte diese mithilfe der Festlegung des Koordinatensystems und den Werten aus dem Aufgabenstamm auf die gegebene Situation angepasst werden. Die Gleichung kann nun nach der gesuchten Größe aufgelöst werden.

Abb.4: EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“: Zusammenfassung von Handlungsschritten

Das Nachvollziehen der Rechnungen wird, wie in Abbildung 5 dargestellt, dadurch entlastet, dass gegebene und nicht gegebene Variablen in unterschiedlichen Farben dargestellt sind (Punkt d, vgl. 2.1).

$$\begin{aligned} &(\mathrm{I}) && x_B = v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t_W + x_A && |- x_A \\ &\Leftrightarrow && x_B - x_A = v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t_W && |\div (v_0 \cdot \cos\alpha) \\ &\Leftrightarrow && \frac{x_B - x_A}{v_0 \cdot \cos\alpha} = t_W && \end{aligned}$$

Abb.5: Farbkodierung bei den Rechnungen

Die Einforderung von Selbsterklärungen wird im Zusammenhang mit dem Einsatz von Prompts (Punkt e, vgl. 2.1) im nächsten Abschnitt genauer erläutert.

2.2.4. Einsatz von Prompts

Um die eigenständige Problemlösefähigkeit der Studierenden zu fördern, sollen die Studierenden während der Auseinandersetzung mit den EASTER-Lösungsbeispielen Prompts bearbeiten. Hierbei handelt es sich um operationalisierte Aufgabenstellungen, bei denen die Studierenden eine Erklärung schreiben, eine Skizze zeichnen oder vollenden oder ein oder mehrere Rechenschritte ausführen müssen. In den EASTER-Lösungsbeispielen werden verschiedene Arten von Prompts eingesetzt. Diese sind in einem EASTER-Lösungsbeispiel durchnummeriert. Vertiefende Prompts dienen der eigenständigen Vertiefung eines (Teil-) Bearbeitungsschrittes, fortführende Prompts arbeiten auf den folgenden (Teil-) Bearbeitungsschritt hin. Fortführende Prompts fordern z. B. zur Erstellung bzw. Ergänzung einer Skizze oder zur Ausführung von Rechenoperationen auf (vgl. Abb. 6).

Vertiefende Prompts können noch in erklärende Prompts und variierende Prompts unterteilt werden. Die erklärenden Prompts fordern die Studierenden auf, einen im EASTER-Lösungsbeispiel nicht explizit erläuterten (Teil-) Bearbeitungsschritt selbst zu begründen. Variierende Prompts fordern in der Regel zur Variation eines Arbeitsschritts innerhalb einer Aufgabe auf (vgl. Abb. 7).

> **3 !** Setzen Sie alle gegebenen Werte (mit Einheiten!) in die Gleichung ein. Nutzen Sie dabei die oben angegebenen Werte für das in Abbildung 4 gewählte Koordinatensystem (mit Punkt A im Ursprung).

Abb.6: EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“: fortführender Prompt

> **4 !** Setzen Sie nun für das andere Koordinatensystem (Ursprung senkrecht unterhalb von A auf dem Boden; vgl. S. 3) die Werte ein. Markieren Sie die Änderungen gegenüber der ersten Variante.

Abb.7: EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“: variierender Prompt

Gegen Ende eines Lösungsbeispiels werden auch Variationen verlangt, die eine Reflexion des gesamten Lösungsprozesses verlangen, z. B. durch die Variation von Randbedingungen oder Umsetzung eines alternativen (bereits behandelten) Lösungsansatzes.

2.2.5. Systematik und Fading in der Abfolge der EASTER-Lösungsbeispiele (inter-example features)

Es wurden insgesamt 15 EASTER-Lösungsbeispiele mit den in 2.2.1. bis 2.2.4. beschriebenen Merkmalen entwickelt.

In jedem EASTER-Lösungsbeispiel liegt der Fokus auf einem (maximal auf zwei) von vier Lösungsansätzen und einem oder mehreren Schritten des Problemlöseprozesses. Abbildung 8 zeigt die Abdeckung der Lösungsansätze und Problemlöseschritte durch die EASTER-Lösungsbeispiele. Das Beispiel „Basketball“ (vgl. Abb. 2, in der Tabelle Nr. 2) befasst sich mit dem Lösungsansatz allgemeine Bewegungsgleichung und setzt Schwerpunkte im zweiten Problemlöseschritt.

Lösungsansatz / **Problemlöse-schritt**	Problem-repräsentation	Erarbeitung und Auswahl eines Lösungsansatzes	Ausarbeitung der Lösung	Evaluation der Lösung
Allgemeine Bewegungsgleichung	1, 4	2	3, 4	3, 4
Impulserhaltung	5, 6, 7	5, 6	14	
Kraftansatz	9	8, 10, 15	8, 9	8, 9
Energieerhaltung		11, 12, 13, 15		12, 13

Abb. 8: Schwerpunktsetzung bei einzelnen EASTER-Lösungsbeispielen (Stand Wintersemester 2022/23

Um die Verallgemeinerung des Lösungsansatzes über Oberflächenmerkmale hinweg zu fördern, variieren die EASTER-Lösungsbeispiele zu einem Lösungsansatz in den Kontexten, (vgl. 2.1). Sie werden in der Regel nacheinander behandelt. Dabei nehmen innerhalb der Sequenz von EASTER-Lösungsbeispielen zu einem Lösungsansatz die Anforderungen an Selbsterklärungen zu. Dies wird sowohl über die Anzahl und Komplexität der Prompts als auch über die Komplexität der Aufgabenstellungen erreicht. Mit Beginn einer Sequenz zu einem weiteren Lösungsansatz sinkt die Komplexität der Aufgabenstellung, um den Lösungsansatz an einem eindeutigen Beispiel einzuführen, und nimmt im Verlauf der Sequenz erneut zu. Ähnliches gilt für die Anzahl und Komplexität der Prompts. Eine Ausnahme stellen hierbei die fortführenden Prompts (vgl. 2.2.4) zu mathematischen Operationen dar, deren Komplexität auch über die Sequenzen zu verschiedenen Lösungsansätzen hinweg ansteigt.

3. Ausblick

Im Wintersemester 2022/23 wurden die 15 EASTER-Lösungsbeispiele in einer Lerngruppe pilotiert. Hierbei bearbeiteten 7 bis 11 Studierende der Studieneingangsphase Physik der Universität Duisburg-Essen die EASTER-Lösungsbeispiele innerhalb von sechs Sitzungen á 90 Minuten. Erste Eindrücke aus der Pilotierung zeigen, dass der Großteil der Studierenden die EASTER-Lösungsbeispiele in der vorgegebenen Zeit bearbeiten konnte und der Cognitive Load (vgl. Sweller, 2010) der Studierenden bei der Bearbeitung der EASTER-Lösungsbeispiele in einem mittleren Bereich (einer siebenstufigen Skala) lag. Dies deutet weder auf eine Über- noch auf eine Unterforderung der Studierenden bei der Bearbeitung hin und spricht für die Praktikabilität der Lernmaterialien.

Für die Haupterhebung im Wintersemester 2023/24 werden die Daten der Pilotierung weiter ausgewertet und die EASTER-Lösungsbeispiele dementsprechend überarbeitet.

4. Literatur

Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. (2000). Learning from Examples: Instructional Principles from the Worked Examples Research. *Review of Educational Research*, *70*(2), 181–214.

Binder, T., Sandmann, A., Sures, B., Friege, G., Theyssen, H. & Schmiemann, P. (2019). Assessing prior knowledge types as predictors of academic achievement in the introductory phase of biology and physics study programmes using logistic regression. *International Journal of STEM Education*, *6*(1). https://doi.org/10.1186/s40594-019-0189-9

Buschhüter, D., Spoden, C. & Borowski, A. (2017). Studienerfolg im Physikstudium: Inkrementelle Validität physikalischen Fachwissens und physikalischer Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *23*(1), 127–

141. https://doi.org/10.1007/s40573-017-0062-7
Friege, G. (2001). *Wissen und Problemlösen: eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*. Logos-Verlag.
Hailikari, T., Nevgi, A. & Lindblom-Ylänne, S. (2007). Exploring alternative ways of assessing prior knowledge, its components and their relation to student achievement: A mathematics based case study. *Studies in Educational Evaluation*, *33*(3-4), 320-337.
Hell, B., Trapmann, S. & Schuler, H. (2007). Eine Metaanalyse der Validität von fachspezifischen Studierfähigkeitstests im deutschsprachigen Raum. *Empirische Pädagogik*, *21*(3), 251–270.
Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen*. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung (DZHW).
Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J. & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, *93*(3, 579-588.
Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). *The Expertise Reversal Effect. Educational Psychologist*, *38*(1), 23–31.
KMK (2020). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife*. Carl Link.
Koenen, J., Emden, M. & Sumfleth, E. (Hrsg.) (2016). *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung*. *Ganz In – Materialien für die Praxis*. Münster: Waxmann.
Konferenz der Fachbereiche Physik (2005): *Empfehlungen der Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP) zu Bachelor- und Masterstudiengängen in Physik*. https://www.kfp-physik.de/dokument/Empfehlungen_Ba_Ma_Studium.pdf
Kujath, B. (2016). *Lernwirksamkeits- und Zielgruppenanalyse für ein Lehrvideo zum informatischen Problemlösen*. Universitätsverlag Potsdam.
Lind, G., Friege, G., Kleinschmidt, L. & Sandmann, A. (2004). Beispiellernen und Problemlösen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *10*, 29–49.
Mandl, H. & Fischer, F. (2000). Mapping-Techniken und Begriffsnetze in Lern- und Kooperationsprozessen. In H. Mandl & F. Fischer (Hrsg.), *Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken* (S. 3-12). Hogrefe
Martínez, G., Pérez, Á. L., Suero, M. I., & Pardo, P. J. (2013). The effectiveness of concept maps in teaching physics concepts applied to engineering education: Experimental comparison of the amount of learning achieved with and without concept maps. *Journal of Science Education and Technology*, *22*(2), 204-214.
Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of research in science teaching*, *27*(10), 937-949.
Novak, J. D. (2010). *Learning, creating, and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. Routledge.
Paas, F & van Merriënboer, J. J. G. (1994). Variability of Worked Examples and Transfer of Geometrical Problem-Solving Skills: A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, 86(1), 122-133.
Renkl, A., Atkinson, R. K. & Maier, U. H. (2000). From Studying Examples to Solving Problem: Fading Worked-Out Solution Steps Helps Learning. *Proceedings of the Cognitive Science Society*, *22*(22).
Renkl A. & Schworm, S. (2002). Lernen, mit Lösungsbeispielen zu lehren. *Zeitschrift für Pädagogik* (45), 259 – 270.
Renkl, A. & Atkinson, R. K. (2003). Structuring the Transition from Example Study to Problem Solving in Cognitive Skill Acquisition: A Cognitive Load Perspective. *Educational Psychologist*, *38*(1), 15–22.
Renkl, A. (2014). The worked-out-examples principle in multimedia learning. In R. Mayer (Ed.), *Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd revised ed., pp. 391-412). Cambridge University Press.
Ruiz-Primo, M. A. & Shavelson, R. J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. Journal of Research in Science Teaching. *The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, *33*(6), 569-600.
Salden, R., Aleven, V., Renkl, A. & Schonke, R. (2009). Worked examples and tutored problem solving: Redundant or synergistic forms of support?. *Topics in Cognitive Science*, *1*(1), 203-213.
Sorge, S., Petersen, S. & Neumann, K. (2016). Die Bedeutung der Studierfähigkeit für den Studienerfolg im 1. Semester in Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *22*(1), 165–180.
Sweller, J. & Cooper, G. A. (1985). The Use of Worked Examples as a Substitute for Problem Solving in Learning Algebra. *Cognition and Instruction*, *2*(1), 59-89.
Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22,

123–138. *Learning Algebra. Cognition and Instruction*, *2*(1), 59–89.

Theyßen, H., Borowski, A, Cardinal, K, Franken, J. & Schmiemann, P. (im Druck): Wissensarten und Studienerfolg. Vorstellung einer Interventionsstudie in den Fächern Biologie und Physik. *Tagungsbandbeitrag GDCP Jahrestagung 2023 - Aachen*.

Trump, S. (2015). *Mathematik in der Physik der Sekundarstufe II!?*. Universität Potsdam.

Universität Duisburg-Essen (2014). *Modulhandbuch für das Bachelor-Programm Physik an der Universität Duisburg-Essen*. https://www.uni-due.de/imperia/md/content/physik/modulhandbuch-ba-physik2014-12-11.pdf

Vollmer, M. (2015). *Bestimmung von Fachkräfteengpässen und Fachkräftebedarfen in Deutschland: Fokus-Studie der deutschen nationalen Kontaktstelle für das Europäische Migrationsnetzwerk (EMN)*. Bundesamt für Migration und Flüchtlinge. https://www.bamf.de/SharedDocs/Anlagen/DE/EMN/Studien/wp64-emn-bestimmung-fachkrafteengpaesse-und-bedarfe.pdf?__blob=publicationFile&v=18

Woitkowski, D. (2019). Erfolgreicher Wissenserwerb im ersten Semester Physik: Analyse mithilfe eines Niveaumodells. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 25*(1), 97-114.

Danksagung

Das Forschungsprojekt EASTER wird gefördert vom BMBF in der Förderlinie „Studienerfolg und Studienabbruch II“ (Förderkennzeichen 16PX21015A und 16PX21015B).

Anhang

A: EASTER-Lösungsbeispiel „Basketball“: Wahl des Koordinatensystems

2. Lösungsansatz finden

2.2 Mathematisieren

Der erste Schritt zur Mathematisierung ist die Wahl des Koordinatensystems. Obwohl die Wahl keinen Einfluss auf das Ergebnis hat, können die weiteren Überlegungen und Rechnungen durch eine sinnvolle Wahl in der Regel erleichtert werden. Es ist ratsam, das Koordinatensystem so zu legen, …

a) ... dass die Achsen des Koordinatensystems in der Ebene der Bewegung liegen (um die Zweidimensionalität der Bewegung auszunutzen und mit zwei Achsen auszukommen).
b) ... dass eine wirkende Kraft oder Beschleunigung parallel zu einer der Achsen verläuft.
c) ... dass ein gegebener Punkt der Bewegung im Ursprung des Koordinatensystems liegt.

Zu a) Hier ist die Ebene der Bewegung durch die Punkte A und B festgelegt und identisch mit der Zeichenebene (Abbildung 2).

Abb. 2. Das Koordinatensystem liegt in der Ebene der zweidimensionalen Bewegung.

Zu b) Auf den Ball wirkt während des Fluges nur die Gewichtskraft $\vec{F_G}$, senkrecht nach unten. Dementsprechend wird eine Achse (hier die y-Achse) parallel zur Gewichtskraft gelegt. Somit verläuft die x-Achse parallel zum Erdboden (Abbildung 3).

Abb. 3. Eine Achse ist parallel zu der hier wirkenden Kraft ausgerichtet.

Zu c) Der Startpunkt A der Bewegung wird in den Koordinatenursprung gelegt (Abbildung 4). Dadurch hat der Anfangspunkt die Koordinaten $x_A = 0$ m und $y_A = 0$ m, der Endpunkt B hat positive x- und y-Koordinaten.

Abb. 4. Der Startpunkt A liegt im Ursprung des Koordinatensystems.